



UNIVERSITAS INDONESIA

**INSTRUMEN PENGUKUR RESPON FREKUENSI
MEMANFAATKAN TEKNIK DIAGRAM BODE**

SKRIPSI

**RIZKY REYCHAN NURIAWADI
0606040072**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM SARJANA EKSTENSI FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**INSTRUMEN PENGUKUR RESPON FREKUENSI
MEMANFAATKAN TEKNIK DIAGRAM BODE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**RIZKY REYCHAN NURIAWADI
0606040072**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI SARJANA EKSTENSI FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rizky Reychan Nuriawadi
NPM : 0606040072
Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rizky Reychan Nuriawadi
NPM : 0606040072
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Judul Skripsi : Instrumen Pengukur Respon Frekuensi Memanfaatkan
Teknik Diagram Bode

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Prawito ()

Pembimbing : Drs. Arief Sudarmadji, M.T. ()

Penguji : ()

Penguji : ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Dengan limpahan kasih sayang Allah SWT akhirnya perjuangan untuk membuat skripsi ini dapat tercapai. Walaupun dalam penulisan ilmiah ini saya menemukan berbagai macam kesulitan, tetapi Allah SWT senantiasa memberikan tetesan rahmat-Nya sehingga semua rintangan dan tantangan dapat dilalui dengan ridha-Nya.

Adapun tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Ekstensi pada Program Studi Fisika Instrumentasi Elektronika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Selama mengerjakan skripsi ini saya banyak mendapat bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini saya hendak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya.
2. Kedua Orang tuaku yang tercinta, adikku tersayang beserta keluarga tercinta yang telah memberi dukungan moril dan materiil selama ini.
2. Bapak Dr.Prawito dan Bapak Drs. Arief Sudarmadji, M.T. , selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, kemudahan dalam berpikir dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Santoso Sukirno, selaku Ketua Program Departemen Fisika.
4. Bapak Dwi Riyanto serta Dosen-dosen yang telah memberikan banyak ilmu selama menjalani kehidupan di kampus ataupun di luar kampus.
5. Mas Rizky dan Mbak Latri yang selalu direpotkan oleh penulis.
6. Momz, yang selalu siap memberikan dukungan disaat-saat penting.
7. Seluruh keluarga besar FMIPA UI.
8. Semua pihak yang secara tidak langsung terlibat dalam pembuatan skripsi ini dan tidak mungkin dapat disebutkan satu persatu, semoga amal baik yang telah dilakukan senantiasa dibalas oleh Allah SWT.

Semoga Allah SWT melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya atas kebaikan Bapak / Ibu dan Saudara/i sekalian.

Semoga penulisan ilmiah ini benar-benar dapat memberikan kontribusi positif dan menimbulkan sikap kritis kepada para pembaca khususnya dan masyarakat pada umumnya untuk senantiasa terus memperoleh wawasan dan ilmu pengetahuan di bidang teknologi.

Menyadari keterbatasan pengalaman dan kemampuan yang dimiliki saya, sudah tentu terdapat kekurangan serta kemungkinan jauh dari sempurna, untuk itu saya tidak menutup diri dan mengharapkan adanya saran serta kritik dari berbagai pihak yang sifatnya membangun guna menyempurnakan penulisan ilmiah ini.

Akhir kata semoga penulisan ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang bersangkutan, khususnya bagi saya dan umumnya bagi para pembaca.

Depok, 5 Mei 2009

Rizky Reychan N

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

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

Nama : Rizky Reychan Nuriawadi
NPM : 0606040072
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul "Instrumen Pengukur Respon Frekuensi Memanfaatkan Teknik Diagram Bode" beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 5 Mei 2009
Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Rizky Reychan Nuriawadi
Program Studi : Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika
Judul : Instrumen Pengukur Respon Frekuensi Memanfaatkan Teknik
Diagram Bode

Skripsi ini membahas proses pengukuran respon frekuensi dari rangkaian sistem elektronika untuk ditampilkan ke dalam sebuah grafik display memanfaatkan teknik diagram Bode. Hasil pengukuran akan memberikan gambaran kualitatif mengenai fungsi respon transien, yang dapat dipergunakan dalam menentukan nilai fungsi alih dari suatu sistem. Mempergunakan pengendali mikro sebagai pengakuisi sinyal dan pengolah data yang dihasilkan dari rangkaian osilator terkendali tegangan untuk dipaparkan ke sistem ukur sehingga didapatkan nilai respon sesuai dengan karakteristiknya.

Kata kunci:

Diagram Bode, osilator terkendali tegangan, pengendali mikro

ABSTRACT

Name : Rizky Reychan Nuriawadi
Study Program : Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika
Title : Response Frequency Measurement Instrument with Bode Diagram
Techniques

This study is focused on the measurement of frequency response from electronically system circuit using Bode diagram techniques to display in a graphic function. The final results are to give a perspective in a qualitative side about transient response function, which can be applied to define a transfer function from a system. With microcontroller as a signal acquisition and data processor that produced from the voltage controlled oscillator circuit to be implied direct to the system, so that a response value can be obtained according to the system characteristic.

Key words:

Bode diagram, voltage controlled oscillator, microcontroller

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Metode Penulisan	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
2. TEORI DASAR	5
2.1. Diagram Bode	5
2.1.1. Kelengkapan Diagram Bode	5
2.1.2. Diagram Magnitudo	6
2.1.3. Diagram Sudut Fase	7
2.2. Metode Penggambaran Diagram Bode	8
2.3. LCD Grafik 240x64 bit	9
2.4. <i>Voltage Controlled Oscillator</i>	10
2.5. Pengendali Mikro ATmega8535	13
2.5.1. Pengkonversi Sinyal Analog ke Digital	17
2.5.2. Mode PWM Cepat	19
3. PERANCANGAN ALAT DAN SISTEM	21
3.1. Perancangan Perangkat Keras	22
3.1.1. Pengendali Mikro	22
3.1.2. Rangkaian Pengondisi Sinyal PWM ke Tegangan	24
3.1.3. Rangkaian Osilator Terkendali Tegangan	26
3.1.4. Rangkaian Pemilih Kapasitor	27
3.1.5. Rangkaian Pendeteksi Puncak	28
3.1.6. Rangkaian LCD Grafik	29
3.1.7. Rangkaian Tombol Tekan	30

3.2. Perancangan Perangkat Lunak	31
3.2.1. Penerjemahan Pendeteksi Puncak	31
3.2.2. Sinus Bertingkat	32
4. HASIL PENGUJIAN DATA DAN ANALISA	33
4.1. Pengujian Korelasi Tegangan PWM	33
4.2. Pengujian Korelasi Data VCO Terhadap Kombinasi Kapasitor	34
4.3. Pengujian Respon Sistem Terhadap Objek Ukur	38
4.3.1. Pengujian Low Pass Filter Aktif Orde 1	39
4.3.2. Pengujian High Pass Filter Aktif Orde 1	41
4.3.3. Pengujian Low Pass Filter Aktif Orde 2	44
4.3.4. Pengujian High Pass Filter Aktif Orde 2	47
4.3.1. Pengujian TDA2002	50
5. SARAN DAN KESIMPULAN	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	52
DAFTAR ACUAN	xv
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Korelasi Respon Tegangan dengan Variasi Frekuensi.	2
Gambar 2.1. Diagram Magnitude (dB) vs Frekuensi (Hz).....	6
Gambar 2.2. Diagram Sudut Fase (<i>degree</i>) vs Frekuensi (<i>Hz</i>).....	6
Gambar 2.3. Magnitudo Diagram Bode 20dB/dekade = 6dB/oktaf.	9
Gambar 2.4. Konfigurasi Pin ATmega8535	10
Gambar 2.5. Konfigurasi Pemasangan Osilator.....	10
Gambar 2.6. Diagram Waktu Penggunaan Mode PWM Cepat	14
Gambar 3.1. Diagram Blok dari Sistem Kerja Rangkaian.	16
Gambar 3.2. Rangkaian Pengendali Mikro ATmega8535.	17
Gambar 3.3. Rangkaian Pengkondisi Sinyal PWM ke Tegangan.	18
Gambar 3.4. Sinyal Keluaran PWM.	19
Gambar 3.5. Rangkaian Osilator Terkendali Tegangan.....	21
Gambar 3.6. Rangkaian Pemilih Kapasitor.....	20
Gambar 3.7. Rangkaian Pendeteksi Puncak.	23
Gambar 3.8. Rangkaian LCD Grafik.	24
Gambar 3.9. Diagram Alir Proses Penerjemahan Data Pendeteksi Puncak.....	24
Gambar 3.10. Diagram Alir Proses Kendali Sinyal Sinus Bertingkat.	25
Gambar 4.1. Grafik Korelasi Data PWM 0-100 dengan Output Tegangan.	27
Gambar 4.2. Grafik Korelasi Data PWM 0-1023 dengan Output Tegangan.	28
Gambar 4.3. Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 10nF.....	29
Gambar 4.4. Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 100nF.	29
Gambar 4.5. Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 1 μ F.	30
Gambar 4.6. Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 10 μ F.	30
Gambar 4.7. Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 100 μ F.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Opsi Pemilihan Sumber Pewaktuan ATmega8535.....	11
Tabel 3.1. Penggunaan Pin Mikro pada Sistem.	18
Tabel 3.2. Tabel Kebenaran IC 74LS139.	22
Tabel 4.1. Tabel Korelasi Data PWM 0-100 dengan Output Tegangan.	26
Tabel 4.2. Tabel Korelasi Data PWM 0-1023 dengan Output Tegangan.	28



