

**PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI
UNTUK IDENTIFIKASI NILAI IMPEDANSI LISTRIK
SECARA CEPAT PADA FREKUENSI 1 kHz - 1 MHz**

SKRIPSI

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

Oleh
Nadana Ayzah Azis
125090800111017



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI
UNTUK IDENTIFIKASI NILAI IMPEDANSI LISTRIK
SECARA CEPAT PADA FREKUENSI 1 kHz - 1 MHz**

Oleh:
Nadana Ayzah Azis
125090800111017

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 Chomsin S. Widodo, M. Si., Ph.D
NIP. 19690610 199402 1 001 NIP. 19691020.199512.1.002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Sukir Maryanto,Ph.D
NIP.197106211998021001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : NADANA AYZAH AZIS

NIM : 125090800111017

Jurusan : FISIKA

Penulisan Skripsi berjudul:

PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK IDENTIFIKASI NILAI IMPEDANSI LISTRIK SECARA CEPAT PADA FREKUENSI 1 kHz - 1 MHz

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya 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, 6 Juni 2016

Yang menyatakan

(Nadana Ayzah Azis)

NIM. 125090800111017

PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK IDENTIFIKASI NILAI IMPEDANSI LISTRIK SECARA CEPAT PADA FREKUENSI 1 kHz - 1 MHz

ABSTRAK

Pada penelitian ini dikembangkan suatu sistem instrumentasi untuk identifikasi impedansi listrik kompleks yang dapat bekerja secara cepat pada frekuensi 1 kHz – 1MHz. Alat ukur ini dikembangkan dengan menggunakan rangkaian *peak detector* yang bekerja dengan mendeteksi amplitudo – amplitudo tegangan dari injeksi arus ke suatu bahan uji, sebuah sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler PIC16F876A dan sebuah PC. Rangkaian *peak detector* dibangun dengan menggunakan *ic* komparator sehingga hasil deteksi menjadi lebih akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ukur ini dapat bekerja dengan maksimum dengan pilihan filter kapasitor 10nF dengan tegangan masukan 1V. Data hasil pengukuran diolah menggunakan *software* untuk menghasilkan grafik titik pengukuran. Dari grafik hasil pengukuran ini dapat diidentifikasi nilai impedansi listriknya. Uji laboratorium menunjukkan bahwa hasil identifikasi impedansi listrik yang dilakukan oleh sistem sesuai dengan teori.

Kata Kunci : Impedansi, *peak detector*, frekuensi *cutoff*.

DEVELOPMENT OF FAST INSTRUMENTATION SYSTEM FOR ELECTRICAL IMPEDANCE VALUE IDENTIFICATION AT 1kHz – 1MHz FREQUENCIES

ABSTRACT

This research presents a development of an instrumentation system to identify complex electrical impedance value which can work fast at 1 kHz – 1 MHz frequencies. The measurement system is developed by using peak detector circuit that detects the amplitude of the voltage from the current injector to the load, PIC16F876A microcontroller-based data acquisition system and a PC. The peak detector circuit is built by using a comparator IC so the detection results can be accurately achieved. The test result shows that this system can worked maximally using 10nF capacitor filter with an 1V input voltage. Measurement datas are processed using a software to produce a measurement graphic. The electrical impedance value can be identified from the graph obtained from the measurement results. Laboratory tests shows that identification results of the electrical impedance performed by system is in accordance with the theory.

Keyword : Impedance, peak detector, cutoff frequency



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. 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.

Dengan terselesaikannya penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis bersyukur dan mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara moril maupun materil, baik secara langsung maupun tidak langsung. Bersama ini, saya ucapkan terimakasih khususnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr.Eng. Didik Rahadi Santoso, M.Si. selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian serta selalu memotivasi penulis untuk tetap semangat.
2. Bapak Chomsin S. Widodo, M. Si., Ph. D. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Drs. Arinto Yudi P.W., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan selama proses perkuliahan.
4. Ayah (Medi Harmono), Ibu (Sri Pintaning Tyastuti), kakak (Awalia Novita Cahyawati) dan adik saya (Nadana Annisa Azis) yang selalu memberikan doa dan motivasi kepada penulis.
5. Rekan satu tim penelitian di laboratorium MCS (Guntur, Tias, Bella, Pras, Nikko, Mbak Acem, Mbak Ifa, Mbak Nita, dan Mas Zarkasi) yang selalu membantu, memberi motivasi dan masukan kepada penulis.
6. Sahabat sahabat penulis (Tiwei, Miranti, Via, Dias, Ardhi dan Dwiky) yang selalu memberi semangat dan menemani dikala jenuh.

7. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan jurusan Fisika yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama di jurusan Fisika FMIPA UB.

8. Teman teman jurusan Fisika angkatan 2012 khususnya keluarga Prodi Instrumentasi 2012 yang selalu setia memberi semangat.

9. Alumni dari laboratorium MCS (Mas Toko, Mas Pandu, Mbak Sella, Mbak Ifa) yang selalu membagikan pengalamannya kepada penulis.

10. Seluruh pihak yang terkait yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala bantuan dan dukungannya.

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

Akhirnya, penulis memohon maaf apabila ada kesalahan selama pengerjaan dan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya.

Malang, 6 Juni 2016

Penulis



PENGHARGAAN

Penelitian ini merupakan bagian dari hibah penelitian PUPT tahun 2016 dengan nomor kontrak:.....atas nama Chomsin S. Widodo, dkk. yang berjudul **“Pengembangan Sistem Instrumentasi Untuk Identifikasi Sifat Kelistrikan Kompleks Suatu Jaringan Biologi Secara Cepat dan Presisi”**

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
PENGHARGAAN	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 IMPEDANSI LISTRIK KOMPLEK.....	5
2.2 <i>PEAK DETECTOR</i>	8
2.3 MIKROKONTROLER.....	9
2.4 A/D CONVERTER.....	13
2.5 <i>USART (Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter)</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	23
3.4 Desain Sistem.....	25
3.4.1 Desain <i>Hardware</i>	25
3.4.2 Desain <i>Software</i>	31
3.5 Metode Pengujian Sistem.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil Desain Alat.....	39
4.1.1 Hasil Desain <i>Hardware</i>	39
4.1.2 Hasil Pengembangan <i>Software</i>	41
4.2 Hasil Uji Alat	44
4.2.1 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Peak Detector</i>	44

4.2.2 Pengujian ADC 57
4.2.3. Pengujian Komunikasi Data 57
4.2.4 Pengujian Software 58
4.3 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem 60
4.5 Hasil Pengujian Identifikasi Komponen Listrik RC 63
BAB V PENUTUP 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 69
DAFTAR LAMPIRAN 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan tegangan arus bolak-balik.....	6
Gambar 2.2	Rangkaian RLC.....	7
Gambar 2.3	Gambar Dioda sebagai Penyearah.....	9
Gambar 2.4	Konfigurasi Pin PIC16F876.....	10
Gambar 2.5	Register ADCON0.....	14
Gambar 2.6	Pengaturan Register ADCON1.....	15
Gambar 2.7	Bit PCFG3:PCFG0.....	16
Gambar 2.8	Komunikasi Sinkron dan Asinkron.....	17
Gambar 2.9	Register TXSTA.....	18
Gambar 2.10	Register RCSTA.....	19
Gambar 3.1	sistem pengukuran impedansi listrik kompleks.....	23
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.3	Desain <i>Hardware</i> sistem.....	25
Gambar 3.4	Kurva Respon Frekuensi.....	26
Gambar 3.5	Rangkaian <i>Peak Detector</i> dengan LF353.....	27
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Peak Detector</i> dengan LM311.....	27
Gambar 3.7	Rangkaian sistem akuisisi data berbasis PIC16F876A.....	30
Gambar 3.8	Rancangan alur program USART.....	32
Gambar 3.9	Rancangan alur program ADC.....	33
Gambar 3.10	Rancangan program untuk <i>display</i>	34
Gambar 4.1	Rangkaian Peak detector dengan OpAmp LF353.....	39
Gambar 4.2	Rangkaian Peak detector dengan komparator LM311.....	40
Gambar 4.3	Konfigurasi Penggunaan Alat.....	41
Gambar 4.4	Hasil Pengembangan Software untuk Mikrokontroler.....	42
Gambar 4.5	Hasil Pengembangan Software Delphi7.....	43
Gambar 4.6	Tampilan <i>software</i>	44
Gambar 4.7	frekuensi 1kHz dengan filter C=10nF.....	45
Gambar 4.8	frekuensi 1kHz dengan filter C=1nF.....	45
Gambar 4.9	frekuensi 100kHz dengan filter C=10nF.....	46
Gambar 4.10	frekuensi 100kHz dengan filter C=1nF.....	47
Gambar 4.11	frekuensi 500kHz dengan filter C=10nF.....	48
Gambar 4.12	frekuensi 500kHz dengan filter C=1nF.....	48
Gambar 4.13	Hasil Plot Respon Frekuensi.....	49



Gambar 4.14 Gambar Ripple pada frekuensi 10 Hz.....50

Gambar 4.15 frekuensi 1kHz dengan filter C=10nF.....51

Gambar 4.16 frekuensi 1kHz dengan filter C=1nF.....51

Gambar 4.17 frekuensi 100kHz dengan filter C=10nF.....53

Gambar 4.18 frekuensi 100kHz dengan filter C=1nF.....53

Gambar 4.19 frekuensi 1MHz dengan filter C=10nF.....54

Gambar 4.20 frekuensi 1MHz dengan filter C=1nF.....55

Gambar 4.21 Bode plot respon frekuensi LF353.....56

Gambar 4.22 Hasil Plot Respon Frekuensi.....56

Gambar 4.23 Hasil Uji Komunikasi Data.....58

Gambar 4.24 Tampilan Software *Delphi*.....59

Gambar 4.25 Tampilan Respon Frekuensi.....59

Gambar 4.26 Plot respon Frekuensi untuk filter 10nF.....60

Gambar 4.27 Plot respon Frekuensi untuk filter 1nF.....61

Gambar 4.28 Plot respon Frekuensi untuk Beban R=1kΩ dan R=10kΩ.....63

Gambar 4.29 Plot respon Frekuensi untuk Beban R=1kΩ dan C=1nF, C=10nF, C=15nF.....64

Gambar 4.30 Plot respon Frekuensi untuk Beban R=10kΩ dan C=1nF, C=10nF, C=15nF.....65

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Plot respon frekuensi.....	71
Gambar Lamp. A.1 Respon frekuensi rangkaian <i>peak detector</i> dengan LF353.....	71
Gambar Lamp. A.2 Respon frekuensi rangkaian <i>peak detector</i> dengan LM311.....	72
Gambar Lamp. A.3 Respon frekuensi dengan filter 10nF.....	72
Gambar Lamp. A.4 Respon frekuensi dengan filter 1nF.....	73
Gambar Lamp. A.5 Plot respon Frekuensi untuk Beban R=1kΩ dan R=10kΩ.....	73
Gambar Lamp. A.6 Plot respon Frekuensi untuk Beban R=1kΩ dan C=1nF, C=10nF, C=15nF.....	74
LAMPIRAN B. Rangkaian Elektronika.....	75
Gambar Lamp. B.1 Rangkaian <i>peak detector</i> dengan LF353.....	75
Gambar Lamp. B.2 Rangkaian <i>peak detector</i> dengan LM311.....	76
Gambar Lamp. B.3 Rangkaian Akuisi Data.....	77
Gambar Lamp. B.4 Rangkaian Akuisisi Data dengan <i>peak detector</i> dengan LF353.....	78
LAMPIRAN C. Program dan <i>Software</i>	79
Lampiran C.1 Program untuk mikrokontroler.....	79
Gambar Lamp C.1 Tampilan <i>Software</i>	84
Gambar Lamp C.2 Tampilan Tab – respon frekuensi.....	84
Lampiran C.2 Program untuk <i>software display</i>	85
LAMPIRAN D. Foto Alat.....	93
Gambar D.1 Rangkaian <i>peak detector</i> dengan LM311.....	93
Gambar D.2 Rangkaian <i>peak detector</i> dengan LF353.....	93
Gambar D.3 Konfigurasi penyusunan alat.....	94
Gambar D.3 Konfigurasi sistem akuisisi Data dengan konverter.....	94
LAMPIRAN E. Data Sheet.....	95
Datashet LM311.....	95
Datashet LF353.....	97
LAMPIRAN F Cara Penggunaan Alat.....	99

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nilai impedansi listrik suatu bahan dapat digunakan untuk menentukan karakteristik kelistrikan bahan tersebut. Dari nilai impedansi listrik ini dapat ditentukan nilai hambatan jenis bahan, sifat dielektrik bahan dan sifat fisis bahan yang lain. Terdapat beberapa metode untuk mengukur impedansi listrik kompleks, salah satunya dengan metode injeksi arus. Pengukuran impedansi listrik kompleks dilakukan dengan metode injeksi arus secara langsung. Pengukuran impedansi listrik dengan menggunakan injeksi arus adalah memberikan arus AC pada amplitudo tertentu dengan rentang frekuensi tertentu pada bahan yang akan diuji nilai impedansinya. Arus sinus yang diinjeksikan pada permukaan obyek dengan melalui elektrode akan menghasilkan perubahan voltase (tegangan) dari elektrode ukur pada permukaan obyek (Purwanto dan Sujatmiko, 2009).

Perbandingan antara arus dengan fasenya dan tegangan dengan fasenya merupakan besar nilai impedansi listrik kompleks bahan uji. Impedansi kompleks adalah kuantitas kompleks yang tidak hanya menjelaskan amplitudo relatif dari tegangan dan arus, tetapi juga fase relatif. Fase relatif ini menunjukkan perbedaan fase antara tegangan dan arus.

Dari nilai impedansi kompleks ini kemudian dapat diturunkan nilai resistansi (R) dan kapasitansi (C) bahan ukur. Identifikasi nilai resistansi (R) dan nilai kapasitansi (C) biasanya dilakukan secara manual yaitu dengan memberikan arus dengan frekuensi tertentu secara manual kemudian pengukuran tegangan muncul dari injeksi arus pada bahan uji juga dilakukan secara manual. Hal ini tentu tidak praktis dan cukup memakan waktu karena pengaturan frekuensi dilakukan secara manual serta pengambilan data secara manual ini membuat data yang didapat kurang presisi.

Pada penelitian ini, permasalahan tersebut akan diatasi dengan mengembangkan alat ukur impedansi listrik kompleks suatu bahan uji serta identifikasi terhadap komponen listriknnya yang terdiri dari nilai resistansi (R) dan kapasitansi (C) secara cepat untuk range

frekuensi 1 KHz – 1 MHz. Pengukuran impedansi listrik kompleks ini dapat dilakukan secara cepat dengan mendeteksi nilai puncak amplitudo nilai tegangan yang terukur menggunakan rangkaian *peak detector*. Hasil deteksi akan ditampilkan secara grafis dengan menggunakan *software*. Sedangkan untuk identifikasi komponen listrik dari nilai impedansi listrik yang terukur tersebut dilakukan dengan menentukan frekuensi pojok (*corner*) atau pada titik -3dB dari kurva respon frekuensi bahan uji. Penentuan *range* frekuensi sebesar 1kHz-1MHz ini berdasar pada kemampuan komponen ic yang digunakan, dimana ic ini hanya mampu merespon frekuensi tegangan dengan baik hingga frekuensi 1 MHz saja.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa pokok masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat rangkaian *peak detector* untuk mengukur amplitudo tegangan yang muncul dari injeksi arus pada bahan uji?
2. Bagaimana metode untuk melakukan identifikasi nilai komponen listrik berupa nilai R dan C dari impedansi listrik kompleks yang terukur?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan dibuat batasan masalah untuk membuat ruang lingkup penelitian menjadi lebih jelas. Batasan masalah tersebut adalah antara lain:

1. Frekuensi yang digunakan pada *peak detector* adalah 1 KHz – 1 MHz.
2. Penelitian ini tidak membahas mengenai sumber arus yang diinjeksikan ke bahan uji coba.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah membuat sistem instrumentasi untuk identifikasi impedansi listrik secara cepat pada frekuensi 1 kHz sampai 1 MHz.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari alat ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mempermudah identifikasi nilai R dan C dari nilai impedansi listrik kompleks sebuah bahan uji guna kepentingan biomedis dengan cepat.

sebuah susceptansi kapasitif dan tanda negatif menunjukkan sebuah susceptansi induktif.

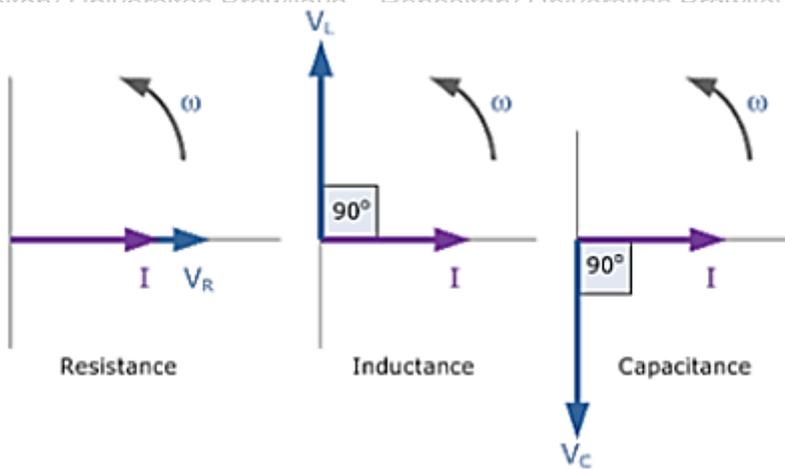
Jadi,

$$Z = R + jXL \text{ dan } Z = R - jXc \quad (2.1)$$

$$Y = G - jBL \text{ dan } Y = G + jBc \quad (2.2)$$

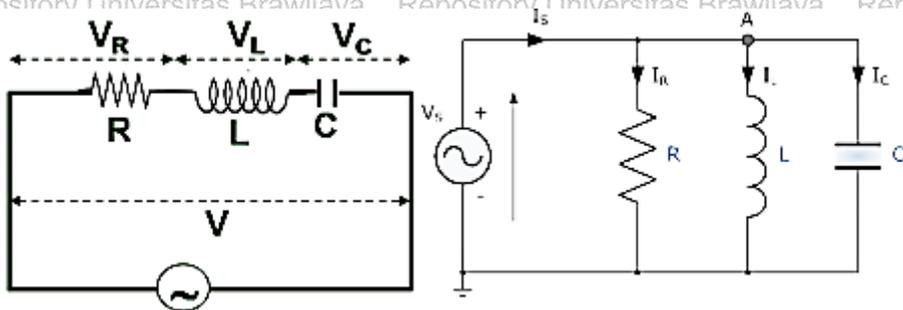
(Edminister,2003).

Gambar 2.1 merupakan hubungan arus dan tegangan pada masing-masing komponen (induktor, resistor, dan kapasitor) dalam diagram fasor. Untuk komponen resistor, arus dan tegangan berada dalam satu fasa, sedangkan untuk komponen induktor, tegangan mendahului arus dengan beda fasa sebesar 90° dan untuk komponen kapasitor, tegangan tertinggal arus dengan beda fasa sebesar 90° (Nurul,2011).



Gambar 2.1 Hubungan tegangan arus bolak-balik

Gambar 2.2 merupakan konfigurasi rangkaian seri dan paralel dari LRC yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC.



Gambar 2.2 Rangkaian RLC

Impedansi listrik total (Z_T) dari rangkaian seri diberikan oleh (Santoso,2013) :

$$Z_S = Z_R + X_L + X_C = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (2.3)$$

Atau

$$Z_S = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.4)$$

Sehingga besarnya nilai (amplitudo) Z_T dari rangkaian RLC seri adalah (Santoso,2013),

$$|Z_S| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2.5)$$

Untuk rangkaian paralel, impedansi listrik total lebih mudah dinyatakan sebagai admintasi (Y_T), yang mana (Santoso,2013):

$$Y_T = Y_R + Y_L + Y_C = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C \quad (2.6)$$

Atau

$$Y_P = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \quad (2.7)$$

Sehingga besarnya nilai (amplitudo) Y_t rangkaian RLC paralel adalah (Santoso,2013) :

$$|Y_p| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad (2.8)$$

Atau magnitudo impedansi adalah (Santoso,2013) :

$$|Z_p| = \frac{1}{|Y_p|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad (2.9)$$

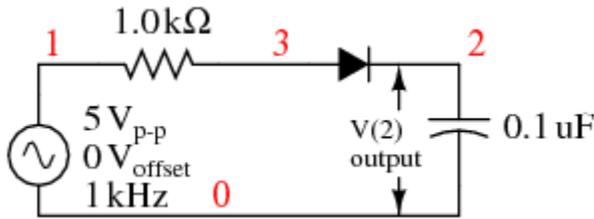
2.2 PEAK DETECTOR

Peak detector atau terkadang disebut sebagai penyearah gelombang penuh (*full wave rectifier*) merupakan salah satu rangkaian analog yang cukup penting pada banyak aplikasi seperti pada instrumentasi dan pengukuran. Secara umum rangkaian ini dapat digunakan untuk voltmeter dan amperemeter AC, detektor polaritas tunggal, rangkaian *sample and hold*, *peak detector*, rangkaian penjepit dan sebagainya (Petrovic, Predrag B.,2013).

Peak detector digunakan untuk mendeteksi puncak – puncak amplitudo sinyal tegangan dari bahan uji. Pada prinsipnya, *peak detector* dapat dibangun hanya dari komponen resistor, dioda dan kapasitor. Tujuan utama dari *peak detector* sinyal sinus adalah untuk menghasilkan output berupa tegangan DC yang senilai dengan nilai puncak sinyal sinus input (Petrovic, Predrag B.,2013).

Tegangan AC yang masuk kedalam *peak detector*, akan mengisi kapasitor sampai nilai tertinggi tegangan AC. Dioda akan meloloskan tegangan positif (setengah gelombang) yang akan mengisi kapasitor. Ketika tegangan yang masuk berada dibawah puncak DC yang telah masuk didalam kapasitor maka dioda akan memblokir tegangan tersebut sehingga nilai tegangan saat itu menjadi nol karena tidak ada tegangan yang tersimpan pada kapasitor. Hal ini

juga bisa digunakan untuk setengah gelombang yang lain (tegangan negatif) sehingga dapat menjadi penyearah gelombang penuh.



Gambar 2.3 Gambar Dioda sebagai Penyearah

Penggunaan dioda sebagai penyearah memiliki kelemahan yaitu bagaimana untuk mengatasi tegangan ambang dioda sebesar 0,6V. Untuk mengatasi permasalahan ini dapat digunakan *IC op amp* dengan penguatan *open loop* tinggi sehingga dapat digunakan untuk penyearahan sinyal – sinyal rendah (Petrovic, Predrag B.,2013).

2.3 MIKROKONTROLER

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah chip. Mikrokontroler berbeda dari mikroprosesor serba guna yang digunakan dalam sebuah PC, karena sebuah mikrokontroler umumnya telah berisi komponen pendukung sistem minimal mikroprosesor, yakni memori dan pemrograman *Input-Output*.

Mikrokontroler merupakan suatu keping IC dimana terdapat mikroprosesor dan memori program ROM (*Read Only Memory*) serta memori serba guna RAM (*Random Acces Memory*) bahkan ada beberapa jenis mikrokontroler yang memiliki fasilitas ADC, PLL, EEPROM dalam satu kemasan. Penggunaan mikrokontroler dalam bidang kontrol sangat luas dan populer (Santoso, Martinus dan Sugiyanto, 2013).

Secara teknis hanya ada 2 mikrokontroler yaitu RISC dan CISC dan masing – masing mempunyai keturunan/ keluarga sendiri. RISC kependekan dari *Reduced Instruction Set Computer* : instruksi terbatas tapi memiliki fasilitas yang lebih banyak. CISC kependekan dari *Complex Instruction Set Computer* : instruksi biasa dikatakan lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya. Tentang jenisnya banyak sekali ada keluarga Motorola dengan seri 68xx, keluarga

MCS51 yang diproduksi Atmel, Philip, Dallas. Keluarga PIC dari Microchip, Reneas, Zilog (Chamim,2010).

2.3.1 MIKROKONTROLER PIC 16F876A

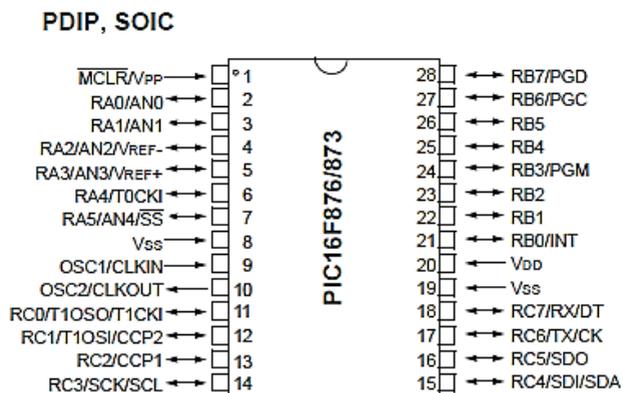
Mikrokontroler PIC 16F876A merupakan mikrokontroler dari microchip yang biasa digunakan dalam rangkaian elektronika. *Software* yang digunakan untuk pengembangan mikrokontroler jenis PIC adalah MPLAB yang disediakan oleh microchip. Pada program MPLAB ini terdapat assembler, linker, debugger, dan simulator.

Mikokontroler PIC16F876A ini memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

1. Memiliki 14-bit x 8K *FLASH Program Memory*
2. Memiliki port I/O sebanyak 3 port, yaitu port A,B dan C.
3. Memiliki 368 x 8 bit memori data (RAM)
4. Memiliki 5 input channel modul ADC
5. Memiliki Data Memory EEPROM 8x256 (Microchip,2013).

KONFIGURASI PIN PIC 16F876A

Mikrokontroler PIC 16F876A terdiri dari 28 pin yang terbagi menjadi 3 Port yaitu Port A,B, dan C seperti yang terlihat pada gambar di bawah,



Gambar 2.4 Konfigurasi Pin-PIC16F876

Berikut penjelasan mengenai port – port yang ada di mikrokontroler PIC 16F876A :

1. PORTA dan REGISTER A

Port A adalah port sebesar 6-bit yang bisa digunakan 2 arah. Arah data pada port A bergantung pada register TRISA. Dengan membuat TRISA menjadi 1 maka port A akan berfungsi sebagai *input*. Dengan membuat TRISA menjadi 0 akan membuat PORTA sebagai *output*. Port A juga terbagi bagi menjadi beberapa pin yang memiliki fungsi masing-masing seperti yang ditunjuk tabel 2.1 (microchip,2013).

Tabel 2.1 Fungsi PORT A pada Mikrokontroler PIC 16F873A

PIN	Fungsi
RA0/AN0	masukan analog 0
RA1/AN1	masukan analog 1
RA2/AN2/VREF-	masukan analog 2, tegangan referensi rendah
RA3/AN3/VREF+	Masukan analog <i>input</i> 3, tegangan referensi positif
RA4/T0CKI	<i>Input</i> clock
RA5/SS/AN4	Masukan analog 4, port masukan synchronous

2. PORTB dan TRISB

Port B adalah port 8 bit dan dapat digunakan untuk 2 arah. Arah data pada port B bergantung pada register TRISB. Dengan membuat TRISB menjadi 1 maka port B akan berfungsi sebagai *input*. Dengan membuat TRISB menjadi 0 akan membuat PORTB sebagai *output*. Port B juga terbagi bagi menjadi beberapa pin yang memiliki fungsi masing-masing seperti yang ditunjuk tabel 2.2 (microchip,2013).

Tabel 2.2 Fungsi PORT B pada Mikrokontroler PIC 16F873A

PIN	Fungsi
RB0/INT	Eksternal <i>interrupt</i>
RB1	Digital I/O
RB2	Digital I/O
RB3/PGM	Masukan program tegangan rendah
RB4	<i>Interrupt On</i>
RB5	<i>Interrupt On</i>
RB6/PGC	Pemrogram serial
RB7/PGD	Pemrograman serial

3. PORTC dan TRISC

Port C adalah port 8 bit dan dapat digunakan untuk 2 arah. Arah data pada port C bergantung pada register TRISC. Dengan membuat TRISC menjadi 1 maka port C akan berfungsi sebagai *input*. Dengan membuat TRISC menjadi 0 akan membuat PORTC sebagai *output*. Port C juga terbagi bagi menjadi beberapa pin yang memiliki fungsi masing-masing seperti yang ditunjuk tabel 2.3 (microchip,2013).

Tabel 2.3 Fungsi PORT C pada Mikrokontroler PIC 16F873A

PIN	Fungsi
RC0/T1OSO/T1CKI	<i>Output</i> timer 1 oscillator atau <i>input</i> clock timer
RC1/T1OSI/CCP2	<i>Input</i> timer 1 oscillator atau <i>input</i> Capture2/ <i>output</i> Compare 2/ <i>Output</i> PWM2
RC2/CCP1	<i>Input</i> capture1/ <i>Output</i> compare1/ <i>Output</i> PWM1
RC3/SCK/SCL	<i>Input/output</i> clock komunikasi serial synchronous
RC4/SDI/SDA	Masukan data SPI (Mode SPI) atau <i>Input/output</i> data (Mode I ² C)
RC5/SDO	Keluaran data SPI (Mode SPI)

Tabel 2.3 lanjutan

RC6/TX/CK	Transmit USART Asynchronous
RC7/RX/DT	Penerima USART Asynchronous

2.4 A/D CONVERTER

ADC (*Analog to Digital Converter*) merupakan salah satu komponen yang utama dalam suatu sistem pengolahan digital. ADC memiliki fungsi untuk mengubah sinyal analog (kontinu) menjadi sinyal digital (diskrit). Proses pengkonversian dilakukan melalui sampling dan kuantisasi. Dengan mengatur kecepatan sampling akan menentukan jumlah sample persatuan waktu (detik) dan kuantisasi menentukan resolusi bit yang digunakan (Purnomo dkk,2009).

Pengolahan sinyal digital dilakukan dengan mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal diskrit,yaitu dengan mengubah deret angka biasa menjadi angka yang memiliki presisi yang terbatas atau yang disebut bilangan biner.

Modul ADC PIC 16F876A memiliki 5 *input* untuk 28-pin pada alat dan 8 untuk alat lain. *Input* analog mengisi kapasitor untuk mengambil sample dan *hold* sinyal input analog. Output dari kapasitor ini akan menjadi *input* dari konverter. Konverter kemudian akan menghasilkan sinyal digital dari level sinyal analog melalui tipe ADC *successive approximation*. Konversi dari *input* sinyal analog menghasilkan data digital 10-bit. Modul A/D memiliki input referensi tegangan *high* dan *low* yang dapat dipilih melalui software dari kombinasi antara V_{DD} , V_{SS} , RA2 atau RA3 (microchip,2013).

Untuk konversi sinyal analog ke digital terbagi menjadi 3 (tiga) langkah yaitu:

- Pencuplikan (Sampling),
- Kuantisasi, dan
- Pengkodean.

Pada mikrokontroler PIC 16F873A ini, modul ADC (*Analog Digital Converter*) memiliki 4 register yaitu:

1. ADRESH (*A/D Result High Register*)
2. ADRESL (*A/D Result Low Register*)
3. ADCON0 (*A/D Control Register 0*)
4. ADCON1 (*A/D Control Register 1*)

Register ADCON0 dapat dilihat dari gambar 2.20 untuk kontrol dari modul ADC, gambar 2.21 merupakan register ADCON1 untuk konfigurasi fungsi dari masing-masing pin yang terdapat pada PORT (Microchip,2013).

REGISTER 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7						bit 0	

Gambar 2.5 Register ADCON0

Keterangan :

Bit 7-6 : ADCS1:ADCS0 : A/D Conversation Clock Select Bits

00 = $F_{osc}/2$

01 = $F_{osc}/8$

10 = $F_{osc}/32$

11 = F_{RC} (clock berasal dari oscillator internal)

Bit 5-3 : CHS2:CHS0 : Analog Chanel Select Bits

000 = channel 0, (RA0/AN0)

001 = channel 1, (RA1/AN1)

010 = channel 2, (RA2/AN2)

011 = channel 3, (RA3/AN3)

100 = channel 4, (RA5/AN4)

101 = channel 5, (RE1/AN5)

110 = channel 6, (RE2/AN6)

111 = channel 7, (RE3/AN7)

Bit 2 : GO/DONE : A/D conversion status bit

Jika ADON = 1

1 = A/D Conversion dalam proses

0 = A/D Conversion tidak dalam proses

Bit 1 : dianggap sebagai *0*

Bit 0 : ADON : A/D On bit

1 = modul A/D converter sedang beroperasi

0 = modul A/D converter sedang dalam keadaan mati

REGISTER 11-2: ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

bit 7

bit 0

Gambar 2.6 Pengaturan Register ADCON1

Keterangan :

Bit 7 : ADFM : A/D Result Format Select bit

1 = aturan rata kanan (6 MSB dari ADRESH dibaca sebagai 0)

2 = aturan rata kiri (6 LSB dari ADRESL dibaca sebagai 0)

Bit 6-4 : bit tidak digunakan (dibaca sebagai 0)

Bit 3-0 : PCFG3:PCFG0 : bit kontrol konfigurasi port A/D

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

Gambar 2.7 Bit PCFG3:PCFG0

2.5 USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*)

Untuk dapat berhubungan dengan piranti lain (antara mikrokontroler dan komputer, atau antara mikrokontroler dengan mikrokontroler yang lainnya) mikrokontroler dilengkapi dengan fasilitas komunikasi. Ada dua jenis fasilitas komunikasi, yaitu komunikasi parallel dan serial. Komunikasi parallel, transfer data dilakukan secara serempak atau bersamaan, sedangkan pada komunikasi serial data dikirim secara bergantian (Heryanto, 2007).

UART (*Universal asynchronous receiver transmitter*) adalah sebuah chip dengan pemrograman yang digunakan untuk mengatur antar muka komputer dengan alat lain secara serial. Komunikasi ini menerima secara paralel data dari komputer dan mengirimkan bit secara individual secara *sequential*. UART bekerja pada mode duplex yaitu data dikirim secara 2 arah secara simultan (Shrivastava, Sharma, 2014).

Komunikasi serial sinkron adalah protokol komunikasi dimana data dikirim secara konstan. Komunikasi ini membutuhkan *clock* yang di sinkronkan untuk pengiriman dan penerimaan data. Komunikasi asinkron tidak membutuhkan karakter *idle*. Sehingga pada awal dan akhir tiap byte data harus diidentifikasi dengan bit start dan bit stop (Shrivastava, Sharma, 2014).

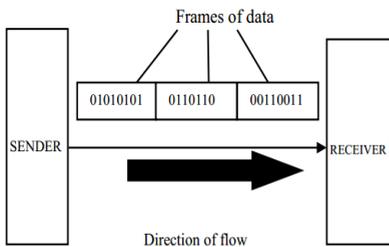


Fig. 1 Synchronous serial transmission

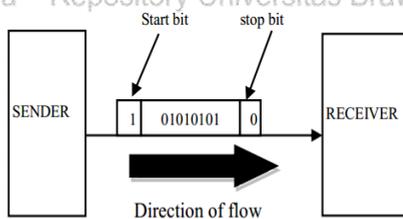


Fig. 2 Asynchronous serial transmission

Gambar 2.8 Komunikasi Sinkron dan Asinkron

Pada komputer, terdapat sebuah port untuk komunikasi serial. Contoh penerapan komunikasi serial ialah mouse, scanner dan sistem akuisisi data yang terhubung ke port serial COM1/COM2. Bagian

yang penting dari komunikasi serial adalah konektor DB9 dan RS232 J (Heryanto, 2007).