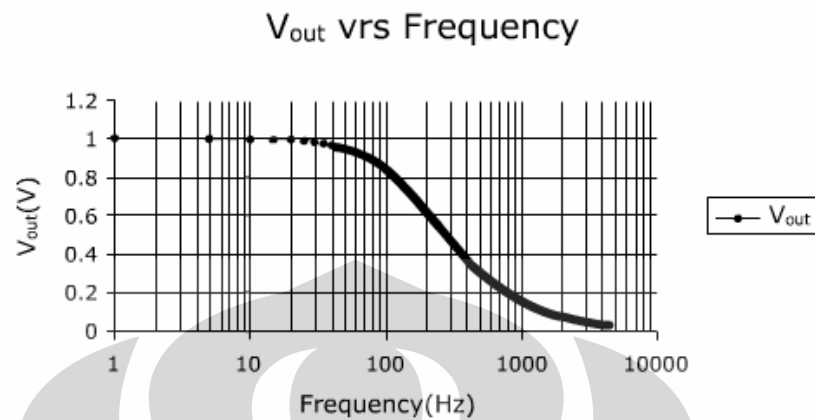
BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat pada abad ke 20 semakin memudahkan umat manusia dalam berkehidupan. Pesatnya perkembangan teknologi tersebut tidak terlepas dari dunia pendidikan yang menghasilkan teknokrat-teknokrat baru yang membuat penemuan-penemuan menakjubkan di bidangnya. Penemuan tersebut berawal dari ide atau gagasan yang diterapkan dalam bentuk riset dan penelitian, sehingga pada akhirnya nanti hal tersebut menjadi sumbangan bagi dunia iptek. Dan kemajuan itu haruslah mengarah pada peningkatan taraf hidup manusia sebagai objeknya.

Salah satu area yang memiliki kemajuan cukup pesat adalah teknologi kendali, untuk dapat menciptakan suatu sistem kendali yang stabil dan reliabel bekerja pada range frekuensi yang sesuai maka para ahli membutuhkan suatu piranti yang dapat mengukur nilai tersebut. Tiap sistem di bumi memiliki nilai ambang batas frekuensi masing agar dapat beresonansi secara wajar dan optimal, bila melebihi frekuensi ambang maka probabilitas terbesar adalah kerusakan atau penurunan kualitas kerja material tersebut. Frekuensi respon adalah metode pengukuran spektrum dari sebuah sistem pada titik keluarannya setelah diberi pemaparan variasi frekuensi dengan amplitudo konstan.

Untuk dapat menganalisa range kerja frekuensi dari suatu sistem elektronika di perlukan suatu parameter yang dinamakan diagram Bode , ini adalah suatu metode yang dapat Memetakan nilai fungsi transfer atau respon frekuensi dalam sistem yang linear dalam interval yang berbeda yang umumnya dalam bentuk fungsi logaritmik. Hasil dari pengukuran respon frekuensi ini dapat secara langsung dipergunakan untuk mengkuantisasi performa dari suatu sistem dan membantu proses pendesainan suatu sistem kontrol. Namun, tidak disarankan apabila diaplikasikan pada suatu sistem yang nilai dinamisnya rendah.



Gambar 1.1. Grafik Korelasi Respon Tegangan dengan Variasi Frekuensi

Pada umumnya, nilai magnitude dari diagram Bode diekspresikan dalam bentuk decibel (dB), selain dapat pula ditampilkan dalam bentuk penguatan tegangan langsungnya. Diagram Bode secara sederhana dapat dihasilkan dengan melakukan pengukuran respon frekuensi suatu sistem terhadap nilai tegangan input dan outputnya sekaligus, dimana nilai frekuensinya dapat diatur mulai dari beberapa Hz hingga MHz, bergantung dari sistem yang diukur. Oleh karena itu dibutuhkanlah suatu rangkaian pembangkit sinyal sinus yang dapat dikendalikan nilai frekuensinya, kemudian sinyal keluaran dari rangkaian tersebut diberikan ke sistem dimana sistem akan menghasilkan sinyal keluaran yang bervariasi bergantung dari range kerjanya. Rangkaian pendeteksi puncak ditambahkan untuk melakukan fungsi pencuplikan terhadap respon keluaran sistem

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari skripsi ini adalah membuat instrumen yang mampu mengukur nilai respon frekuensi dengan piranti yang menunjang untuk dapat melakukan parameter tersebut. Serta dapat memfasilitasi penelitian yang membutuhkan parameter tersebut dalam proses pengukurannya.

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam proses penulisan instrumen pengukur respon frekuensi memanfaatkan diagram Bode ini tidak melebar, maka dibuatlah suatu kerangka acuan yang akan membatasi permasalahan yang hendak dibahas, adapun pembatas masalah tersebut adalah:

1. Hasil pengukuran akan ditampilkan dalam bentuk display grafik dan tidak disediakan rekam tabel.
2. Data akan diplot ke dalam sebuah grafik korelasi antara frekuensi dengan magnitude sistem terukur, tidak disertakan nilai besar phase.
3. Amplitudo tegangan input diasumsikan konstan.

1.4 Metode Penulisan

a. Study Literatur

Penulis menggunakan metode ini untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan dengan mengacu kepada buku-buku pegangan, data sheet, internet, makalah-makalah dan lain-lain.

b. Perancangan Alat

Penulis berusaha untuk membuat suatu rancangan sistem pengendalian *hardware* baru yang ingin dibuat di dalam penelitian, berdasarkan bahan-bahan yang ada untuk dapat dianalisa kembali.

c. Pembuatan Alat

Pada bagian ini berisi mengenai proses perencanaan rancang bangun dari sistem mekanik yang dibuat. Pada bagian *hardware* akan membahas desain dan cara kerjanya, sedangkan untuk bagian *software* akan dibahas program yang digunakan dalam sistem pengendalinya.

d. Pengujian Sistem

Pada bagian ini merupakan proses pengujian dari proyek yang dibuat, dengan tujuan untuk mengetahui apakah kinerja dari alat yang dibuat sudah sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum.

e. Pengambilan Data

Setelah alat diuji secara keseluruhan sebagai suatu sistem sehingga dapat dilihat apakah sistem dapat bekerja dengan baik dan benar, sehingga penulis dapat melakukan pengambilan data.

f. Penulisan Penelitian

Dari hasil pengujian dan pengambilan data kemudian dilakukan suatu analisa sehingga dapat diambil suatu kesimpulan. Dengan adanya beberapa saran juga dapat kita ajukan sebagai bahan perbaikan untuk penelitian lebih lanjut.