Modul serial komunikasi UART dibagi menjadi 3 bagian yaitu pembangkit *baudrate*, modul penerima dan modul transmitter. Pembangkit *baudrate* digunakan untuk menghasilkan clock. Modul penerima UART untuk menerima sinyal serial pada RXD dan mengubahnya menjadi data paralel. Modul pengirim UART mengubah byte menjadi bit serial melalui TXD (Laddha dan Thakare, 2013).

UART/USART pada PIC16FB76A dapat digunakan untuk mode:

- Asinkron (*full duplex*)
- Sinkron – Master (*half duplex*)
- Sinkron – Slave (*half – duplex*)

Register pada mikrokontroler PIC16F876A adalah register TXSTA dan register RCSTA. Bit SPEN (RCSTA<7>) dan bit TRISC <7:6> harus diset untuk mengatur pin RC6 dan RC7 sebagai USART. Modul USART juga memiliki kemampuan komunikasi multi-prosesor menggunakan alamat 9-bit (Microchip,2013).

Register TXSTA memiliki alamat 98h pada mikrokontroler PIC16F876A. Register ini memiliki lebar 8-bit dengan fungsi dari bit-bit tersebut dapat dilihat pada table 2.4 dan gambar 2.9.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R-1	R/W-0	
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	
bit 7					bit 0			

Gambar 2.9 Register TXSTA

Tabel 2.4 Konfigurasi bit Register TXSTA

Bit	Nama bit	Keterangan
0	TX9D	Bit kesembilan dari Data Transmit, dapat berupa bit paritas
1	TRMT (<i>Transmit Shift Register Status bit</i>)	1 = TSR penuh, 0 = TSR kosong



Tabel 2.4 lanjutan

2	BRGH (<i>High Baud Rate Select bit</i>)	Mode asinkron: 1 = High speed, 0 = Low speed Mode sinkron: tidak terpakai pada mode ini
3	Tidak terimplementasi	Terbaca sebagai '0'
4	SYNC (<i>USART Mode Select bit</i>)	1 = Mode sinkron, 0 = mode asinkron
5	TXEN (<i>Transmit Enable bit</i>)	1 = Transmit diaktifkan, 0 = Transmit dinonaktifkan
6	TX9 (<i>9-bit Transmit Enable bit</i>)	1 = Memilih pengiriman 9-bit, 0 = Memilih pengiriman 8-bit
7	CSRC (<i>Clock Source Select bit</i>)	Mode asinkron: Don't care Mode sinkron: 1 = mode master (menggunakan clock internal), 0 = mode slave (menggunakan clock eksternal)

Register RCSTA memiliki alamat 18h pada mikrokontroler PIC16F876A. Register ini memiliki lebar 8-bit dengan fungsi dari bit-bit tersebut dapat dilihat pada table 2.5 dan gambar 2.10.



Gambar 2.10 Register RCSTA

Tabel 2.5 Konfigurasi bit Register RCSTA

Bits	Nama bit	Keterangan
0	RX9D	Bit kesembilan dari Data yang diterima
1	OERR (<i>Overrun Error bit</i>)	1 = Overrun error (dapat diatasi dengan memberikan '0' pada CREN) 0 = Tidak ada overrun error

Tabel 2.5 lanjutan

2	FERR (Framming Error bit)	1 = Framming Error, 0 = Tidak ada framming error
3	ADDEN (Address Detect Enable bit)	Mode asinkron 9-bit (RX9=1) 1 = Mengaktifkan pendeteksian alamat, 0 = mengnonaktifkan pendeteksian alamat
4	CREN (Continous Receive Enable bit)	Mode asinkron: 1 = aktifkan continous receive, 0 = nonaktifkan continous receive Mode sinkron: 1 = aktifkan continous receive sampai CREN bernilai '0', 0 = nonaktifkan continous receive
5	SREN (Single Receive Enable bit)	Mode Asinkron: Don't care Mode sinkron (master): 1 = aktifkan single receive, 0 = nonaktif single receive Bit ini bernilai '0' ketika penerimaan selesai Mode sinkron (slave) : Don't care
6	RX9 (9-bit Receive Enable bit)	1 = Memilih penerimaan 9-bit, 0 = Memilih penerimaan 8-bit
7	SPEN (Serial Port Enable bit)	1 = Mengaktifkan port serial, 0 = mengnonaktifkan port serial

Pada modul USART, terdapat pula register USART *Baud Rate Generator* yang berfungsi untuk mengontrol periode *free-running timer* 8-bit. BRG (*Baud Rate Generator*) ini dapat digunakan dalam mode sinkron maupun asinkron. Dalam mode asinkron, bit BRGH (TXSTA<2>) juga mengontrol *baud rate*. Sedangkan dalam mode sinkron bit BRGH diabaikan. Pada Tabel 2.11 memperlihatkan persamaan untuk perhitungan *baud rate* untuk mode USART yang berbeda, yang hanya berlaku pada mode *Master* (Microchip,2013).



Tabel 2.6 Baud Rate Formula

SYNC	BRGH = 0 (Low speed)	BRGH = 1 (High speed)
0	(Asinkron) Baud Rate = $Fosc/(64(X+1))$	Baud Rate = $Fosc/(16(X+1))$
1	(Sinkron) Baud Rate = $Fosc/(4(X+1))$	N/A

Dengan diberikan *baud rate* dan *Fosc* yang diinginkan, nilai integer terdekat untuk register SPBRG dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan pada tabel tersebut. Dengan menggunakan persamaan ini pula *error* pada *baud rate* dapat diketahui. Ini dapat menjadi sebuah keuntungan apabila menggunakan *baud rate* yang tinggi (BRGH = 1), bahkan untuk *baud clock* yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan persamaan $Fosc/(16(X+1))$ dapat mengurangi *error baud rate* (Microchip,2013).

Tabel 2.7 Baud Rate untuk mode asinkron (BRGH = 0)

BAUD RATE (K)	Fosc = 20 MHz			Fosc = 16 MHz			Fosc = 10 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2	1.221	1.75	255	1.202	0.17	207	1.202	0.17	129
2.4	2.404	0.17	129	2.404	0.17	103	2.404	0.17	64
9.6	9.766	1.73	31	9.615	0.16	25	9.766	1.73	15
19.2	19.531	1.72	15	19.231	0.16	12	19.531	1.72	7
28.8	31.250	8.51	9	27.778	3.55	8	31.250	8.51	4
33.6	34.722	3.34	8	35.714	6.29	6	31.250	6.99	4
57.6	62.500	8.51	4	62.500	8.51	3	52.083	9.58	2
HIGH	1.221	-	255	0.977	-	255	0.610	-	255
LOW	312.500	-	0	250.000	-	0	156.250	-	0

BAUD RATE (K)	Fosc = 4 MHz			Fosc = 3.6864 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	0.300	0	207	0.3	0	191
1.2	1.202	0.17	51	1.2	0	47
2.4	2.404	0.17	25	2.4	0	23
9.6	8.929	6.99	6	9.6	0	5
19.2	20.833	8.51	2	19.2	0	2
28.8	31.250	8.51	1	28.8	0	1
33.6	-	-	-	-	-	-
57.6	62.500	8.51	0	57.6	0	0
HIGH	0.244	-	255	0.225	-	255
LOW	62.500	-	0	57.6	-	0

Tabel 2.8 *Baud Rate* untuk mode asinkron (BRGH = 1)

BAUD RATE (K)	Fosc = 20 MHz			Fosc = 16 MHz			Fosc = 10 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	-	-	-	-	-	-	2.441	1.71	255
9.6	9.615	0.16	129	9.615	0.16	103	9.615	0.16	64
19.2	19.231	0.16	64	19.231	0.16	51	19.531	1.72	31
28.8	29.070	0.94	42	29.412	2.13	33	28.409	1.36	21
33.6	33.784	0.55	36	33.333	0.79	29	32.895	2.10	18
57.6	59.524	3.34	20	58.824	2.13	16	56.818	1.36	10
HIGH	4.883	-	255	3.906	-	255	2.441	-	255
LOW	1250.000	-	0	1000.000	-	0	625.000	-	0

BAUD RATE (K)	Fosc = 4 MHz			Fosc = 3.6864 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	-	-	-	-	-	-
1.2	1.202	0.17	207	1.2	0	191
2.4	2.404	0.17	103	2.4	0	95
9.6	9.615	0.16	25	9.6	0	23
19.2	19.231	0.16	12	19.2	0	11
28.8	27.798	3.55	8	28.8	0	7
33.6	35.714	6.29	6	32.9	2.04	6
57.6	62.500	8.51	3	57.6	0	3
HIGH	0.977	-	255	0.9	-	255
LOW	250.000	-	0	230.4	-	0

Pada mode asinkron, USART menggunakan format standar *non-return-to-zero* (NRZ), yaitu satu START bit, 8 atau 9 data bit, dan satu STOP bit. Format data yang umum digunakan adalah 8-bit. USART mengirimkan dan menerima LSB terlebih dahulu. Pembangkit *baudrate* menghasilkan *clock* pada bit *rate* x16 atau x64, bergantung pada bit BRGH (TXSTA<2>). Paritas tidak ditentukan oleh *hardware*, namun dapat ditentukan dengan *software* (pada bit ke-9 data).

Mode asinkron dapat diaktifkan dengan menghilangkan nilai pada bit 'SYNC' (TXSTA <4>). Modul USART asinkron terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu:

- *Baud Rate Generator*
- *Sampling Circuit*
- *Asynchronous Transmitter*
- *Asynchronous Receiver* (Microchip,2013)

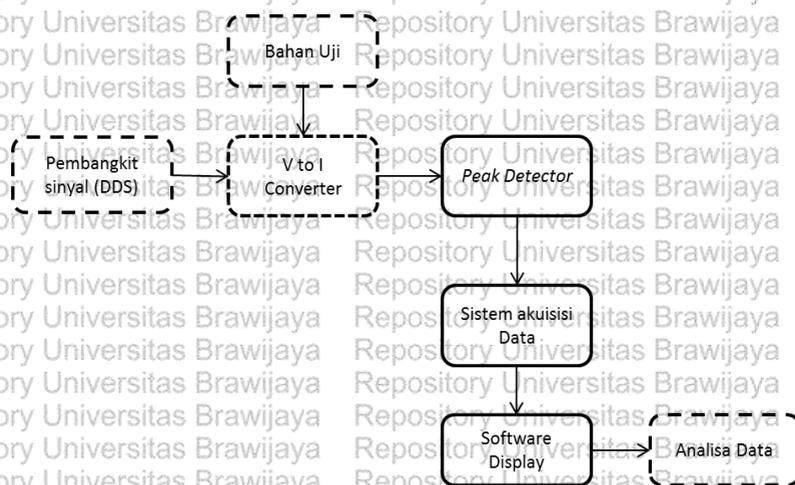
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2016 hingga Mei 2015 yang bertempat di Laboratorium Instrumentasi Gedung Biomol lantai 3, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

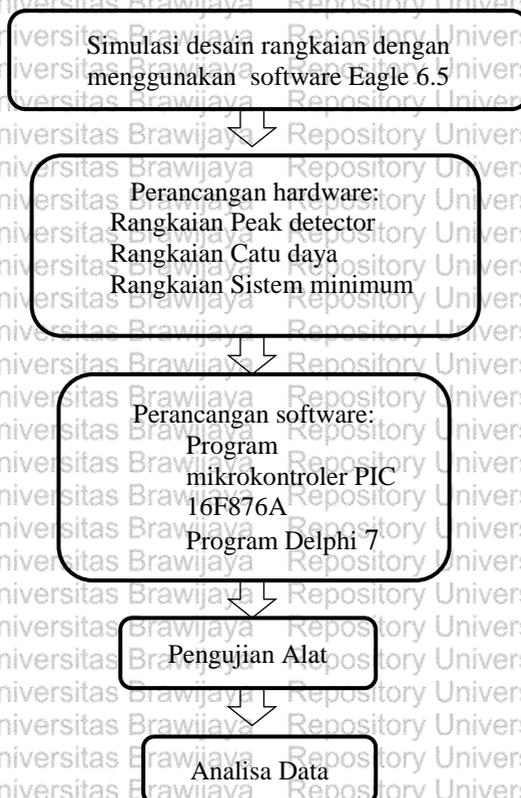
3.2 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran impedansi listrik kompleks dengan metode injeksi arus. Metode ini adalah metode dengan menginjeksikan arus dari sumber arus terprogram ke suatu bahan uji. Kemudian tegangan yang muncul dari diinjeksikannya arus ke bahan uji tersebut akan diolah untuk diidentifikasi komponen listriknya. Secara keseluruhan, blok diagram sistem pengukuran impedansi listrik kompleks dapat dilihat dari Gambar 3.2. Dari keseluruhan sistem pengukuran impedansi yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini hanya akan membahas mulai dari bagian rangkaian *peak detector* hingga analisis komponen R&C nya.



Gambar 3.1 Sistem Pengukuran Impedansi Listrik Komplek

Penelitian dapat berjalan dengan baik dengan adanya perencanaan dalam setiap pelaksanaan kegiatan. Proses pelaksanaan penelitian ini dari awal sampai akhir dapat digambarkan oleh diagram alir pada Gambar 3.4. Hal yang dilakukan pertama kali adalah membuat simulasi rangkaian *peak detector* dengan menggunakan *circuit maker*. Rangkaian yang telah disimulasikan ini didesain kembali menggunakan *software Eagle* beserta sistem akuisisi datanya. Selanjutnya dilakukan perancangan *software* untuk sistem akuisisi data dan *software* untuk *display*. Apabila seluruh sistem selesai dirancang dilakukan pengujian terhadap sistem untuk mengetahui performa sistem yang dibuat.

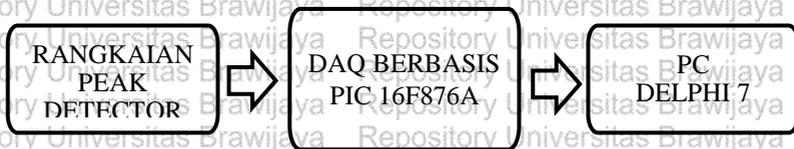


Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Desain Sistem

3.4.1 Desain Hardware

Desain sistem Instrumentasi adalah proses perancangan struktur subsistem dan prinsip kerja alat. Desain alat (*hardware*) yang direncanakan pada penelitian diterangkan pada Gambar 3.4 :



Gambar 3.3 Desain *Hardware* sistem

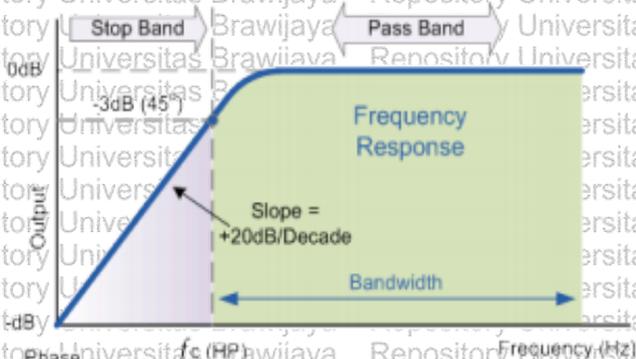
Sumber arus yang diinjeksikan berasal dari tegangan yang dikeluarkan oleh sebuah sumber arus dengan frekuensi tertentu yang diubah menggunakan konverter. Dari arus yang diinjeksikan ke bahan uji akan diukur tegangan yang muncul. Tegangan tersebut kemudian akan dikondisikan dengan menggunakan rangkaian filter HPF dan dideteksi amplitudo tegangannya dengan rangkaian *peak detector*.

Hasil deteksi amplitudo tegangan masukan kemudian akan masuk pada sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler PC16F876A. Pada tahap ini sinyal akan diubah menjadi data digital oleh modul ADC pada mikrokontroler. Tegangan dari rangkaian *peak detector* ini masuk ke masukan analog pada port A mikrokontroler kemudian didigitalisasi oleh ADC 10-bit internal mikrokontroler. Mikrokontroler juga berfungsi sebagai pengatur komunikasi serial ke USB pada komputer. Hasil perubahan digital oleh ADC ini akan dikirim secara serial melalui port Tx (RC6) pada mikrokontroler. Sedangkan data yang dikirim dari komputer akan diterima oleh mikrokontroler melalui port Rx (RC7).

Nilai amplitudo tegangan yang dideteksi akan ditampilkan secara grafis berupa kurva hubungan antara tegangan yang terukur dengan frekuensi yang disebut sebagai kurva respon frekuensi bahan. Identifikasi terhadap komponen listrik dari nilai impedansi yang terukur dilakukan dengan mengidentifikasi frekuensi *corner* pada respon frekuensi bahan. Frekuensi *corner* ditentukan dengan menarik

titik -3dB dari kurva respon frekuensi seperti terlihat pada Gambar 3.5. Apabila frekuensi *corner*-nya diketahui maka besar nilai R dan C nya dapat diketahui. Nilai R dan C akan diidentifikasi dari nilai frekuensi *corner*-nya (-3dB) melalui hubungan 3.1.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

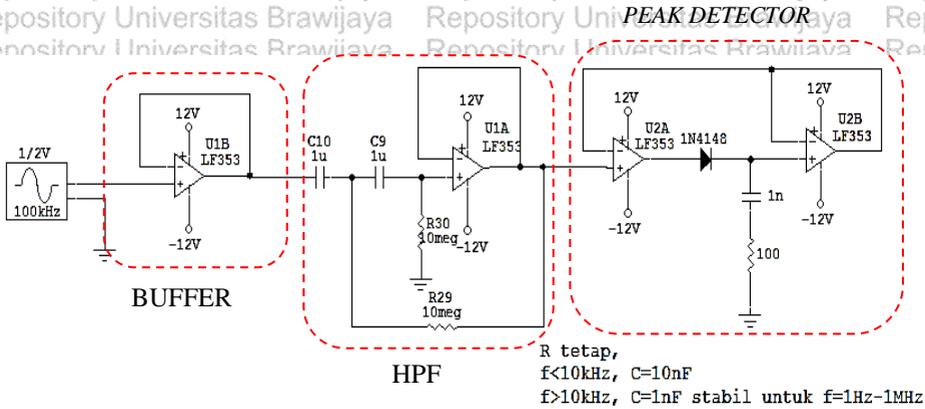


Gambar 3.4 Kurva Respon Frekuensi

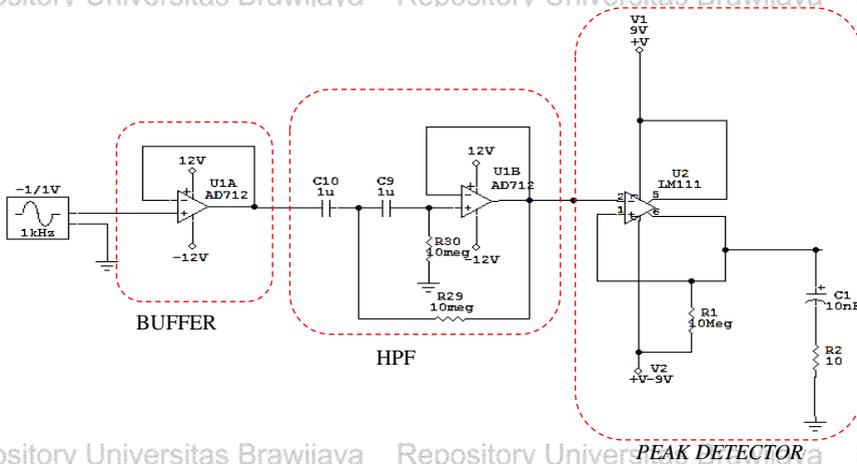
- **Desain *Peak detector***

Alat ukur impedansi yang akan dibuat pada penelitian ini memanfaatkan rangkaian *peak detector* karena tegangan masukan yang digunakan memiliki frekuensi tinggi. Hal tersebut menyebabkan kesulitan dalam pembacaan sinyal, sehingga untuk mengetahui nilainya cukup ditentukan dengan mendeteksi nilai amplitudo dari tegangan yang masuk. Penggunaan *peak detector* ini juga diharapkan dapat mendeteksi nilai amplitudo sinyal yang frekuensinya berubah – ubah sesuai yang diberikan oleh pembangkit sinyal.

Rangkaian *peak detector* akan dibuat dalam 2 mode yaitu dengan menggunakan komponen *opamp* LF353 dan rangkaian dengan menggunakan IC komparator LM311 dengan tujuan untuk mengetahui rangkaian mana yang berpresisi tinggi dan memiliki *bandwidth* yang lebar. Rangkaian *peak detector* yang akan dibuat dijelaskan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.5 Rangkaian *Peak Detector* dengan LF353



Gambar 3.6 Rangkaian *Peak Detector* dengan LM311

Rangkaian diatas terdiri dari rangkaian *buffer*, rangkaian *high pass filter*, dan rangkaian *peak detector*. Rangkaian *buffer* digunakan untuk memperbesar impedansi masukan sebelum sinyal *input* masuk

ke rangkaian HPF. Rangkaian HPF digunakan untuk memotong frekuensi DC sehingga sinyal *input* berfluktuasi di 0 V. Kemudian rangkaian *peak detector* yang berfungsi untuk mendeteksi nilai-nilai puncak amplitudo sinyal *input*. Rangkaian *buffer* pada *output* rangkaian juga digunakan untuk memperbesar impedansi masukan sehingga sinyal – sinyal kecil dapat terbaca.

Prinsip kerja dari rangkaian *peak detector* diatas adalah dengan menahan nilai tertinggi tegangan yang masuk dengan menjaga tegangan pada kapasitor untuk tetap sama dengan nilai tertinggi tegangan yang masuk. Rangkaian *peak detector* dengan LF353 menggunakan dioda untuk meloloskan tegangan positif (setengah gelombang) yang kemudian akan mengisi kapasitor. Apabila tegangan negatif yang masuk maka dioda akan memblokir tegangan tersebut. Namun rangkaian ini tidak dapat menghasilkan tegangan *output* yang sama persis dengan tegangan *input*nya. Misalnya tegangan *input*nya tegangan AC 5V maka *output*nya berupa tegangan DC senilai ± 4.3 V. Hal ini dikarengan rangkaian tersebut memiliki komponen dioda yang memiliki *voltage drop* sebesar 0.7V. Untuk mengatasi adanya *voltage drop* pada dioda, maka digunakan ic *Op Amp* dengan tipe komparator, sehingga nilai *output* yang diinginkan akan sesuai dengan nilai *input* yang masuk.

Voltage drop yang ada akan dapat diatasi, apabila ic *opamp* diganti menggunakan komparator. Prinsipnya, komparator ini akan membandingkan nilai *input* yang masuk dengan nilai *output*nya. Dengan begitu, apabila nilai *input* yang masuk kurang dari nilai *output* yang telah masuk kedalam 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.

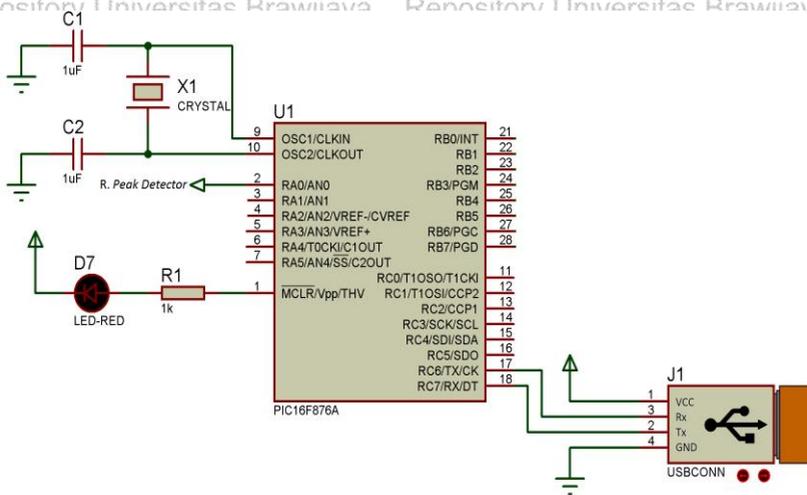
Nilai kapasitor yang digunakan juga mempengaruhi besar nilai tegangan yang dapat disimpan. Sehingga rangkaian *peak detector* ini akan memiliki pilihan kapasitor untuk digunakan pada range frekuensi tinggi atau rendah. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan *circuit maker* didapatkan bahwa nilai kapasitor yang digunakan adalah kapasitor 10nF dan 1nF. Kapasitor 10nF digunakan sebagai filter untuk frekuensi rendah sedangkan kapasitor 1 nF digunakan sebagai filter untuk frekuensi tinggi. Selanjutnya

keluaran dari *peak detector* ini akan diolah dengan sistem akuisisi data berbasis PIC16F876A.

- **Sistem Akuisisi Data**

Sistem akuisisi data pada penelitian ini dibuat menggunakan mikrokontroler PIC16F876A. Sistem akuisisi berfungsi untuk mengolah tegangan yang masuk sehingga dapat dilakukan identifikasi lebih lanjut. Rangkaian sistem ini terdiri dari sistem minimum mikrokontroler lengkap dengan kristal *oscillator* sebagai sumber *clock* eksternal dan LED sebagai indikator power seperti yang terlihat pada Gambar 3.8. Tahap akuisisi data ini meliputi perubahan sinyal analog menjadi data-data digital oleh ADC sampai dengan pengiriman data digital tersebut ke komputer.

Konverter ADC yang digunakan adalah ADC internal dari mikrokontroler. ADC mikrokontroler PIC 16F876A adalah ADC 10-bit dengan 5 *channel* bertipe SAR. *Channel* ADC pada mikrokontroler ini berada pada pin A yaitu pin A1 – pin A5. Namun pada alat ukur ini hanya akan menggunakan 1 *channel* ADC saja yaitu pada PIN A1 karena hanya 1 tegangan yang akan diolah. Selanjutnya untuk menjalankan ADC ini dibutuhkan program konversi ADC dengan menggunakan bahasa *assembly* dengan *software* MPLAB.



Gambar 3.7 Rangkaian sistem akuisisi data berbasis PIC16F876A

Hasil data digital dari ADC selanjutnya akan dikirim secara serial ke komputer untuk selanjutnya ditampilkan dengan grafik pada PC. Komunikasi serial yang digunakan adalah komunikasi serial asinkron menggunakan konverter TTL to USB. Pin mikrokontroler yang digunakan hanya Rx (RC 7) dan Tx (RC 6) tanpa saluran *clock* serial bersama.

Konverter TTL ke USB yang digunakan adalah buatan FTDI Chips yang dapat menyambungkan antara USB dan TTL. Dapat digunakan untuk 7-8 data bit dengan kecepatan pengiriman data dari 300-3 Mega Baud pada level TTL dengan konsumsi daya yang rendah. Input TTL yang digunakan sebesar 5V dengan output yang dapat dipilih yaitu 3.3V atau 5V. Konverter ini memiliki 6 output yaitu Tx, Rx, RTS,CTS, GND dan VCC.

Pin Tx (RC 6) dan Pin Rx (RC 7) dari mikrokontroler dihubungkan dengan Tx dan Rx pada konverter. Pin RC6 (Tx) dihubungkan dengan Rx pada komputer. Begitu pula sebaliknya, pin RC7 (Rx) dihubungkan dengan Tx pada koverter. *Ground* konverter juga harus dihubungkan dengan *ground* pada rangkaian dan VCC konverter juga dihubungkan dengan VCC pada

mikrokontroler sehingga catu daya untuk sistem minimum mikrokontroler dapat diambil dari komputer.

- **Display**

Sebagai bagian *display* (penampil) digunakan PC dengan *software* penampil yang dibuat menggunakan Delphi. *Display* dibuat sebagai *user interface* serta *user control* dari tegangan yang diukur.

Untuk menghubungkan antara PC dengan mikrokontroler, maka dibuat program untuk pembacaan *comport* dimana mikrokontroler terhubung pada port PC. Hal ini juga dilakukan agar komunikasi antara PC dengan mikrokontroler memiliki *baudrate* yang sama sehingga komunikasi berjalan.

Setelah seluruh bagian *hardware* selesai dibuat, akan dilanjutkan dengan pembuatan *software* sehingga tegangan hasil pengukuran dapat ditampilkan dan dapat diidentifikasi lebih lanjut.

3.4.2 Desain Software

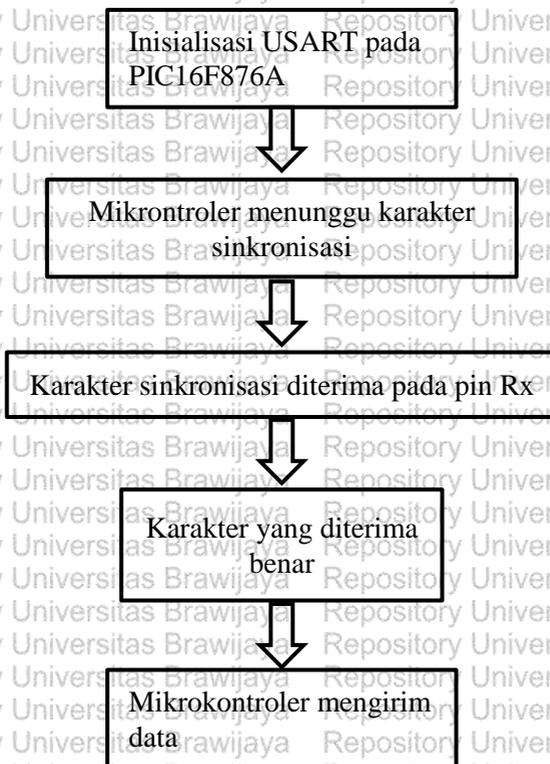
Untuk membuat program pada penelitian ini digunakan 2 *software* yaitu *software* MPLAB dan Delphi7. MPLAP digunakan sebagai editor sekaligus *compiler* program untuk mikrokontroler berjenis PIC. Sedangkan Delphi 7 digunakan untuk membuat *software* sebagai penampil data grafis sekaligus penghitung nilai R dan C.

Program yang akan dibuat pada mikrokontroler adalah program untuk pengiriman menggunakan USART dan program konversi tegangan dengan ADC. Program untuk pengiriman menggunakan USART mengatur register RCSTA dan register TXSTA. Register RCSTA digunakan untuk mengatur bit – bit yang berhubungan dengan proses penerimaan data mikrokontroler. Register TXSTA digunakan untuk mengatur bit – bit yang berhubungan dengan proses pengiriman data oleh mikrokontroler. Program ini juga mengatur *clock* serta *baudrate* yang digunakan dengan mengatur bit pada register SPBRG. Pada mikrokontroler PIC16F876A ini, komunikasi USART dapat berjalan apabila bagian interrupt untuk USART diaktifkan untuk itu perlu diatur juga bit RCIF dan TXIF pada register PIR1.

Alur komunikasi mikrokontroler dengan PC dimulai apabila mikrokontroler telah mendapatkan perintah mulai dengan menerima

karakter “S”. Setelah mikrokontroler mendapat perintah tersebut, mikrokontroler akan mengirim data hasil digitalisasi yang disimpan pada register penyimpanan. Apabila proses pengiriman hasil digitalisasi telah mencapai 1000 data maka pengiriman berhenti, dan mikrokontroler kembali menunggu perintah pengiriman.

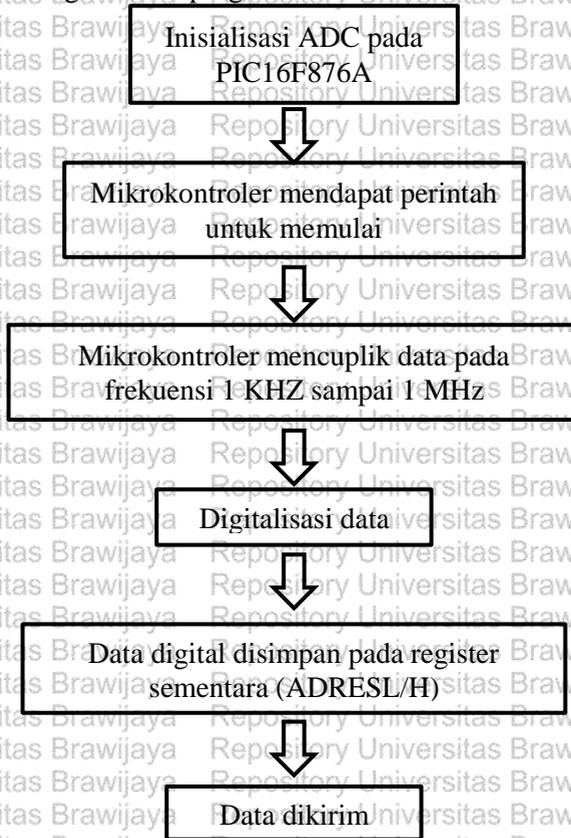
Gambar 3.9 menjelaskan diagram alir secara umum program untuk komunikasi antara mikrokontroler dengan PC.



Gambar 3.8 Rancangan alur program USART

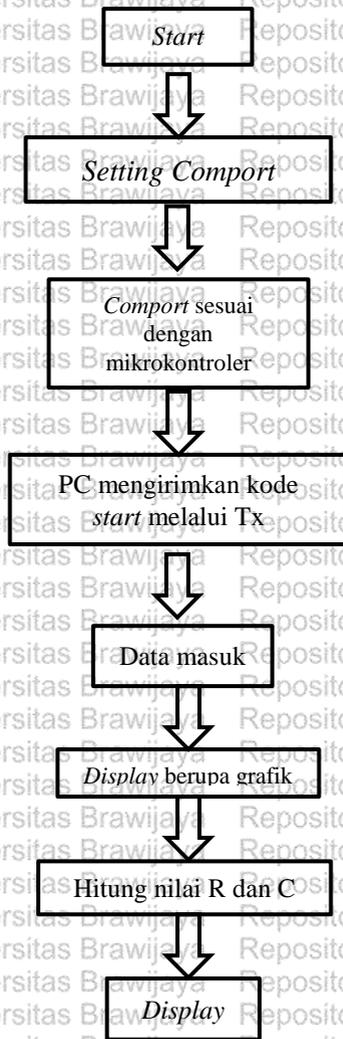
Untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital oleh mikrokontroler diperlukan program ADC. Program ADC ini diawali dengan mengatur register ADCON0 dan register ADCON1 yang merupakan register yang digunakan untuk inisialisasi program ADC. Kemudian agar program ADC ini berjalan maka perlu diatur *interrupt* untuk program ADC dengan mengatur bit ADIF pada

register *interrupt* PIR1. Pada program ADC ini juga diperlukan pengaturan timer untuk mengatur *prescaler* ADC dan penggunaan *oscillator*. Hasil data digital dari ADC ini tidak langsung dikirimkan tetapi disimpan dahulu pada register ADRESH/L sampai mikrokontroler mendapat perintah untuk mengirim. Gambar 3.10 menerangkan mengenai alur program konversi ADC.



Gambar 3.9 Rancangan alur program ADC

Setelah program untuk mikrokontroler dibuat, selanjutnya dibuat *software* sebagai *display* berupa grafis serta alat perhitungan nilai komponen listrik dengan menggunakan Delphi7. Perhitungan komponen R dan C dihitung dengan membuat program seperti Gambar 3.11:



Gambar 3.11 Rancangan alur program untuk *display*

3.5 Metode Pengujian Sistem

Untuk mengetahui kelayakan dan karakteristik sistem, terlebih dahulu dilakukan pengujian pada tiap bagian alat, sehingga saat alat ini digunakan untuk eksperimen berikutnya, alat ini dapat menghasilkan keluaran yang benar.