1.5 Sistematika Penulisan

Isi dari karya tulis ini terdiri dari lima bab dan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab 1 berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan masing-masing bab.
2. Bab 2 berisi tentang pustaka dan teori dasar yang mendukung isi penelitian ini yaitu parameter Bode Plot, dan pengendali Mikro.
3. Bab 3 berisi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak alat yang akan dibuat, meliputi display, rangkaian VCO, pendeteksi puncak, dan sistem kendalinya.
4. Bab 4 berisikan hasil uji beserta analisis sistem rangkaian.
5. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran untk pengembangan lebih lanjut ke arah pembuatan alat yang lebih aplikatif.

BAB 2 TEORI DASAR

2.1 Diagram Bode

Diagram Bode merupakan salah satu metode analisa respon frekuensi memanfaatkan nilai magnitudo dan phasenya yang akan merepresentasikan fungsi transfer dari sistem linear dalam interval yang berubah. Frekuensi respon dari suatu sistem dapat dihasilkan dengan beberapa cara, cara pertama adalah dengan mengaplikasikan suatu nilai impulse ke sistem dan mengukur nilai responnya, cara kedua, men 'sweeping' sinyal dengan amplitudo konstan dan terukur melalui lebar pita yang sesuai untuk kemudian mengukur level keluaran dan phasenya yang relatif terhadap input. Cara ketiga, adalah dengan menggunakan signal dengan spektrum frekuensi yang lebar dan mengkalkulai respon impulsenya dengan melakukan dekonvolusi terhadap sinyal input dan sinyal keluaran. Ketiga cara tersebut menyiratkan metode yang sama yaitu memperhitungkan nilai respon impulse sebelum dan sesudah melewati sistem ukur. Sinyal yang dipergunakan untuk pemaparan impulsnya harus merupakan sinyal sinusoidal karena segala macam jenis sinyal yang melewati rangkaian dapat dengan mudah direpresentasikan dalam bentuk sinyal sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang berbeda. Selain itu pula sinyal sinusoidal dapat dipindahkan fungsinya kedalam ruang imaginer pada fungsi transfer untuk membantu proses pengkalkulasian serta membentuk suatu syarat batas pada fungsi imaginer.

2.1.1 Kelengkapan Diagram Bode

Dalam penggambaran diagram Bode ada dua parameter yang akan dihasilkan, yaitu diagram magnitudo dan sudut fase yang berfungsi untuk memudahkan dalam penentuan phasor dari fungsi transfer untuk tiap tingkatan frekuensi.

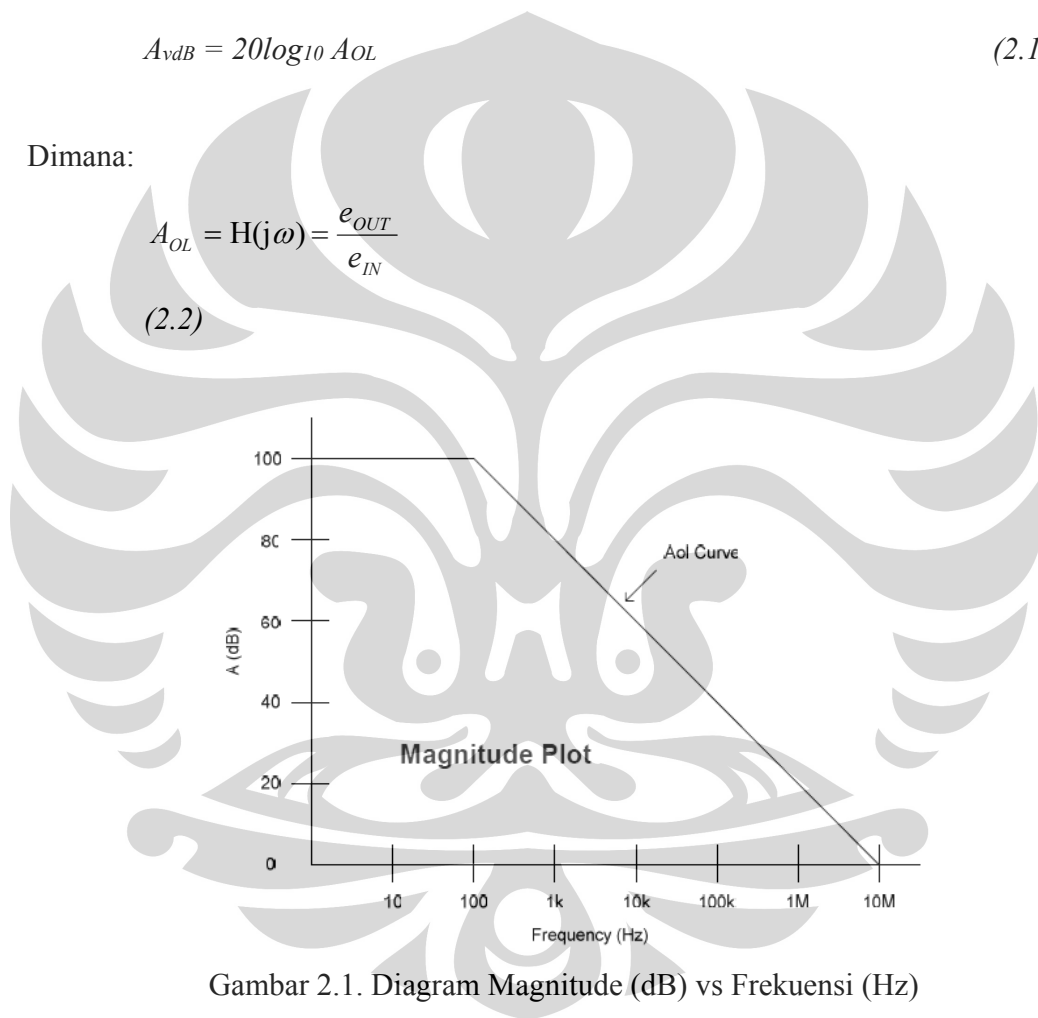
2.1.2 Diagram Magnitudo

Respon frekuensi diagram magnitudo merupakan perubahan dari penguatan tegangan terhadap nilai frekuensi yang bervariasi. Diagram tidak mempergunakan fungsi logaritmik biasa tetap mempergunakan faktor pengali duapuluh, relasi yang menggambarkan hubungan penguatan dan decibel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A_{vdB} = 20 \log_{10} A_{OL} \quad (2.1)$$

Dimana:

$$A_{OL} = H(j\omega) = \frac{e_{OUT}}{e_{IN}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.1. Diagram Magnitude (dB) vs Frekuensi (Hz)

Pada kesempatan lain, nilai A_{vdB} juga sering difungsikan sebagai berikut, dengan nilai $H(j\omega)$ merupakan nilai fungsi transfer dari sistem ukur:

$$A_{\text{vdB}} = 20 \log_{10} |H(j\omega)| \quad (2.3)$$

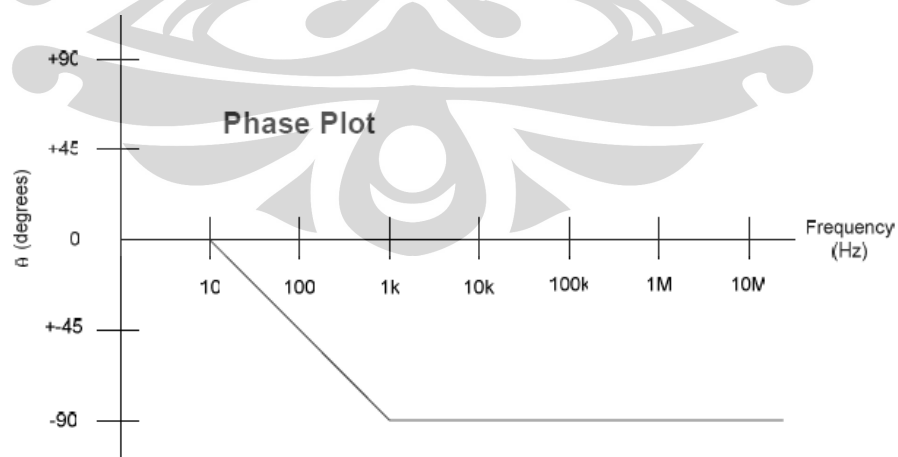
Saat diplotkan dengan frekuensi input ω kedalam fungsi logaritmik dapat dilakukan pendekatan dengan mempergunakan dua buah garis untuk membentuk diagram magnitude Bode dari fungsi transfer.

2.1.3 Diagram Sudut Fase (*Phase*)

Didapatkan dengan cara memetakan sudut fase dari fungsi transfer yang direlasikan dengan:

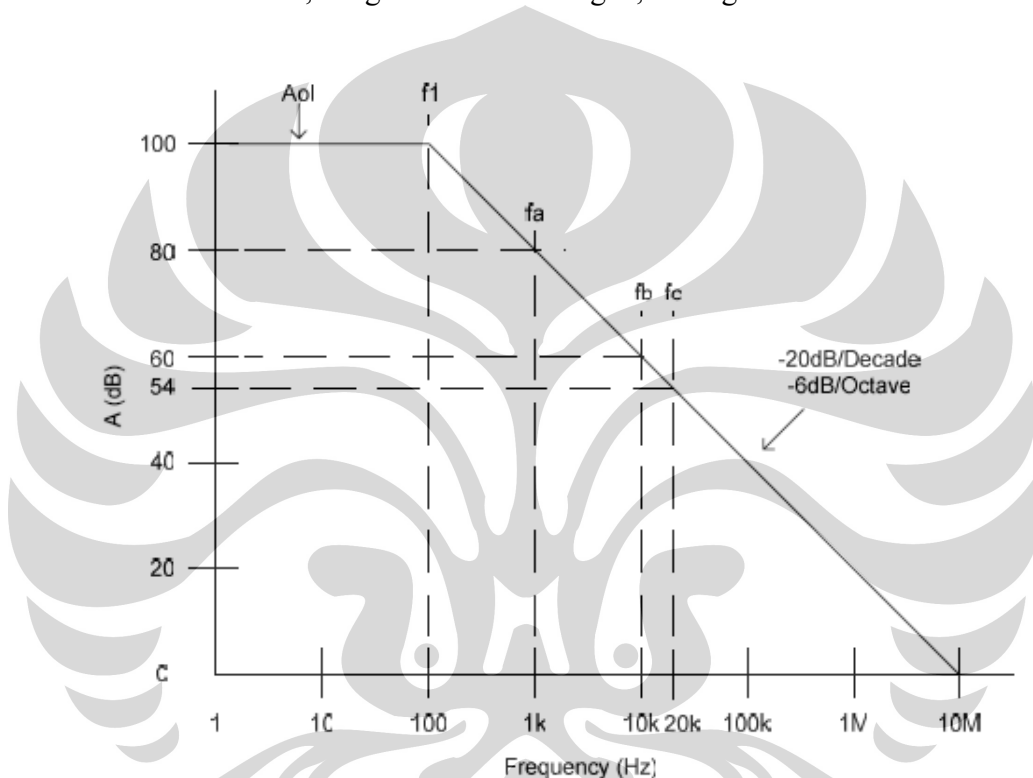
$$\varphi = -\tan^{-1} \frac{\omega}{\omega_c} \quad (2.4)$$

Sehingga menghasilkan pemahaman bila nilai frekuensi input dibawah nilai frekuensi kritis maka sudut fase akan semakin mendekat ke nol, tetapi apabila nilainya semakin membesar maka sudut fase akan membesar dan mencapai -45° apabila nilainya sama. Oleh karenanya, titik -3dB sering pula disebut titik frekuensi sudut atau *break frequency*.



Gambar 2.2. Diagram Sudut Fase (*degree*) vs Frekuensi (*Hz*)

Tingkat kemiringan dari penguatan tegangan pada diagram Bode digambarkan dengan decibel/dekade atau decibel/oktaf, dimana nilai kemiringan $+20\text{dB/decade}$ sama dengan kemiringan $+6\text{dB/oktaf}$. Dengan hal yang sama juga dapat dituliskan tingkat kemiringan -20dB/decade akan sama dengan kemiringan -6dB/oktaf . Dekade dan oktaf sama-sama berfungsi untuk mengilustrasikan skala perubahan kemiringan, dekade untuk orde 10^n , dengan n semua bilangan, sedangkan untuk oktaf adalah 2^n .



Gambar 2.3. Magnitudo Diagram Bode $20\text{dB/decade} = 6\text{dB/oktaf}$

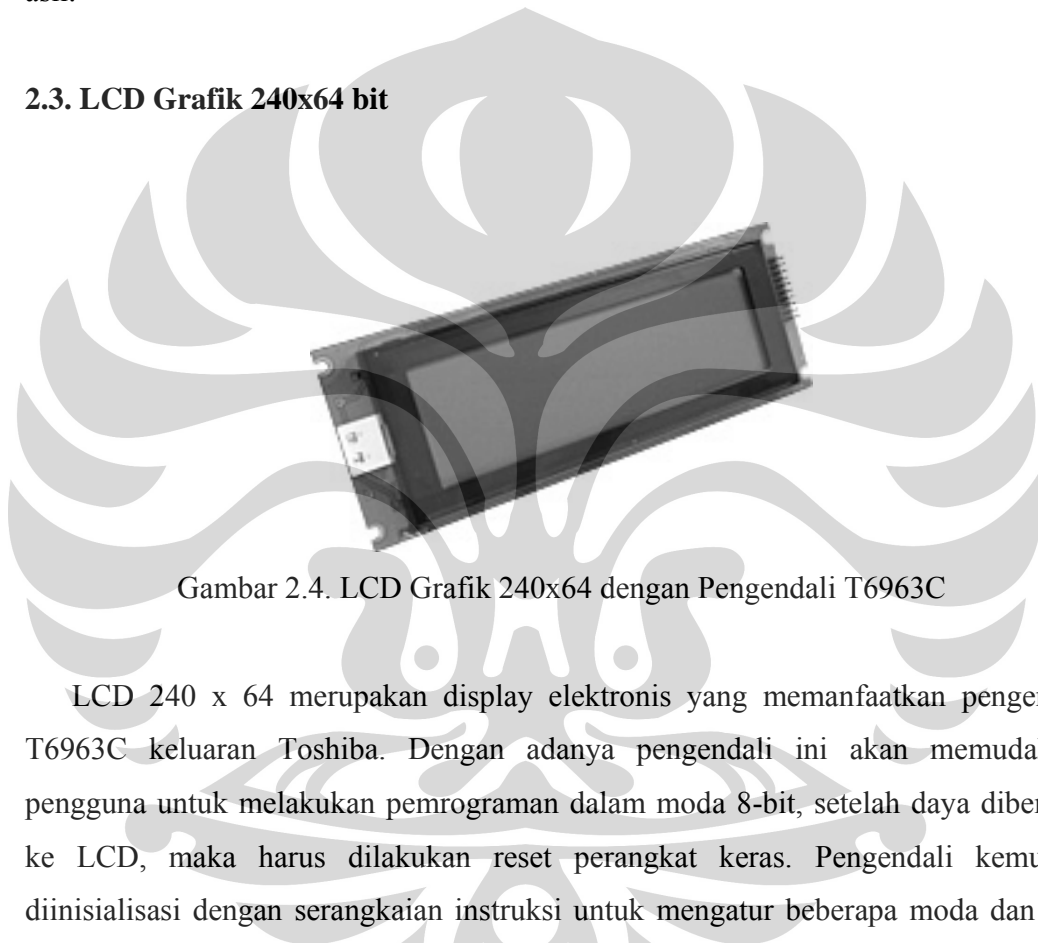
2.2. Metode Penggambaran Diagram Bode.

Untuk mencitrakan suatu diagram Bode ke bidang 2 dimensi seperti kertas logaritmik, maka ada beberapa hal yang perlu diketahui mengenai konsep dasar perhitungannya.