- **Metode Pengujian Rangkaian Peak Detector**

Pengujian rangkaian *peak detector* dilakukan dengan menguji kemampuan deteksi rangkaian pada frekuensi rendah (1 kHz), frekuensi sedang (100 kHz) dan frekuensi tinggi (500 kHz/1 MHz). Pengujian dilakukan dengan menggunakan *picoscope* dengan masukan berupa sinyal sinus IV yang dibangkitkan oleh *picoscope* sendiri. Pengujian tiap range frekuensi ini dilakukan untuk rangkaian *peak detector* dengan LF353 maupun rangkaian *peak detector* dengan komparator LM311. Keduanya juga diuji dengan 2 filter yang berbeda yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu filter 1 nF dan 10 nF. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kerja rangkaian *peak detector* untuk tiap range frekuensi.

Pengujian rangkaian *peak detector* selanjutnya adalah dengan melakukan pengujian pada respon frekuensi rangkaian. Pengujian dilakukan pada kedua mode rangkaian dengan memberi tegangan masukan dari frekuensi 1 kHz sampai 3MHz untuk mengetahui frekuensi kerja rangkaian yang paling stabil. Sumber tegangan yang digunakan adalah *signal generator* karena frekuensinya dapat diubah-ubah. Selanjutnya tegangan hasil deteksi dan data frekuensinya *direcord* menggunakan *software* yang telah dibuat kemudian disimpan dalam format *Ms. Excel*. Dari data ini kemudian diplot respon frekuensinya dengan menggunakan *Ms. Excel*.

- **Metode Pengujian Sistem Akuisisi Data (DAQ)**

Pengujian ADC

Pengujian yang selanjutnya dilakukan adalah pengujian ADC pada sistem akuisisi data. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem ADC pada mikrokontroler bekerja dengan baik serta untuk menguji program konversi ke bentuk sinyal digital yang dilakukan oleh mikrokontroler berjalan dengan benar.

Pengujian ADC dilakukan dengan menguji masukan analog mikrokontroler dengan tegangan yang diatur menggunakan potensiometer. Sinyal masukan dari potensiometer dapat diketahui dengan melihatnya melalui multimeter. Selanjutnya hasil konversi dari ADC mikrokontroler ini dikirim secara serial ke komputer. Hasil konversi yang telah dikirim ini dilihat dengan menggunakan

Hercules dan dibaca dengan menggunakan bilangan hexadesimal, bilangan-bilangan hexadesimal ini selanjutnya dihitung menggunakan rumus (1) sehingga didapatkan nilai tegangannya. Nilai tegangan hasil perhitungan ini selanjutnya akan dibandingkan dengan sinyal input dari potensiometer.

$$V = \frac{((MSB \times 256) + LSB) \times 5}{1024}$$

Pengujian Komunikasi Data

Pengujian komunikasi data ini digunakan untuk mengetahui apakah komunikasi antara mikrokontroler dan PC berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memprogram mikrokontroler dengan program konversi ADC yang sebelumnya diawali dengan perintah pengecekan bahwa pengiriman berjalan dengan benar.

Setelah setting serial berupa pemilihan *comport* dan *baudrate*, perintah pengecekan dilakukan dengan mengirim string 'S' dari PC dan mikrokontroler akan membalas 'OKE'. Apabila mikrokontroler membalas dengan benar maka dapat disimpulkan proses pengiriman data dan komunikasi antara mikrokontroler dan PC berjalan dengan baik.

- **Metode Pengujian Software**

Langkah pengujian selanjutnya yaitu pengujian *software* untuk mengetahui apakah *software* yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik. *Software* yang dibuat adalah *software* penampil keluaran rangkaian *peak detector* yang dibuat menggunakan program *Delphi7*.

Pengujian dilakukan di Laboratorium dengan menggunakan rangkaian *peak detector*, lengkap dengan sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler PC I6F876A dan *power supply*. Masukan rangkaian *peak detector* berasal dari *signal generator* dengan tegangan yang telah diatur sebesar 1V. Masukan diatur dengan frekuensi tertentu, kemudian dikirimkan kepada PC dan ditampilkan melalui *software* yang telah dibuat. Setelah data diterima, data akan ditampilkan dengan menggunakan grafik dan tabel untuk mengetahui besar keluaran rangkaian *peak detector*. Apabila bentuk grafik yang

ditampilkan sesuai dengan bentuk yang muncul pada *picoscope* seperti yang terlihat pada pengujian rangkaian *peak detector* maka dapat disimpulkan bahwa *software* yang dibuat berjalan dengan benar. Selain ditampilkan dengan grafik waktu, data juga bisa diplot sebagai respon frekuensi.

- **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 dari sistem. Pengujian dilakukan dengan membuat grafik respon frekuensi untuk tegangan masukan yang berbeda yaitu 100mV, 1V dan 5V. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tegangan masukan terbaik yang dapat digunakan oleh sistem.

Grafik respon frekuensi pada pengujian ini dibuat menggunakan rangkaian *peak detector* yang paling baik dari kedua mode rangkaian dengan filter yang berbeda pula. Penggunaan filter yang berbeda ini juga bertujuan untuk mengetahui filter terbaik yang dapat digunakan oleh sistem. Seperti pengujian sebelumnya, sumber tegangan masukan yang digunakan juga berasal dari *signal generator* yang amplitudo tegangannya diubah 100 mV, 1 V dan 5 V. Tiap tiap tegangan masukan diubah frekuensinya dari 1 kHz hingga 3 MHz untuk dilihat respon frekuensinya. Kemudian respon frekuensi ketiga tegangan masukan diplot menggunakan *Ms. Excel* dan dibandingkan antara ketiganya.

- **Metode Pengujian Identifikasi Nilai RC**

Apabila telah diketahui frekuensi kerja stabil dari rangkaian *peak detector*, maka dapat dilakukan pengujian terhadap identifikasi komponen listrik RC berdasarkan nilai tegangan yang terukur. Identifikasi ini dilakukan dengan mengidentifikasi nilai frekuensi *cutoff* pada plot respon frekuensi rangkaian sehingga nilai RC dapat terukur.

Identifikasi komponen RC dilakukan dengan menginjeksikan arus pada beban berupa resistor yang diparalel dengan kapasitor. Pengambilan data dilakukan dengan 2 beban resistor yang berbeda dengan 3 kombinasi nilai kapasitor yang berbeda. Beban yang digunakan adalah resistor 1 k Ω dengan 3 kombinasi nilai kapasitor



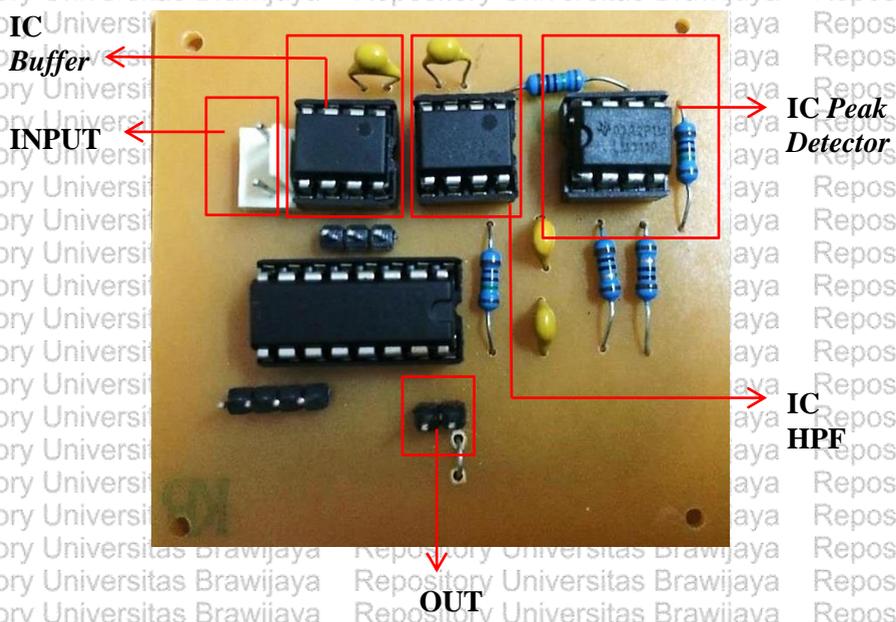
yaitu 1nF, 10nF dan 100nF serta resistor 10 k Ω dengan kombinasi kapasitor yang sama. Setelah dilakukan plot respon frekuensi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ditentukan titik tegangan *cutOff*-nya untuk diidentifikasi nilai RC-nya. Plot respon dilakukan menggunakan *software* yang telah dibuat dan nilai RC-nya juga dihitung secara otomatis menggunakan *software*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Desain Alat

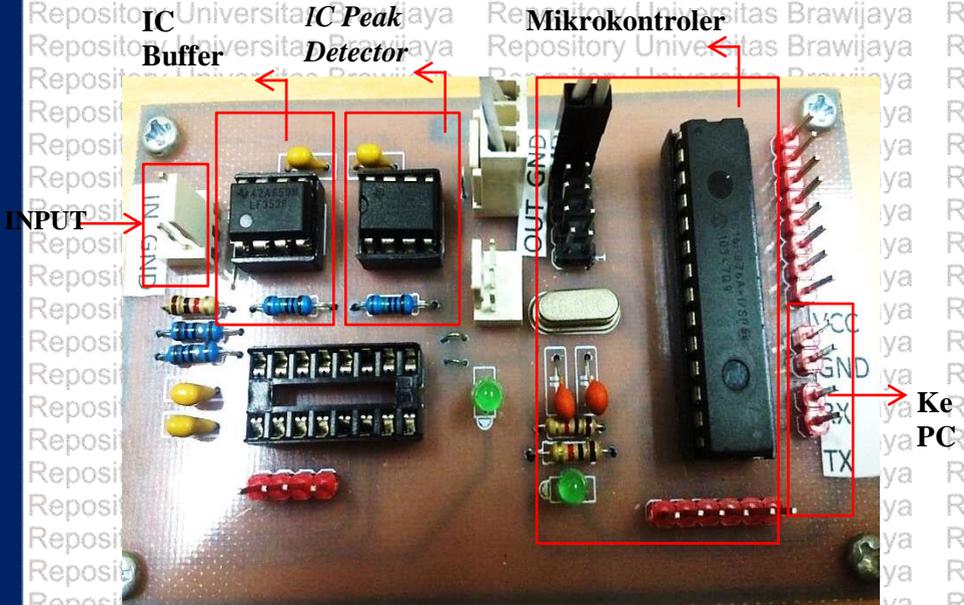
4.1.1 Hasil Desain *Hardware*

Setelah dilakukan tahap desain alat, dihasilkan 2 rangkaian *peak detector* yaitu rangkaian *peak detector* dengan menggunakan *OpAmp* LF353 serta rangkaian *peak detector* dengan menggunakan komparator. Hal ini bertujuan untuk mengetahui rangkaian *peak detector* terbaik untuk identifikasi impedansi listrik pada frekuensi 1kHz – 1MHz. Hasil desain rangkaian *peak detector* dengan menggunakan *OpAmp* LF353 ditunjukkan pada Gambar 4.1:



Gambar 4.1 Rangkaian Peak detector dengan OpAmp LF353

Selanjutnya hasil desain rangkaian *peak detector* dengan menggunakan komparator LM311 ditunjukkan pada Gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Rangkaian Peak detector dengan komparator LM311

Rangkaian *peak detector* ini kemudian disusun menjadi sebuah suatu alat ukur dengan konfigurasi seperti yang terlihat pada gambar dibawah.

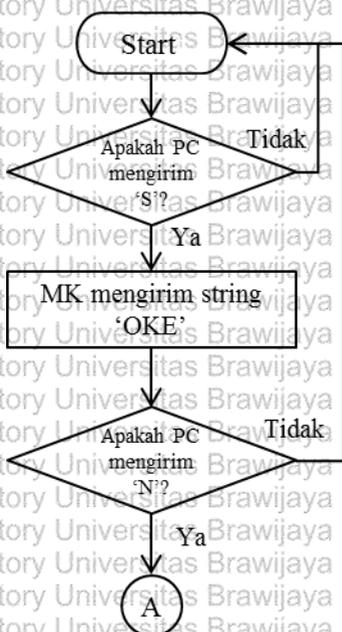


Gambar 4.3 Konfigurasi Penggunaan Alat

4.1.2 Hasil Pengembangan Software

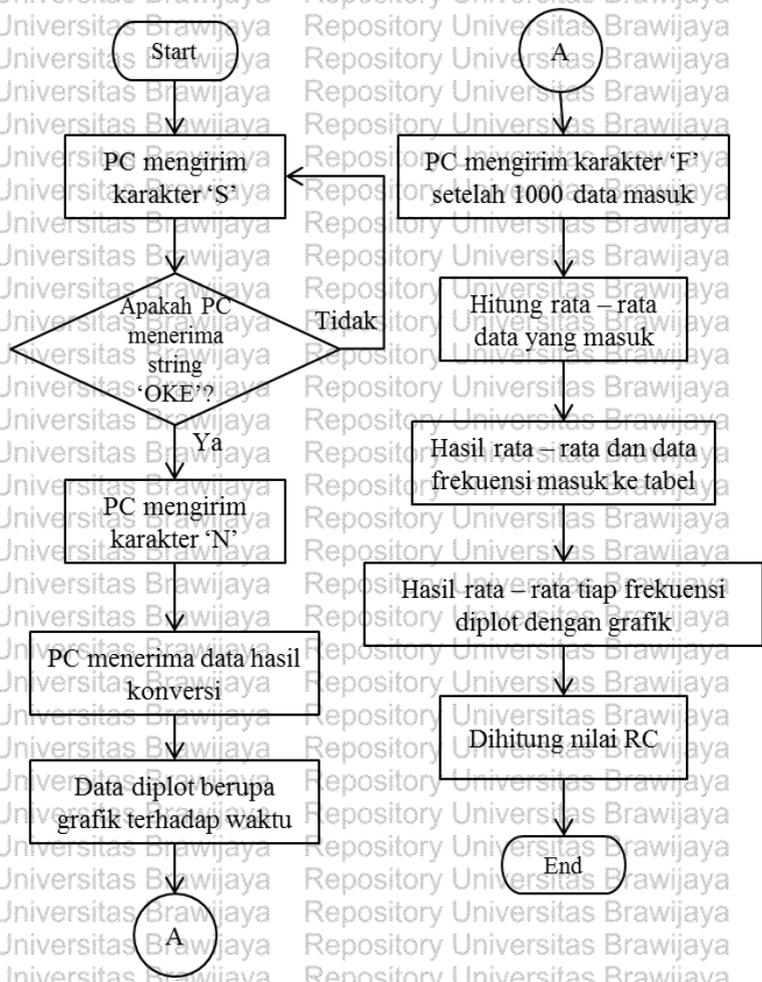
Setelah tahap pembuatan *hardware* selesai dilakukan dan alat telah bekerja dengan baik, maka dilakukan pengembangan *software* untuk mikrokontroler dan juga *software* untuk program *Delphi7*.

Pengembangan *software* untuk mikrokontroler merupakan program untuk konversi ADC dan komunikasi serial sedangkan pengembangan *software* sebagai *display* dan *interface* antara *user* dengan mikrokontroler dibuat menggunakan program *Delphi7*. Alur diagram untuk konversi ADC serta komunikasi serial yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 4.4. Hasil konversi ADC ini berjalan dengan baik.



Gambar 4.4 Hasil Pengembangan Software untuk Mikrokontroler

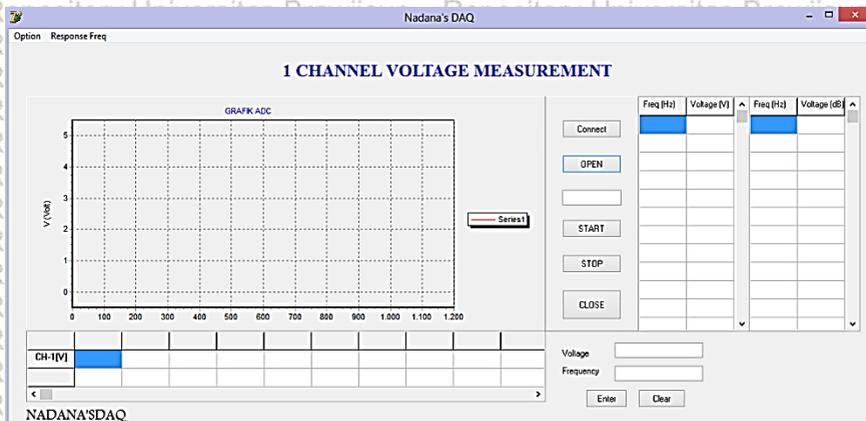
Setelah mikrokontroler diprogram dan bekerja dengan baik, selanjutnya dilakukan pengembangan *software* sebagai *interface* alat ukur. Gambar 4.4 menunjukkan hasil alur pengembangan program *Delphi7* yang telah dibuat.



Gambar 4.5 Hasil Pengembangan Software Delphi7

Pada program yang dibuat, data yang masuk di plot kedalam grafik berdasarkan waktu dan dimasukkan ke dalam tabel untuk tiap frekuensi. Dari tabel tersebut akan dibuat plot respon frekuensinya. Selanjutnya dari titik tegangan *cutoff*-nya dapat dihitung pula nilai R dan C secara otomatis. *User* hanya perlu

memasukan frekuensi *cutoff*-nya saja pada kotak yang tersedia dan memilih tombol *enter* maka nilai RC-nya akan muncul. Perhitungan nilai R dan C ini dilakukan dengan memasukan rumus frekuensi *cutoff* pada program sistem akuisisi data yang dibuat. Selain itu data tegangan dan frekuensi yang terukur juga dapat disimpan dengan menggunakan Ms. Excel.



Gambar 4.6 Tampilan *software*

4.2 Hasil Uji Alat

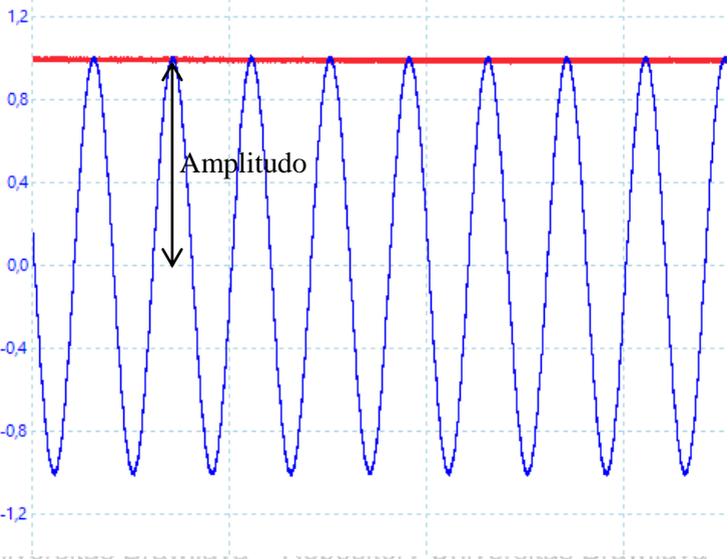
4.2.1 Hasil Pengujian Rangkaian *Peak Detector*

Sesuai dengan metode pengujian yang telah dijabarkan sebelumnya, berikut hasil pengujian rangkaian *peak detector* yang telah dilakukan.

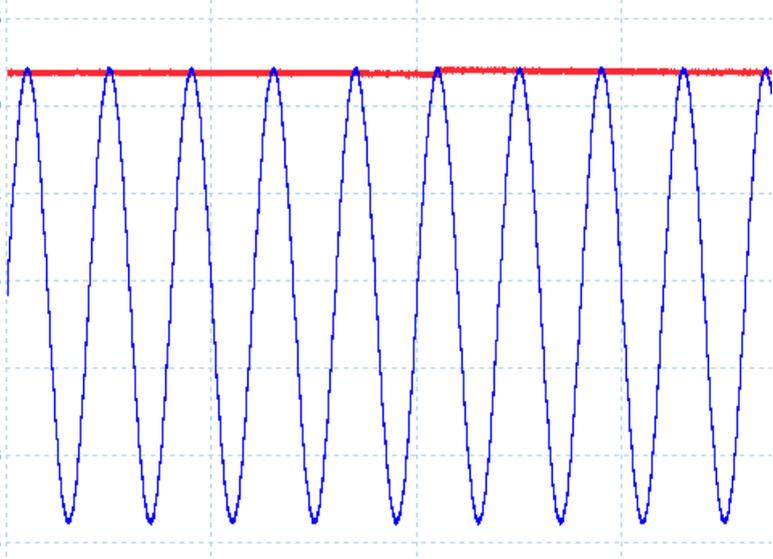
- **Pengujian Rangkaian *Peak Detector* dengan LF353**

Pada Frekuensi 1 kHz

Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan perbandingan hasil deteksi rangkaian *peak detector* dengan LF353 terhadap tegangan input antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10nF$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1nF$:



Gambar 4.7 Frekuensi 1kHz dengan filter C=10nF

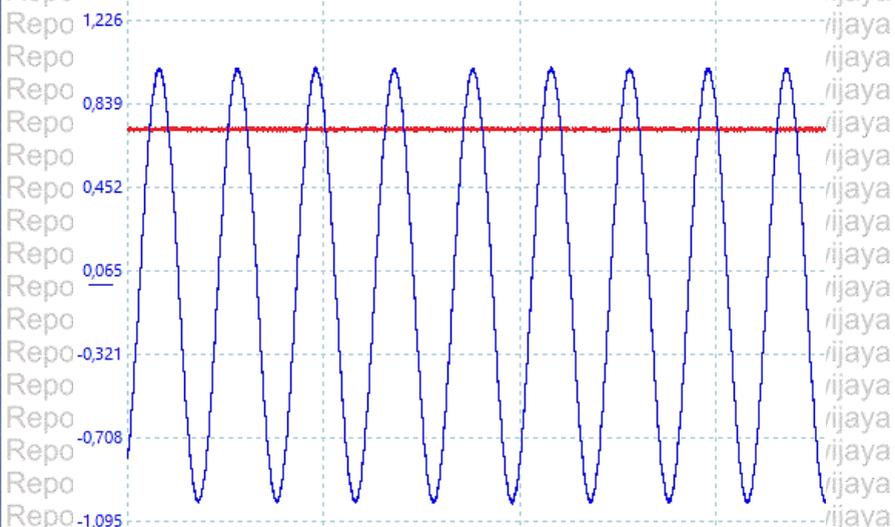


Gambar 4.8 Frekuensi 1kHz dengan filter C=1nF

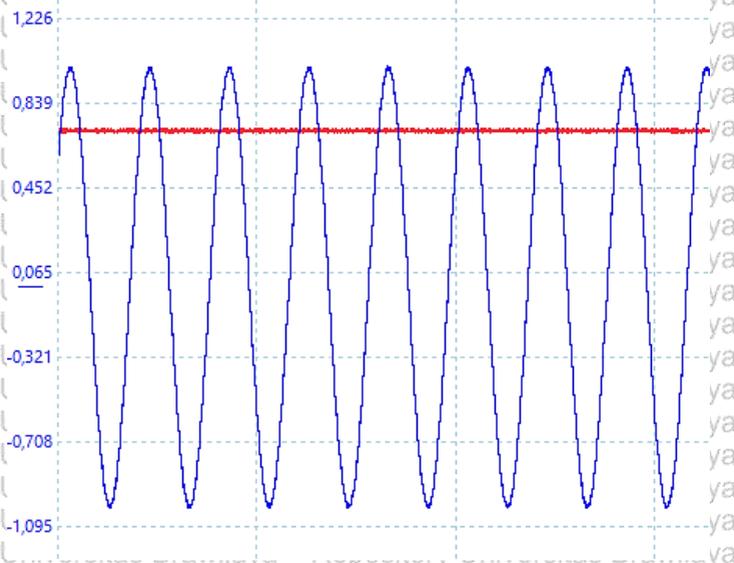
Dari perbandingan kedua gambar frekuensi diatas dapat dilihat bahwa deteksi puncak oleh rangkaian untuk frekuensi 1 kHz sangat baik. Untuk rangkaian *peak detector* dengan filter (kapasitor) 10nF tegangan keluaran yang dihasilkan mendekati nilai amplitudo tegangan input. Untuk rangkaian *peak detector* dengan filter (kapasitor) 1nF, tegangan keluaran yang dihasilkan juga mendekati amplitudo tegangan input.

Pada Frekuensi 100 kHz

Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan perbandingan hasil deteksi puncak tegangan terhadap tegangan input untuk frekuensi 100 kHz antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10\text{nF}$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1\text{nF}$:



Gambar 4.9 Frekuensi 100kHz dengan filter $C=10\text{nF}$

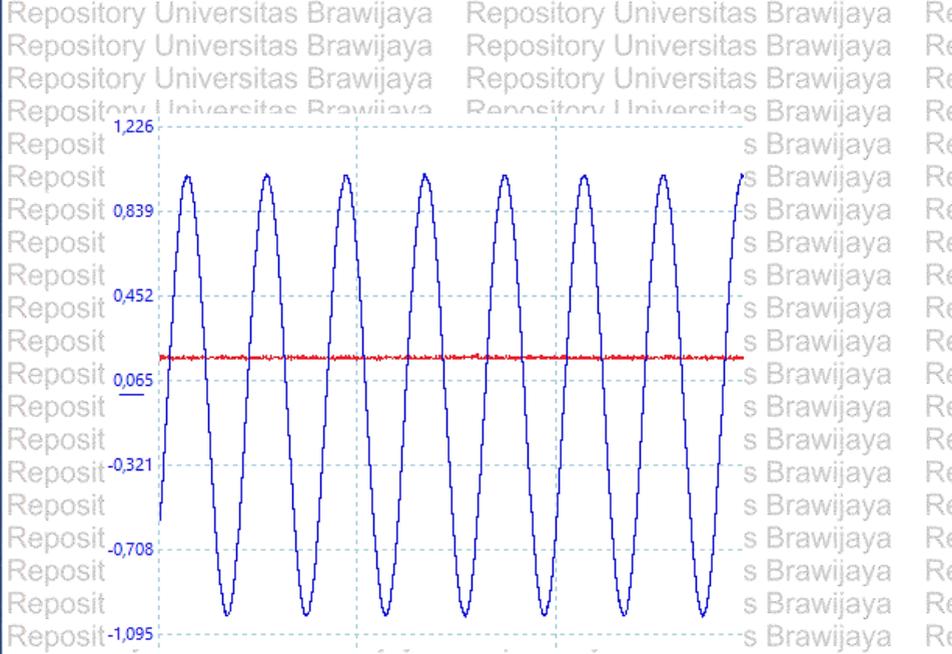


Gambar 4.10 Frekuensi 100kHz dengan filter $C=1nF$

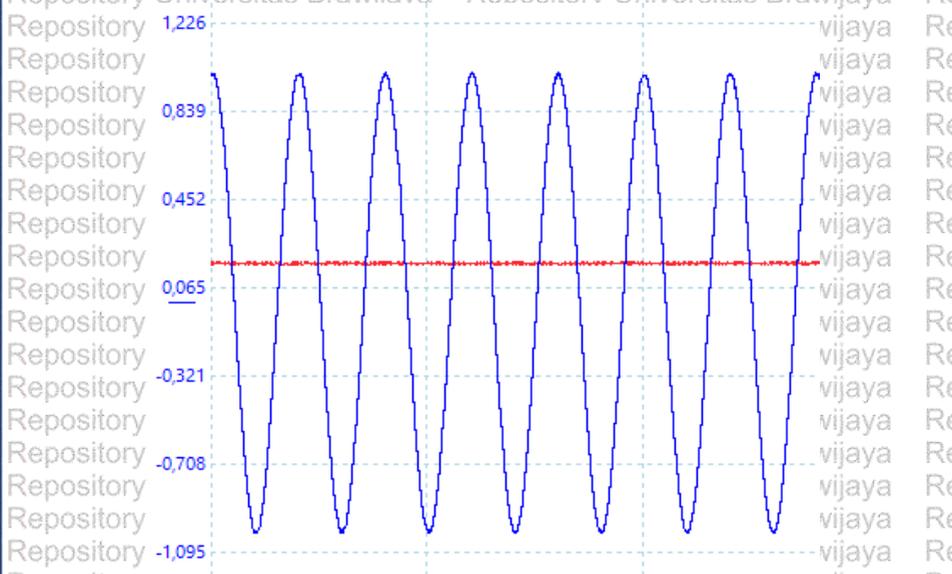
Dari perbandingan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa pada frekuensi 100kHz amplitudo tegangan keluaran kedua rangkaian turun jika dibandingkan dengan amplitudo tegangan inputnya. Keduanya tegangan keluaran turun pada nilai yang hampir serupa. Turunnya tegangan ini disebabkan karena adanya tegangan lutut dioda (0,3 V) yang memotong sinyal keluaran.

Pada Frekuensi 500 kHz

Perbandingan hasil deteksi puncak tegangan terhadap tegangan input untuk frekuensi 500kHz antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10nF$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1nF$ ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12 :



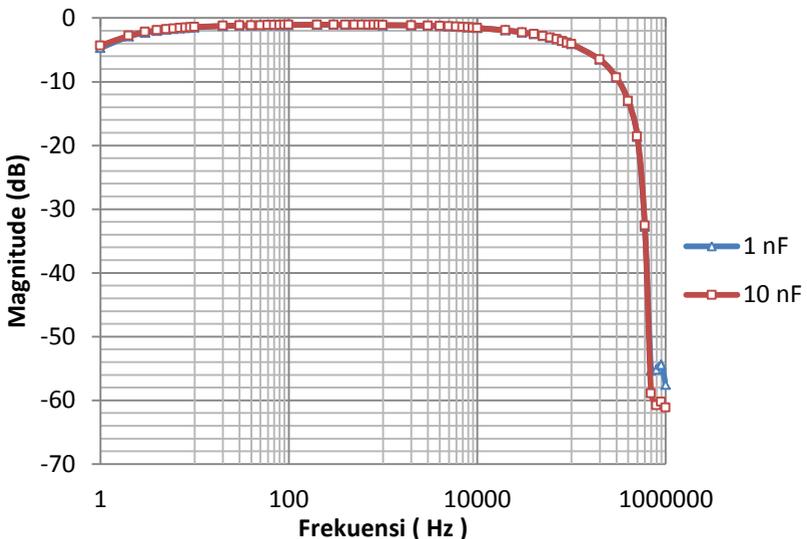
Gambar 4.11 Frekuensi 500kHz dengan filter C=10nF



Gambar 4.12 Frekuensi 500kHz dengan filter C=1nF

Dari perbandingan kedua gambar frekuensi diatas, dapat dilihat bahwa akibat adanya tegangan lutut pada dioda yang digunakan menyebabkan semakin habisnya tegangan keluaran pada frekuensi 500kHz. Turunnya tegangan ini akan terus terjadi hingga diatas frekuensi 500 kHz.

Plot respon frekuensi rangkaian *peak detector* dengan LF353 dibuat dengan menguji rangkaian dengan tegangan masukan dari frekuensi 1 Hz – 4 MHz. Pengujian dilakukan menggunakan *software* yang telah dibuat dan dilakukan *plotting* menggunakan *Ms. Excel* seperti yang terlihat pada Gambar 4.13.

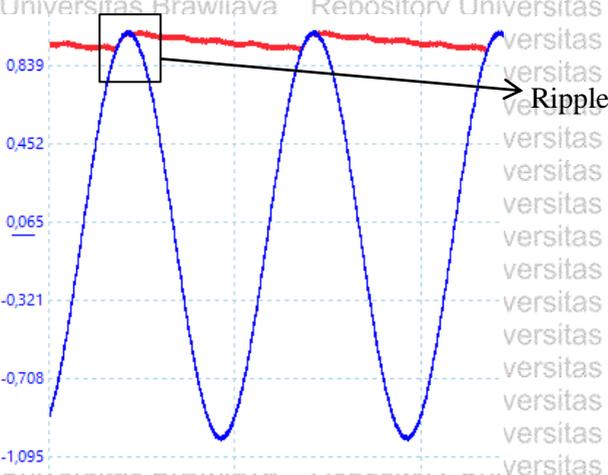


Gambar 4.13 Hasil Plot Respon Frekuensi

Pada plot respon frekuensi diatas terlihat bahwa kondisi stabil terjadi pada rentang frekuensi 80 Hz – 1 kHz. Ini artinya rangkaian *peak detector* dengan menggunakan opamp LF353 ini hanya baik digunakan dalam rentang frekuensi 80 Hz – 1 kHz.

Pada frekuensi 1 Hz – 50 Hz, tegangan yang dihasilkan tidak mendekati amplitudo sinyal masukan atau berada dibawah tegangan inputnya akibat adanya ripple kapasitor. Sehingga akibat adanya ripple kapasitor, plot nilai yang terjadi akan turun karena nilai

tegangannya pada plot frekuensi diatas diambil dari rata – rata tegangan yang dideteksi oleh rangkaian *peak detector*.



Gambar 4.14 Gambar Ripple pada frekuensi 10 Hz

Tegangan ripple yang muncul seperti pada Gambar 4.14 disebabkan akibat waktu *discharge* kapasitor yang lebih cepat dari pada periode frekuensi tegangan masukan. Hal ini dapat dikurangi dengan menambah nilai kapasitor menjadi lebih besar.

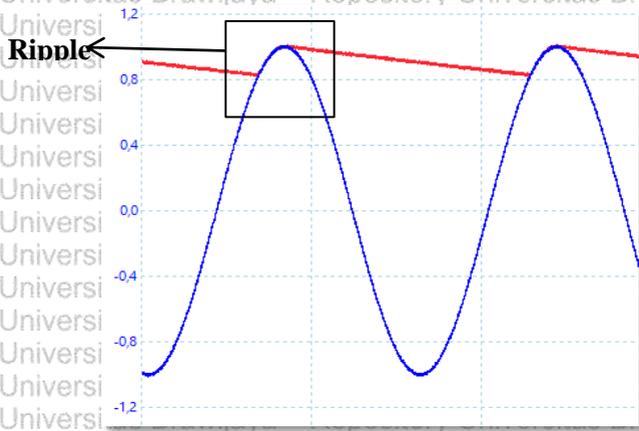
Rangkaian *peak detector* dengan menggunakan opamp LF353 ini memiliki kelemahan bahwa tegangan keluaran dari rangkaian ini tidak tepat sesuai dengan puncak tegangan inputnya. Hal ini disebabkan karena tegangan terpotong oleh tegangan lutut dioda serta kemampuan kerjanya yang tidak dapat digunakan untuk frekuensi tinggi.

Selanjutnya dilakukan pengujian pada rangkaian *peak detector* dengan komparator LM311 untuk mengetahui rangkaian mana yang memiliki karakteristik yang lebih baik.