Konsep ini dipergunakan secara eksplisit untuk penggambaran, tetapi karena nilai log dari nilai amplitudo dari tiap pole selalu dimulai dari nol hanya memiliki satu perubahan asimptotik maka metode ini dapat lebih disederhanakan lagi. Setiap respon

dari pole tunggal akan mengakibatkan perubahan kemiringan -20dB/dekade , -6dB/oktaf pada diagram Bode, pada lokasi polonya, membuat penguatan tereduksi sebesar 3dB dari nilai DC aslinya. Hal yang sebaliknya terjadi pada respon zero tunggal yang akan mengakibatkan kemiringan $+20\text{dB/dekade}$, $+6\text{dB/oktaf}$ pada diagram Bode, dan pada lokasi zeronya akan meningkat sebesar 3dB dari nilai DC asli.

2.3. LCD Grafik 240x64 bit



Gambar 2.4. LCD Grafik 240x64 dengan Pengendali T6963C

LCD 240×64 merupakan display elektronik yang memanfaatkan pengendali T6963C keluaran Toshiba. Dengan adanya pengendali ini akan memudahkan pengguna untuk melakukan pemrograman dalam moda 8-bit, setelah daya diberikan ke LCD, maka harus dilakukan reset perangkat keras. Pengendali kemudian diinisialisasi dengan serangkaian instruksi untuk mengatur beberapa moda dan opsi untuk pengguna. Setelah diinisialisasi maka display siap dipergunakan, data yang akan ditampilkan dapat berupa *bit-mapped* data grafis, maupun kode teks *pseudo ASCII* (Format data T6963C berbeda dengan kode ASCII pada LCD umumnya).

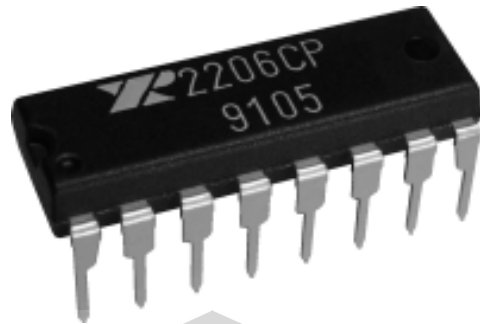
Tabel 2.1. Konfigurasi Pin LCD Grafik 240 x 64

Pin	Symbol	Function
1	FG	Frame Ground
2	GND	Ground Potential for logic (0V)
3	VDD	Power supply for logic (+5V)
4	VEE	Operating voltage for LC driving (input)
5	WR	L: Data Write
6	RD	L: Data Read
7	CE	Enable signal (falling edge)
8	C/D	L: Data input H: Command input
9	VO	Output voltage for LC driving (ca. -9V)
10	RST	L: Reset
11..18	DB0..7	Data Bus Line
19	FS	Font Select L: 8x8 Font H: 6x8 Font
20	NC	not connected

Pada moda *bit-mapped*, tiap byte dari data akan merepresentasikan 8 piksel di layar display. Sedangkan untuk mode teks akan ditampilkan dalam format karakter 5 x 7 dot piksel secara default dalam dimensi 8 x 8 piksel, hal ini dapat dikendalikan dengan mudah dengan pemilihan FS (*Font Select*) pada pin 19.

2.4. Voltage Controlled Oscillator

XR-2206 produksi *EXAR* adalah sirkuit terpadu (*Integrated Circuit*) pembangkit fungsi *monolithic* yang mampu menghasilkan sinyal sinus, kotak, segitiga berkualitas tinggi, *ramp*, serta pulsa dengan tingkat keakurasian dan kestabilan yang tinggi. Nilai frekuensi dan amplitudo dari sinyal keluaran dapat dimodulasi dengan mudah oleh tegangan eksternal. Jangkauan kerja frekuensinya dapat di pilih secara eksternal pada kisaran 0.01Hz hingga 1MHz. Sirkuit ini dapat diaplikasi pada sistem komunikasi, instrumentasi dan pembangkit frekuensi, memiliki spesifikasi *typical drift* 20ppm/°C, osilasi dari frekuensi keluaran di kendalikan oleh tegangan eksternal.

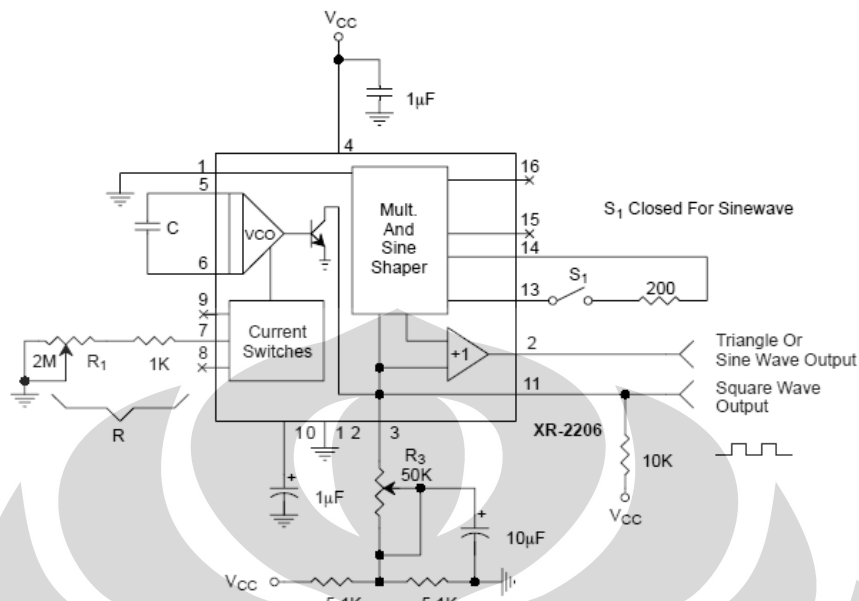


Gambar 2.5. Sirkuit Terpadu XR2206.

- Distorsi gelombang sinus yang rendah, 0.5%.
- Kestabilan temperatur yang cakup, 20ppm/°C.
- Range pergeseran yang lebar, 2000:1.
- Sensitivitas catu rendah, 0.01%V.
- Modulasi amplitudo yang linear.
- Kendali FSK yang kompak dengan TTL.
- Range daya yang lebar, 10-26 Volt.
- Siklus kerja yang dapat di atur, 1% - 99%.

Sirkuit ini tersusun atas 4 blok utama, osilator terkendali tegangan (VCO), pengali analog dan pembentuk sinus, penguat penyangga *unity gain*, dan seperangkat saklar arus.

Osilator terkendali tegangan akan menghasilkan frekuensi keluaran yang nilainya proporsional dengan input arus pada pin *timing resistor 1* & *timing resistor 2*, diatur dengan mengubah kombinasi dari resistornya ke pertanahan. Dengan adanya 2 pin fungsi pewaktuan, frekuensi keluaran diskrit dapat diatur secara independen untuk menghasilkan bentuk dan nilai pulsa yang diinginkan.



Gambar 2.6. Aplikasi Circuit Dasar Penggunaan XR 2206.

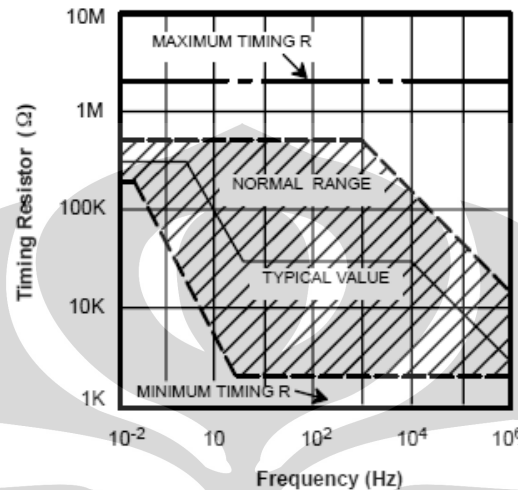
Potensiometer R_1 yang terhubung dengan pin 7 akan menentukan nilai frekuensi yang akan dibangkitkan oleh sirkuit, nilai *swing* keluaran frekuensi sinus lebih dari $V^+/2$ dan nilai distorsinya (THD) kurang dari 2.5%. bila menginginkan nilai distorsi yang lebih kecil maka akan dibutuhkan sedikit penyesuaian tambahan pada pin 15 dan 16.