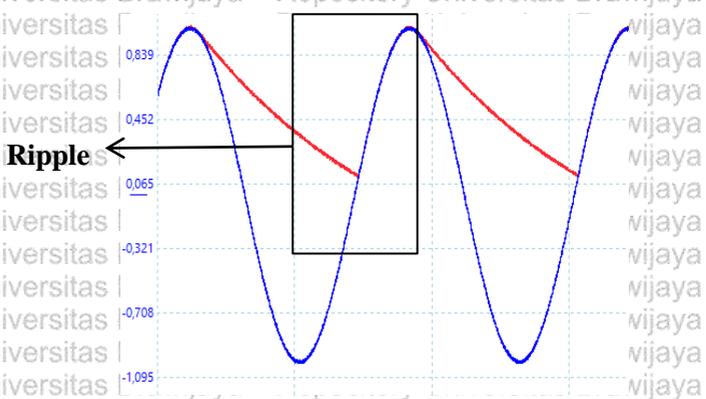
• Pengujian Rangkaian *Peak Detector* dengan Komparator LM311

Pada Frekuensi 1 kHz

Gambar 4.15 dan 4.16 menunjukkan perbandingan hasil deteksi puncak tegangan terhadap tegangan input untuk frekuensi 1 kHz antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10nF$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1nF$:



Gambar 4.15 Frekuensi 1kHz dengan filter $C=10nF$



Gambar 4.16 Frekuensi 1kHz dengan filter $C=1nF$

Gambar diatas merupakan gambar pengujian pada frekuensi masukan 1 kHz. Pada pengujian dengan menggunakan masukan frekuensi 1 kHz terjadi ripple kapasitor pada filter 1nF dan 10 nF. Berikut tabel perbandingan tegangan ripple yang muncul antara rangkaian *peak detector* dengan filter 1nF dengan filter 10nF :

Tabel 4.1 Tabel Perbandingan Ripple pada filter 10nF dan 1nF

No	Freq (Hz)	V ripple 10nF (V)	V ripple 1 nF (V)
1	1000	0,181	0,890
2	2000	0,097	0,575
3	5000	0,042	0,278
4	10000	0,020	0,155
5	20000	0,012	0,081

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan ripple yang terjadi lebih besar pada filter 1nF. Tegangan ripple muncul disebabkan karena waktu *discharge* kapasitor yang lebih cepat dari pada periode frekuensi tegangan masukan. Hal ini berhubungan dengan *time constant* kapasitor. Berikut bentuk persamaan *time constant* kapasitor,

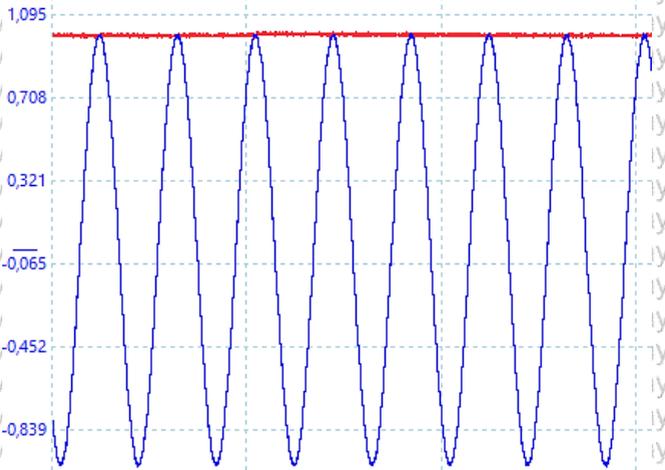
$$\tau = R \times C \tag{2}$$

Time Constant pada filter 10nF lebih besar jika dibandingkan filter 1 nF sehingga waktu *discharge* untuk filter 10nF lebih lama daripada filter 1nF. Sehingga untuk masukan periode frekuensi tegangan yang sama, tegangan ripple pada filter 10nF lebih kecil daripada filter 1nF.

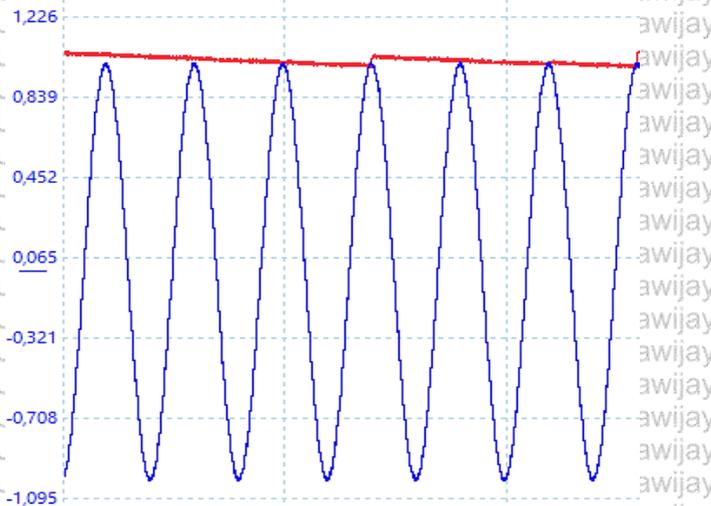
Pada Frekuensi 100 kHz

Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan perbandingan hasil deteksi *peak detector* terhadap tegangan *input* untuk frekuensi 100 kHz

antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10\text{nF}$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1\text{nF}$:



Gambar 4.17 Frekuensi 100kHz dengan filter $C=10\text{nF}$

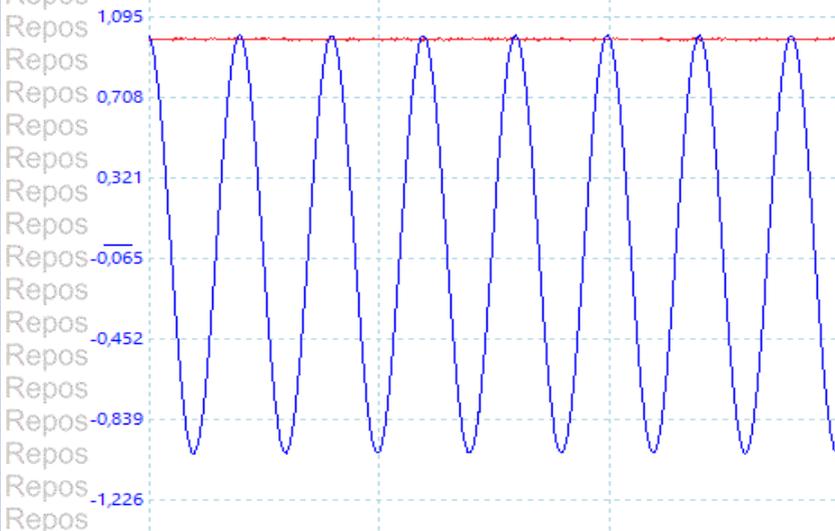


Gambar 4.18 Frekuensi 100kHz dengan filter $C=1\text{nF}$

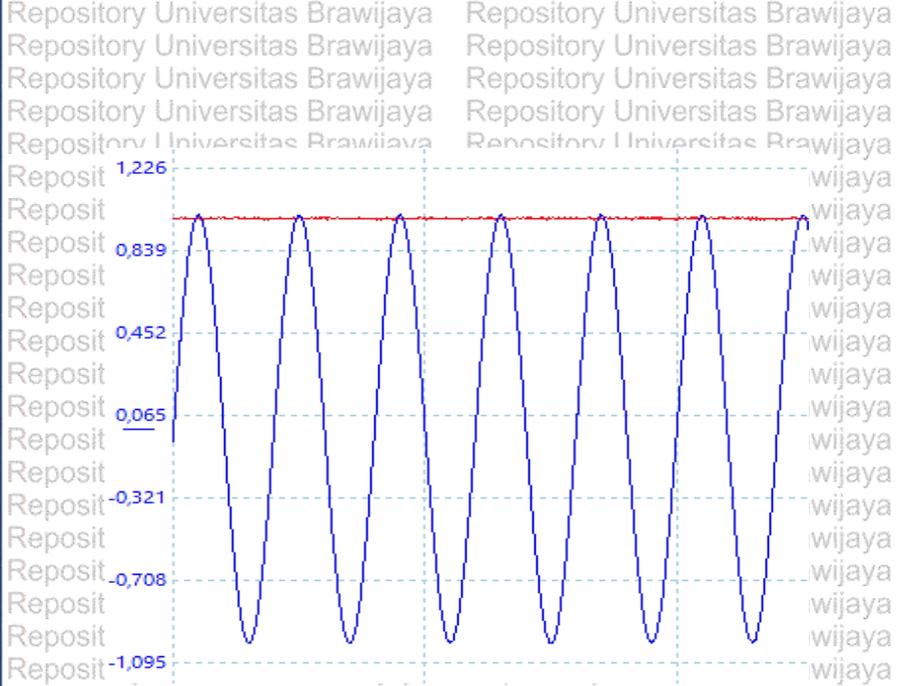
Gambar diatas merupakan gambar pengujian pada frekuensi masukan 100 kHz. Grafik diatas menunjukkan bahwa pada frekuensi 100kHz rangkaian *peak detector* bekerja dengan baik, terlihat pada grafik *output*-nya tepat mendeteksi pada puncak grafik *input*-nya. Namun pada sinyal keluaran pada filter 1 nF terjadi *noise* pada tegangan keluaran yang dihasilkan. *Noise* ini mungkin saja muncul dari kesalahan rangkaian seperti *track* rangkaian yang rusak atau kesalahan pada proses penyolderan rangkaian.

Pada Frekuensi 1 MHz

Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan perbandingan hasil deteksi puncak tegangan terhadap tegangan *input* untuk frekuensi 1 MHz antara rangkaian *peak detector* dengan filter $C=10\text{nF}$ dengan rangkaian *peak detector* dengan filter $C=1\text{nF}$:

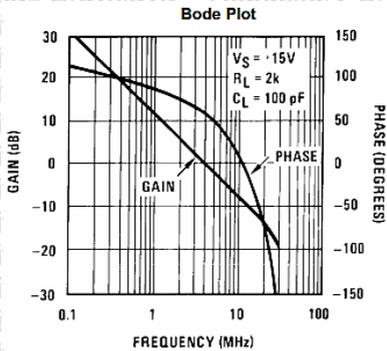


Gambar 4.19 Frekuensi 1MHz dengan filter $C=10\text{nF}$



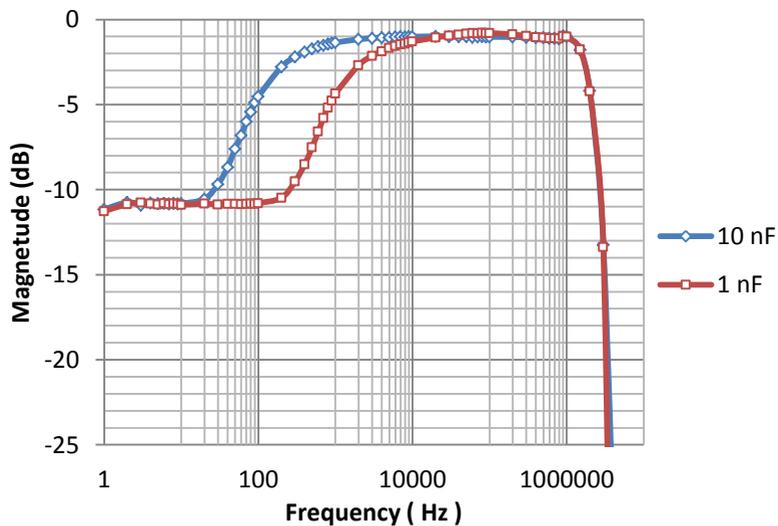
Gambar 4.20 Frekuensi 1MHz dengan filter $C=1nF$

Terlihat pada gambar, pada frekuensi 1Mhz rangkaian *peak detector* masih dapat mendeteksi puncak amplitudo tegangan dari masukannya, walaupun nilai yang ditunjukkan sudah sedikit menurun. Penurunan tegangan akan terus terjadi pada frekuensi diatas 1 Mhz hingga mencapai 0V. Turunnya tegangan keluaran ini disebabkan karena keterbatasan respon frekuensi *opamp* LF353 yang turun diatas 1 Mhz. Seperti yang tertera pada *Bode plot Datasheet* IC LF353 (Gambar 4.20), respon frekuensi *OpAmp* turun pada frekuensi 3MHz pada kondisi idealnya, namun kenyataannya nilainya sudah mulai turun pada frekuensi diatas 1 MHz.



Gambar 4.21 Bode plot respon frekuensi LF353

Pengujian selanjutnya adalah pengujian respon frekuensi dari kedua filter dengan pengambilan data yang dimulai dari frekuensi 1Hz – 4Mhz. Perbandingan antara keduanya dilakukan dengan menggunakan *Ms. Excel* secara *online* menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 :



Gambar 4.22 Hasil Plot Respon Frekuensi

Plot respon frekuensi pada Gambar 4.22 menunjukkan bahwa kondisi stabil untuk filter 10 nF terjadi pada rentang frekuensi 1 kHz sampai 1 MHz. Sedangkan untuk plot respon frekuensi filter 1 nF, kondisi stabil terjadi pada rentang frekuensi 10kHz – 1 MHz. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian *peak detector* ini baik digunakan dalam rentang frekuensi 1 kHz sampai 1 MHz apabila digunakan komparator LM311 dengan filter 10 nF.

4.2.2 Pengujian ADC

Pengujian ADC ini mengacu pada metodologi pengujian yang dijelaskan sebelumnya. Tabel 4.2 menunjukkan hasil perbandingan hasil konversi ADC mikrokontroler, dari sinyal masukan potensiometer.

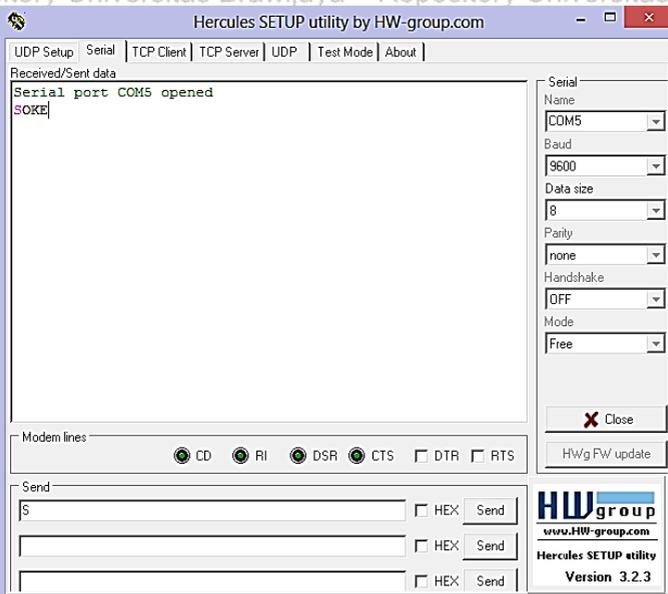
Tabel 4.2 Tabel Hasil Konversi ADC

Tegangan input (V)	Nilai digital (Hexamdesimal)	Tegangan hasil konversi (V)
0	(00)(00)	0
1,01	(00)(CB)	0,986
2,51	(01)(FB)	2,47
5.0	(03)(FF)	5

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat terdapat perbedaan antara tegangan input dengan tegangan hasil perhitungan dari konversi. Namun karena perbedaan yang muncul tidak terlalu besar maka perbedaan ini dapat ditoleransi. Hasil ini menunjukkan bahwa ADC pada sistem akuisisi data ini bekerja dengan baik.

4.2.3. Pengujian Komunikasi Data

Pengujian komunikasi data dilakukan dengan mengacu pada metodologi pengujian pada bab sebelumnya. Gambar 4.23 menunjukkan hasil komunikasi berjalan dengan baik.

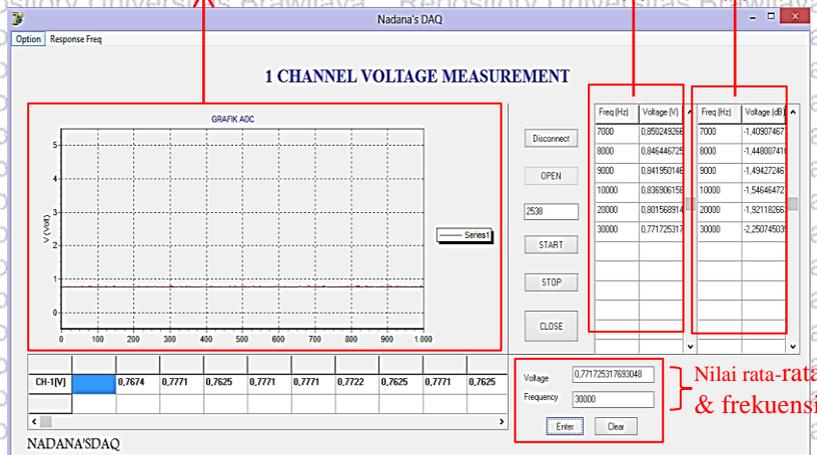


Gambar 4.23 Hasil Uji Komunikasi Data

Dari pengujian komunikasi antara mikrokontroler dan komputer tersebut didapatkan hasil bahwa mikrokontroler dapat membalas dengan benar, sehingga dapat dipastikan komunikasi setelah itu akan berjalan dengan benar.

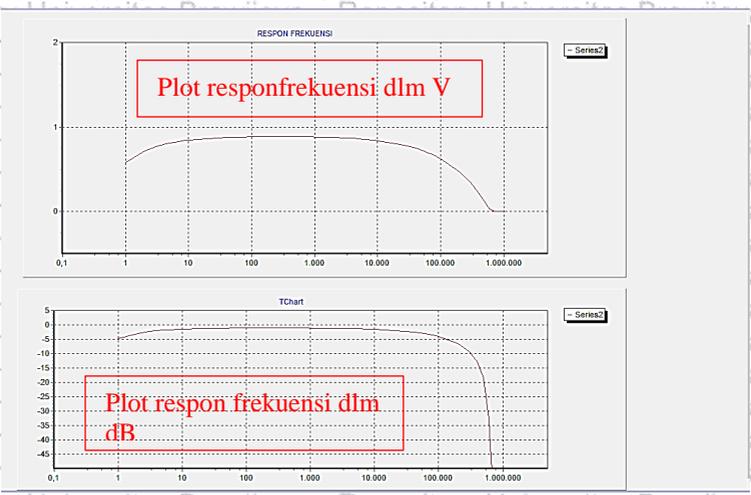
4.2.4 Pengujian Software

Setelah melakukan pengujian *software* dengan menggunakan *software* yang telah dibuat dan menggunakan keseluruhan sistem alat yang dibuat dihasilkan tampilan yang terlihat seperti gambar dibawah. Terlihat bahwa hasil deteksi rangkaian muncul sesuai yang diharapkan dan data berupa tegangan hasil deteksi serta frekuensi yang masuk disimpan pada tabel dengan benar.