Frekuensi dari keluaran sirkuit, f_0 , didapatkan dengan menentukan nilai kapasitor pewaktu, C , yang terhubung pada pin 5 dan 6, selain oleh resistor pewaktu, R , pada pin 7. Kedua komponen ini akan membentuk suatu persamaan sederhana [8] sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz} \quad (2.5)$$

Untuk menghasilkan fungsi yang optimum, nilai R yang dianjurkan berada pada kisaran $4\text{k}\Omega < R < 200\text{k}\Omega$. Sedangkan nilai kapasitansi yang direkomendasikan berada pada angka $1000\text{pF} - 100\mu\text{F}$. Bila tidak memenuhi batasan ini maka frekuensi

keluaran dari sirkuit akan mengalami banyak distorsi. Mengenai korelasi nilai yang optimal antara kombinasi resistansi dan frekuensi dapat dilihat pada gambar x.



Gambar 2.7. Pola Korelasi Frekuensi Keluaran XR-2206 dengan Nilai Resistansi.

Amplitude keluaran dari XR-2206 ternyata secara proporsional berbanding terbalik dengan nilai resistansi, R_3 , pada pin 3. Untuk gelombang keluaran sinus, aproksimasi nilai amplitudonya adalah 60mV puncak per k Ω dari R_3 , sedangkan untuk gelombang segitiga amplitudo puncaknya sebesar 160mV puncak per k Ω dari R_3 . Sehingga sebagai contoh bila nilai R_3 diset pada angka 50 k Ω , maka estimasi nilai tegangan puncak dari gelombang sinus berada pada kisaran 12 Volt.

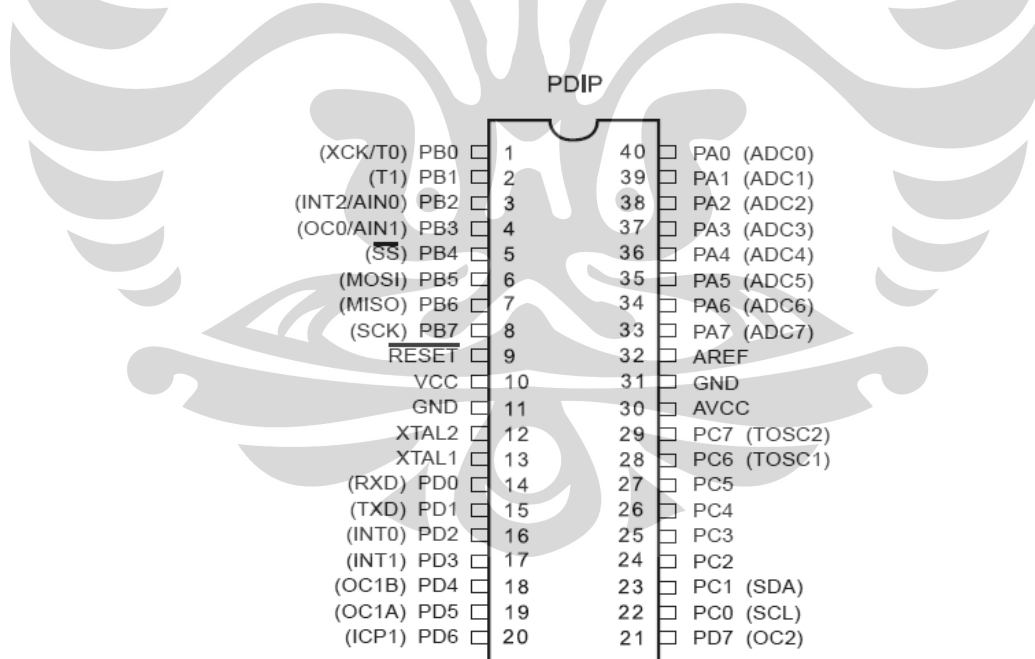
2.5 Pengendali Mikro Atmega8535

ATmega8535 adalah pengendali mikro CMOS 8-bit daya rendah berdasarkan arsitektur AVR RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) yang telah diperkaya. Mampu mengeksekusi instruksi dalam satu siklus kerja, ATmega8535 mendapatkan pendekatan hingga 1 MIPS per MHz sehingga memungkinkan pendesain sistem

untuk mengoptimasi konsumsi daya dan mendapatkan kecepatan pengolahan data sesuai yang diinginkan.

Inti dari AVR mengkombinasikan *rich instruction set* dengan 32 register serbaguna. Ke 32 register ini secara langsung terkoneksi dengan ALU (*Arithmetic Logical Unit*), memungkinkan 2 register yang independen dapat diakses dengan bersamaan dalam eksekusi instruksi tunggal per satu siklus kerja. Sehingga membuat arsitektur ini menjadi efisien dalam penggunaan kode dan 10 kali lebih cepat dari pengendali mikro berarsitektur CISC.

Fitur-fitur yang disediakan oleh Atmega8535 formasi 40 P-DIP (*Plastic Dual Inline Packaging*) meliputi 8K byte *In-System Programmable Flash* dengan kemampuan baca-tulis, 512 byte EEPROM, 512 byte SRAM, 32 Kanal I/O serbaguna, 32 register kerja serbaguna, 3 fungsional *Timer/Counter* dengan moda komparasi, bit orientasi antarmuka serial 2 kanal, 8 kanal 10-bit ADC dengan input diferensial optional, port serial SPI, dan mode penyimpan daya terprogram.



Gambar 2.4. Konfigurasi Pin Atmega8535

Piranti ini dibangun Atmel dengan teknologi memory berdensitas tinggi, Fitur ISP Flash pada *chip* memungkinkan untuk dilakukannya pengisian program ulang pada sistem secara langsung memanfaatkan kanal SPI.

Tiap-tiap pin dari IC ini memiliki fungsi yang tertentu, yaitu:

- Pin V_{CC}, merupakan pin yang berfungsi sebagai suplai tegangan positif bagi IC dengan batas tegangan 4.5 – 5.5 Volt DC.
- Pin GND, merupakan referensi pertanahan 0 Volt pada chip.
- Port A (PA.7 – PA.0), berfungsi sebagai input analog pada proses konversi A/D.

Juga berfungsi sebagai kanal 8-bit 2 arah I/O, bila fungsi A/D tidak dipergunakan. Port pin menyediakan internal *pull-up* resistor yang dapat dipilih perbit, output buffer (penyangga) dari port A memiliki karakteristik kendali yang simetris dengan kemampuan *high sink* dan *source*. Saat PA.7 hingga PA.0 dipergunakan sebagai input, dan secara eksternal di tarik rendah maka mereka akan meredam arus bila resistor pull up internal diaktifkan. Port A memiliki 3-kondisi saat kondisi reset diaktifkan, bahkan saat *clock* tidak berjalan.

- Port B (PB.7 – PB.0), berfungsi sebagai kanal 8-bit 2 arah I/O menyediakan internal *pull-up* resistor yang dapat dipilih perbit. Output *buffer* (penyangga) dari port A memiliki karakteristik kendali yang simetris dengan kemampuan *high sink* dan *source*. Saat PB.7 hingga PB.0 dipergunakan sebagai input, dan secara eksternal di tarik rendah maka mereka akan meredam arus bila resistor pull up internal diaktifkan. Port B memiliki 3-kondisi saat kondisi reset diaktifkan, bahkan saat *clock* tidak dijalankan.

Port B juga memiliki fungsi-fungsi khusus apabila dipergunakan.

- Port C (PC.7 – PC.0), berfungsi sebagai kanal 8-bit 2 arah I/O menyediakan internal *pull-up* resistor yang dapat dipilih perbit. Output buffer (penyangga) dari port A memiliki karakteristik kendali yang simetris dengan kemampuan *high sink* dan *source*. Saat PC.7 hingga PC.0 dipergunakan sebagai input, dan secara eksternal di tarik rendah maka mereka akan meredam arus bila resistor

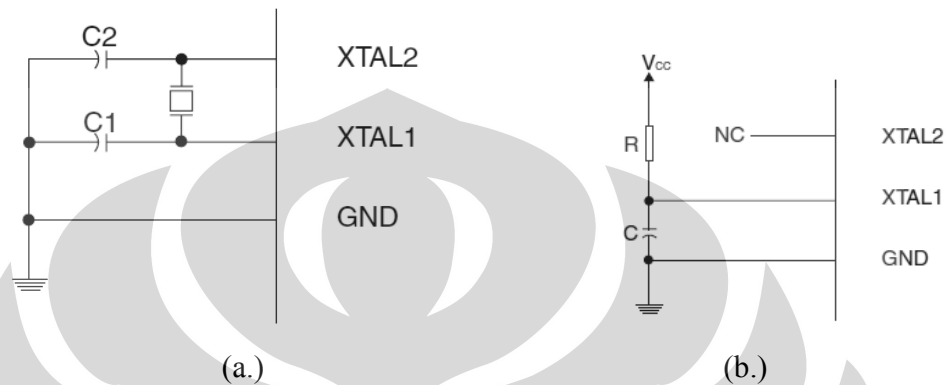
pull up internal diaktifkan. Port C memiliki 3-kondisi saat kondisi reset diaktifkan, bahkan saat *clock* tidak dijalankan.