Gambar 4.24 Tampilan *Software Delphi*

Untuk pengujian plot respon frekuensi menggunakan *software* ditunjukkan seperti Gambar 4.25. Terlihat bahwa hasil plot respon frekuensi yang dihasilkan berjalan dengan baik. hasil



Gambar 4.25 Tampilan Respon Frekuensi

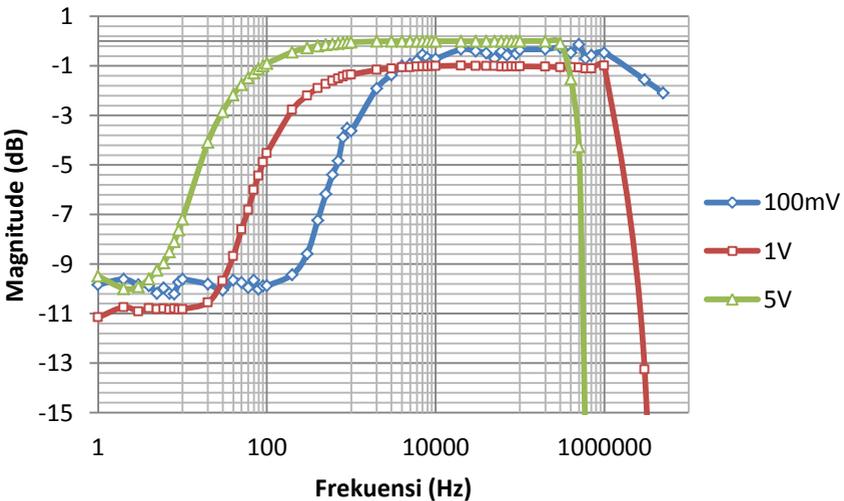
4.3 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Dari pembahasan mengenai perbandingan kedua rangkaian *peak detector* sebelumnya, terlihat bahwa hasil keluaran untuk rangkaian *peak detector* dengan menggunakan komparator LM311 lebih baik jika dibandingkan dengan rangkaian *peak detector* dengan menggunakan op amp LF353. Maka selanjutnya dilakukan pengujian keseluruhan system menggunakan rangkaian *peak detector* dengan komparator LM311. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan masukan yang berbeda sehingga dapat diketahui sinyal masukan terbaik yang bisa digunakan.

Plot respon frekuensi dilakukan menggunakan software yang telah dibuat, kemudian *direcord* dengan menggunakan *Microsoft Excel* untuk selanjutnya di plot dengan menggunakan grafik.

- **Plot Respon Frekuensi Rangkaian *Peak Detector* dengan komparator LM311 dengan filter 10nF**

Gambar 4.26 menunjukkan hasil plot frekuensi dengan filter 10nF untuk sinyal masukan 100mV, 1V dan 5V,



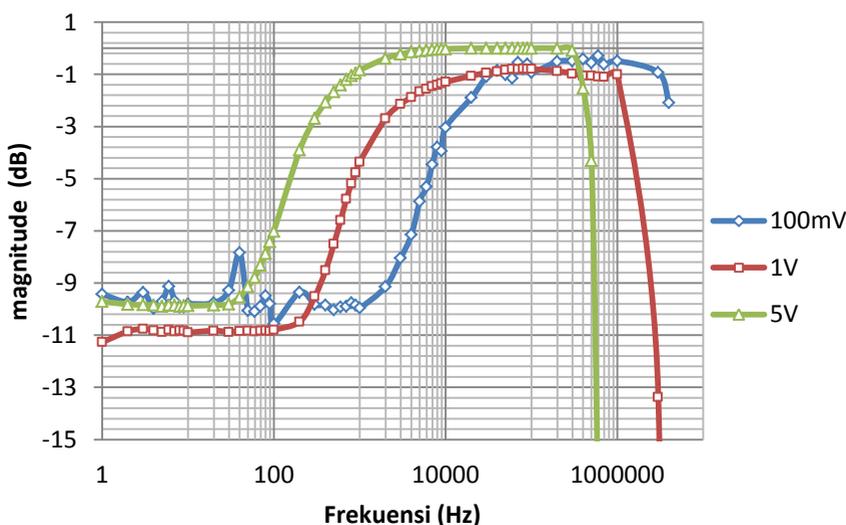
Gambar 4.26 Plot respon Frekuensi untuk filter 10nF

Grafik pada Gambar 4.26 memperlihatkan respon frekuensi ketiga tegangan masukan untuk filter 10nF. Hasil respon frekuensi rangkaian *peak detector* dengan komparator LM311 untuk masukan 100mV (garis warna biru) dengan filter 10nF menghasilkan keluaran yang tidak stabil walaupun trend grafik yang ditunjukkan sama dengan respon frekuensi dengan masukan yang lain. Hal ini disebabkan pada tegangan rendah terdapat *peak-peak* yang tidak diinginkan yang muncul sehingga nilai keluaran yang dihasilkan tidak *smooth*.

Untuk masukan tegangan 1V dan 5V dihasilkan grafik yang baik dan lebih *smooth*. Dari grafik dengan masukan tegangan 1 V (warna merah) dapat dilihat bahwa nilai frekuensi kerja stabil yang dapat digunakan oleh alat yaitu berkisar antara 1 kHz sampai 1 MHz. Sedangkan pada grafik untuk masukan 5V (warna biru) nilai frekuensi kerja stabil yang dapat digunakan lebih kecil yaitu berkisar antara 500 Hz sampai 300 kHz saja.

- **Plot Respon Frekuensi Rangkaian *Peak Detector* dengan komparator LM311 dengan filter 1nF**

Selanjutnya gambar 4.27 menunjukkan hasil plot frekuensi dengan filter 1nF untuk sinyal masukan 100mV, 1 V dan 5V,



Gambar 4.27 Plot respon Frekuensi untuk filter 1nF

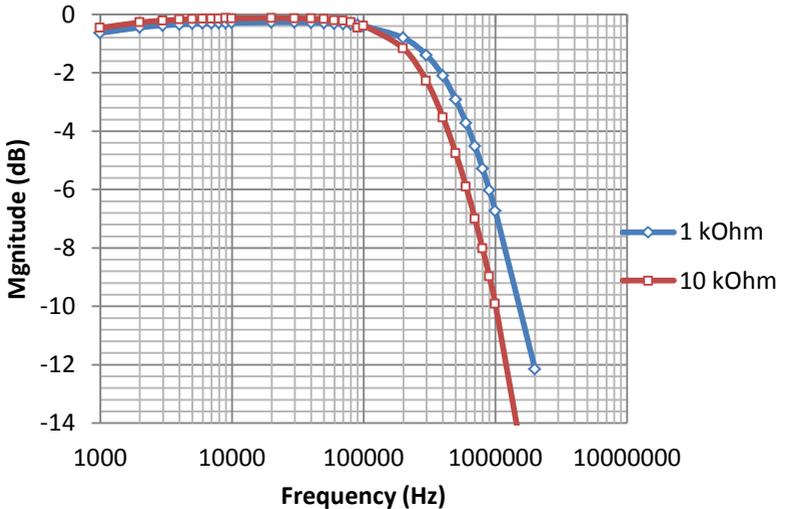
Grafik pada Gambar 4.27 memperlihatkan respon frekuensi ketiga tegangan masukan untuk filter 1nF. Pada respon frekuensi tegangan masukan 100mV hasil keluaran rangkaian lebih tidak stabil daripada rangkaian *peak detector* dengan filter 10nF. Hal ini disebabkan karena *peak – peak* yang tidak diinginkan lebih besar munculnya daripada rangkaian sebelumnya akibat penggunaan filter yang lebih besar nilai kapasitansinya sehingga grafik yang dihasilkan tidak *smooth*.

Untuk masukan tegangan 1V dan 5V dihasilkan grafik yang baik dan lebih *smooth*. Dari grafik dengan masukan tegangan 1V (warna merah) dapat ditentukan nilai frekuensi kerja stabil yang dapat digunakan oleh alat yaitu berkisar antara 10 kHz sampai 100 MHz. Sedangkan pada grafik untuk masukan 5V (warna biru) nilai frekuensi kerja stabil yang dapat digunakan turun yaitu berkisar antara 3 kHz sampai 300 kHz saja.

Sehingga dari hasil percobaan ini dapat diambil kesimpulan bahwa rangkaian *peak detector* terbaik untuk alat ukur impedansi kompleks adalah rangkaian *peak detector* yang menggunakan komparator LM311 karena dapat digunakan dengan baik pada frekuensi 1KHz sampai 1MHz dengan filter 10nF dan tegangan masukan yang direkomendasikan adalah tegangan 1V.

4.5 Hasil Pengujian Identifikasi Komponen Listrik RC

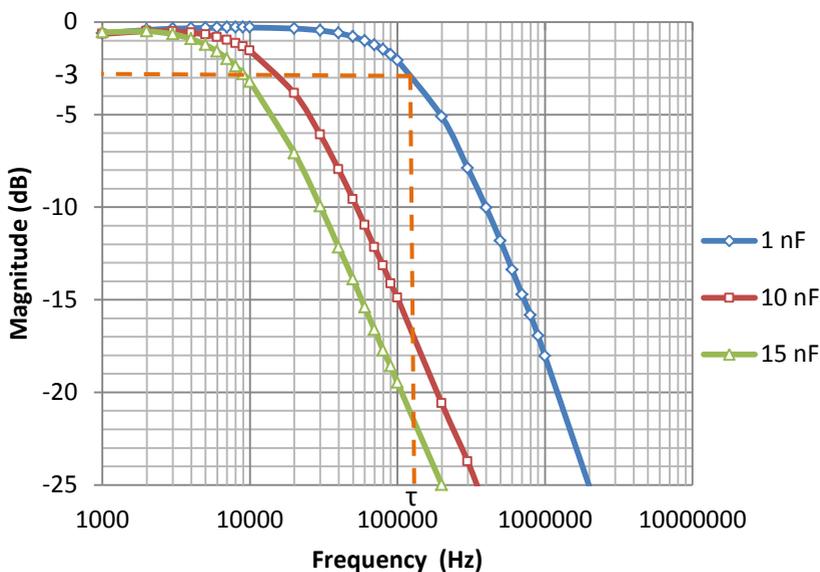
Gambar 4.28 menunjukkan hasil identifikasi komponen listrik RC untuk beban berupa resistor 1 k Ω dan resistor 10 k Ω .



Gambar 4.28 Plot respon Frekuensi untuk Beban $R=1\text{k}\Omega$ dan $R=10\text{k}\Omega$

Grafik respon frekuensi pada Gambar 4.28 menunjukkan bahwa untuk beban resistor yang lebih besar, grafik respon frekuensinya akan semakin turun. Hal ini juga menunjukkan bahwa nilai frekuensi *corner* untuk resistor dengan nilai yang lebih besar akan turun juga. Sehingga grafik respon diatas sesuai dengan teori bahwa nilai frekuensi *corner* berbanding terbalik dengan beban resistor. Bentuk grafik yang menurun disebabkan oleh karakteristik dari alat ukur yang telah dibuat.

Selanjutnya, Gambar 4.29 menunjukkan hasil identifikasi komponen listrik RC dengan resistor 1 kOhm dengan 3 kombinasi nilai kapasitor 1nF, 10nF, dan 15nF.

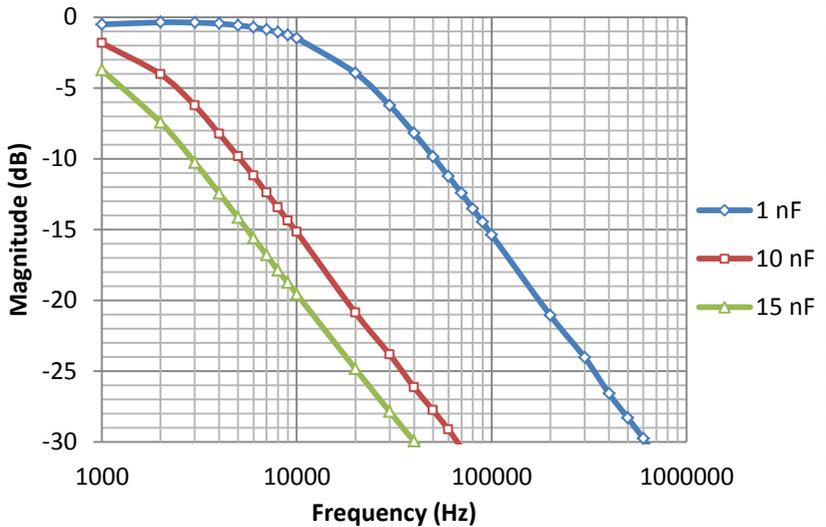


Gambar 4.29 Plot respon Frekuensi untuk Beban $R=1\text{k}\Omega$ dan $C=1\text{nF}$, $C=10\text{nF}$, $C=15\text{nF}$

Tabel 4.3 Tabel Perbandingan Nilai RC untuk Beban $R=1\text{k}\Omega$ dan $C=1\text{nF}$, $C=10\text{nF}$, $C=15\text{nF}$

No	Nilai Beban	Frekuensi Corner (Hz)	Nilai RC yg terukur	Nilai RC yg seharusnya
1	$1\text{ k}\Omega // 1\text{ nF}$	130000	$1,21\text{E}-6$	$1\text{E}-6$
2	$1\text{ k}\Omega // 10\text{ nF}$	16500	$9,650\text{E}-6$	$10\text{E}-6$
3	$1\text{ k}\Omega // 15\text{ nF}$	9500	$1,676\text{E}-5$	$1,5\text{E}-5$

Pada Gambar 4.30 menunjukkan hasil identifikasi komponen listrik RC dengan resistor 10 kOhm dengan 3 kombinasi nilai kapasitor 1nF, 10nF, dan 15nF.



Gambar 4.30 Plot respon Frekuensi untuk Beban $R=10k\Omega$ dan $C=1nF$, $C=10nF$, $C=15nF$

Tabel 4.4 Tabel Perbandingan Nilai RC untuk Beban $R=10k\Omega$ dan $C=1nF$, $C=10nF$, $C=15nF$

No	Nilai Beban	Frekuensi <i>Corner</i> (Hz)	Nilai RC yg terukur	Nilai RC yg seharusnya
1	10 kΩ // 1 nF	16500	9,650E-6	10E-6
2	10 kΩ // 10 nF	1600	9,952E-5	10E-5
3	10 kΩ // 15 nF	(dibawah 1 kHz)	-	1,5E-4

Kedua grafik diatas menunjukkan grafik respon frekuensi dari pengukuran impedansi listrik kompleks menggunakan rangkaian *peak detector* dengan injeksi dari sumber arus dengan beban berupa resistor yang diparalel dengan kapasitor. Dari hasil eksperimen

terlihat bahwa hasil bahwa grafik respon frekuensi semakin menurun seiring semakin besar beban yang digunakan. Terlihat pula bahwa nilai frekuensi *corner*-nya juga semakin kecil apabila nilai beban yang digunakan juga semakin besar seperti yang terlihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Dari nilai RC yang terukur dengan nilai RC berdasarkan perhitungan secara teori terdapat *error* seperti yang terlihat pada tabel. Nilai *error* ini dapat terjadi karena *human error* saat pengambilan nilai frekuensi *corner* yang tidak tepat pada tegangan 0,707V karena penentuan nilai fekuensi *corner* dilakukan dengan mengambil frekuensi pada tegangan yang mendekati 0,707V. Selain itu selisih ini juga dapat disebabkan karena adanya offset tegangan input (*input voltage offset*) dari setiap *opamp* yang digunakan, sehingga nilai yang terukur akan sedikit turun atau tidak tepat sesuai dengan nilai masukan yang diberikan. Oleh sebab itu, nilai tegangan *corner* yang terjadi tidak sesuai dengan teori. Namun secara relatif terhadap nilai tegangan tertinggi yang terukur, nilai frekuensi *corner* yang didapat berada tepat dititik -3dB.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Sistem instrumentasi yang telah dikembangkan pada penelitian ini dapat bekerja dengan baik pada *range* frekuensi 1 kHz – 1MHz. Sistem instrumentasi ini terdiri dari rangkaian *peak detector*, DAQ berbasis PIC16F876A dan *software* sebagai pengendali sistem dan *signal processing*. Dari eksperimen yang dilakukan didapatkan hasil bahwa:

- Rangkaian *peak detector* yang digunakan adalah rangkaian *peak detector* dengan komparator LM311 karena menghasilkan nilai yang lebih presisi.
- Filter yang digunakan agar sistem bekerja optimum pada *range* frekuensi 1 kHz - 1MHz adalah filter dengan besar $C = 10 \text{ nF}$.
- Tegangan masukan yang direkomendasikan untuk menggunakan alat ini adalah dengan tegangan 1 V.

Proses identifikasi nilai RC yang dilakukan juga dapat bekerja dengan baik terlihat dari nilai RC yang dihasilkan sesuai dengan nilai RC yang seharusnya.

5.2 Saran

Untuk membuat alat ukur impedansi listrik ini menjadi lebih baik, maka untuk penelitian selanjutnya perlu dikembangkan cara untuk memperkecil tegangan *ripple* yang muncul pada frekuensi rendah. Selain itu perlu dikembangkan pula rangkaian *peak detector* yang mampu bekerja diatas frekuensi 1MHz.