- Port D (PD.7 – PD.0), berfungsi sebagai kanal 8-bit 2 arah I/O menyediakan internal *pull-up* resistor yang dapat dipilih perbit. Output buffer (penyangga) dari port A memiliki karakteristik kendali yang simetris dengan kemampuan *high sink* dan *source*. Saat PD.7 hingga PD.0 dipergunakan sebagai input, dan secara eksternal di tarik rendah maka meraka akan meredam arus bila resistor pull up internal diaktifkan. Port D memiliki 3-kondisi saat kondisi reset diaktifkan, bahkan saat *clock* tidak dijalankan.
Port D juga memiliki fungsi-fungsi khusus apabila dipergunakan.
- RESET, input reset yang akan aktif apabila diberi sinyal rendah lebih lama dari syarat minimum. Semua register *I/O* akan di set ke nilai awal dan program akan memulai eksekusinya dari vektor reset.
- Pin XTAL 1 dan XTAL 2, merupakan masukan dan keluaran *inverting oscillator amplifier*, dan menentukan kecepatan eksekusi instruksi program mikrokontroler. Range osilator eksternal yang dapat dipergunakan sebagai sumber pewaktuan adalah 0 – 16MHz, hal ini juga menjelaskan bahwa Atmega8535 dapat membangkitkan pewaktuan secara internal. Sumber pewaktuan dari piranti ini dapat dipilih dengan mengatur nilai *Fuse Bits* saat pengisian program, berikut tabel pemilihannya.

Tabel 2.1. Opsi Pemilihan Sumber Pewaktuan ATmega8535.

Device Clocking Option	CKSEL3..0
External Crystal/Ceramic Resonator	1111 - 1010
External Low-frequency Crystal	1001
External RC Oscillator	1000 - 0101
Calibrated Internal RC Oscillator	0100 - 0001
External Clock	0000

Secara *default*, chip telah di atur untuk memilih internal RC oscillator sebagai sumber pewaktuan. Hal ini bertujuan untuk memastikan kepada setiap pengguna dapat mengaturnya dengan mudah saat proses pengisian program melalui fitur ISP.



Gambar 2.5. Konfigurasi Pemasangan Osilator Eksternal Sebagai Sumber Pewaktuan, (a). Menggunakan Crystal, (b). Menggunakan RC.

- Pin AVCC, adalah suplai tegangan untuk port A sebagai fungsi konversi A/D, secara eksternal dapat dikoneksikan ke Vcc bahkan disaat ADC tidak dipergunakan. Bila fungsi ADC dipergunakan maka dihubungkan ke Vcc melalui rangkaian tapis lewat rendah.
- Pin AREF, referensi tegangan analog untuk proses konversi ADC.

2.5.1 Pengkonversi Signal Analog ke Dijital.

Fitur ATmega8535 lainnya adalah ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan aproksimasi suksesif, ADCnya terhubung dengan multiplexer analog 8 kanal yang memungkinkan 8 input tegangan berujung tunggal untuk dibangun pada port A. Input tegangan berujung tunggal akan mereferensi pada 0 Volt (GND).

Perangkat ini juga mendukung 16 kombinasi input tegangan diferensial, dimana dua dari input diferensial dilengkapi dengan penguat terprogram, yang menyediakan tahapan penguatan antara 0dB (1X), 20dB (10X), atau 46dB (200X) pada input

tegangan diferensial sebelum proses konversi A/D. ADC ini memiliki pin catu tegangan analog yang terpisah, AVCC, dimana nilainya tidak boleh berbeda hingga $\pm 0.3\text{Volt}$ dari VCC. Referensi tegangan internal sebesar 2.56Volt atau AVCC disediakan dalam chip, dimana tegangan referensi dapat secara eksternal di koplingkan dengan kapasitor untuk memperbaiki performa derau.

Proses pengkonversian input tegangan ADC menjadi data digital 10-bit meliputi serangkaian tahapan pendekatan suksesif. Nilai minimumnya akan merepresentasikan GND, sedangkan nilai maksimum merepresentasikan nilai tegangan pada pin AREF minus 1 LSB. Nilai AVCC atau tegangan internal 2.56Volt akan terhubung dengan AREF dengan cara menuliskan ke REFSn bit kedalam register ADMUX. Kanal input analog dan penguatan diferensial dapat dipilih dengan menuliskan bit MUX ke dalam ADMUX. Nilai konversi data ADC 10-bit dapat diakses pada register data ADC, ADCH dan ADCL yang secara default nilainya diset untuk ke kanan tetapi dapat dengan mudah diubah dengan bit ADLAR. Lebih jauh lagi ADC memiliki sistem interupsi sendiri yang dapat dipicu saat proses konversi usai, tetapi saat ADC dalam proses pembacaan register data tidak diijinkan dalam pembacaan ADCH dan ADCL, interupsi akan tetap terjadi meski data tidak tersimpan.

Pada kondisi defaultnya pengkonversian data ADC membutuhkan input pendetak dengan frekuensi antara 50kHz hingga 200kHz untuk mendapatkan resolusi maksimum. Bila resolusi yang diinginkan lebih rendah daripada 10 bit maka input pendetakan ADC dapat diatur pada frekuensi lebih besar dari 200kHz.

Diakhir proses konversi, nilai ADC dapat diakses pada register ADCH dan ADCL, secara umum hasil konversi ada dua mode, mode pertama adalah mode konversi ujung tunggal yang mengeluarkan nilai sebagai berikut:

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (2.7)$$

Dimana VIN adalah nilai tegangan ukur pada kanal yang dipilih, dan VREF adalah nilai tegangan referensi. Sedangkan pada mode input tegangan diferensial memiliki fungsi konversi sebagai berikut:

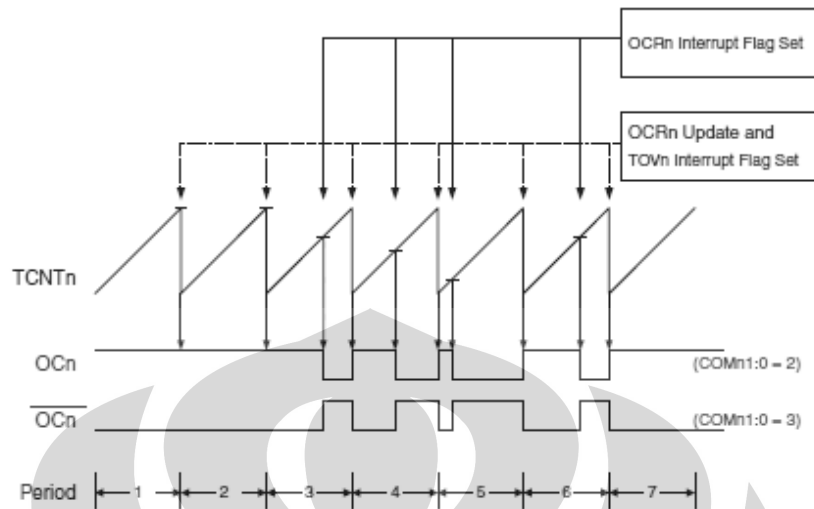
$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}).GAIN.512}{V_{REF}} \quad (2.8)$$

VPOS sendiri adalah nilai tegangan input positif, VNEG nilai tegangan input negatif dan GAIN merupakan faktor penguatan.

2.5.2 Mode PWM Cepat

Modulasi lebar pulsa cepat (WGM01:0=3) menyediakan opsi PWM berfrekuensi tinggi. Berbeda dengan mode PWM jenis lainnya terutama pada perihwal operasi kemiringan tunggal. Pencacah akan menghitung dari BOTTOM ke MAX kemudian akan berulang lagi ke BOTTOM. Pada mode Compare Output non-pembalikan, keluaran dari Output Compare (OC0) di nol kan pada sesi pencocokan Compare antara TCNT0 dan OCR0, untuk kemudian menset nilai BOTTOM. Sedangkan pada mode Compare Output pembalik, keluarannya akan diset pada sesi pencocokan Compare dan di clear kan ke BOTTOM. Selama dalam proses operasi kemiringan tunggal, frekuensi kerja dari PWM mode cepat dapat mencapai dua kali lipat dari kecepatan mode PWM koreksi fase yang mempergunakan operasi kemiringan ganda.

Pada mode PWM cepat, nilai cacahan akan bertambah hingga nilai cacahnya sama dengan nilai MAX. Untuk kemudian di clear kan pada siklus waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2.6. Diagram Waktu Penggunaan Mode PWM Cepat

Seperti terlihat pada diagram bahwa nilai Flag Overflow (TOV0) dari timer/counter akan diset setiap kali pencacah mencapai MAX. Sedangkan saat proses interupsi diaktifkan, maka vektor interupsi yang akan menjalankan routine yang dapat dipergunakan untuk memperbaharui nilai dari Compare.

Unit pembanding pada mode PWM cepat juga mengizinkan pembangkitan sinyal PWM pada pin OC0. Dengan membuat bit COM01:0 menjadi dua akan menghasilkan sebuah nilai PWM non-pembalikan. Nilai aktual dari OC0 hanya dapat dilihat pada port pin apabila arah aliran data diset sebagai keluaran. Sehingga secara umum nilai frekuensi dari keluaran PWM dapat dikalkulasi mengikuti persamaan berikut.

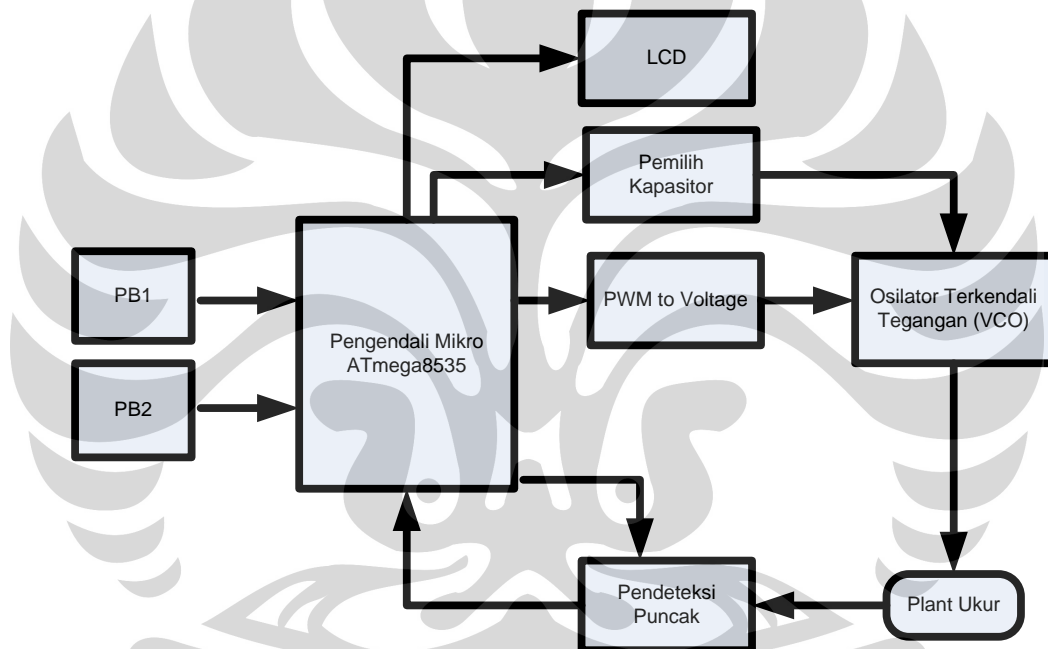
$$f_{PWMOC_n} = \frac{f_{clk_I/O}}{N.256} \quad (2.9)$$

Dimana variabel N merepresentasikan faktor prescaler (1, 8, 64, 256 atau 1024). Nilai ekstrem dari register OCR0 akan merepresentasikan kasus khusus saat membangkitkan sinyal PWM pada mode PWM cepat.

BAB 3

PERANCANGAN ALAT DAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem beserta cara kerja dari masing-masing perangkat keras serta perangkat lunak yang dipergunakan dalam penyusunan alat ini.



Gambar 3.1 Diagram Blok dari Sistem Kerja Rangkaian

Sebagai pengendali utama sistem ukur dipergunakan pengendali mikro tipe ATmega8535 yang berfungsi untuk melakukan pengolahan proses secara keseluruhan, pengendali mikro kemudian akan mengeluarkan data digital berupa nilai PWM yang bervariasi untuk mengendalikan tegangan pada input rangkaian VCO. Namun, dalam pengendaliannya akan di bantu oleh rangkaian pengkondisi sinyal yang akan mengubah nilai data PWM menjadi level tegangan. Keluaran dari

rangkaian VCO adalah sinyal sinus dengan amplitudo tetap yang dapat di paparkan langsung ke plant ukur, setelah mendapatkan sinyal paparan sinus maka plant akan meresponnya dan menghasilkan sinyal keluaran sesuai karakteristiknya.

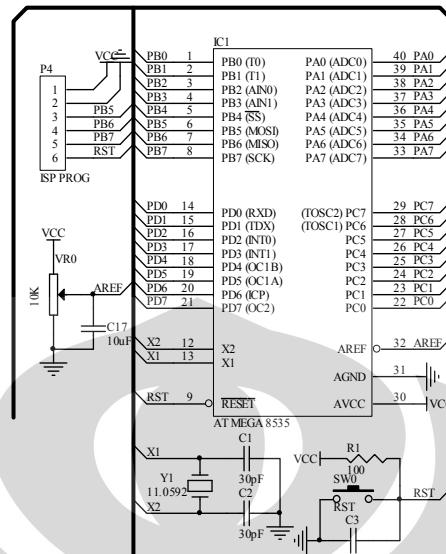
Untuk itu rangkaian pendeteksi puncak akan bekerja untuk mengukur nilai puncak dari sinyal keluaran respon dari plant dan diakomodasi sedemikian rupa agar dapat ditampilkan pada LCD, penambahan tombol tekan berfungsi untuk memulai proses pengukuran.

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dibutuhkan sistem agar dapat bekerja secara optimal dalam pelaksanaan fungsi pengukurannya, yang tersusun atas rangkaian pengendali mikro, rangkaian pengubah PWM ke tegangan, rangkaian pemilih kapasitor, rangkaian LCD, rangkaian pendeteksi puncak positif, dan rangkaian tombol tekan.

3.1.1. Pengendali Mikro ATmega8535

Rangkaian minimum sistem pengendali mikro berfungsi untuk memastikan IC ATmega8535 bekerja sebagai mestinya. Dilengkapi dengan pin ISP (*In-System Programming*) untuk memudahkan pengguna dalam proses pengisian program ke dalam chip.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengendali Mikro ATmega8535

Fitur utama dari ATmega8535 yang dibutuhkan dalam pendesainan sistem ini adalah fungsi PWM cepat yang dapat diakses pada pin PD.4(OC1B) atau nilai inversinya pada pin PD.5(OC1A) melalui fungsi khusus port D. Fungsi ADC pada port A dipergunakan untuk mendeteksi perubahan sinyal analog dari rangkaian keluaran pendeteksi puncak, oleh karena itu kaki AREF dihubungkan dengan rangkaian resistor variabel yang berfungsi sebagai pengatur nilai referensi ADC, untuk mendapatkan proses konversi yang maksimal nilai dari AREF diberi VCC.

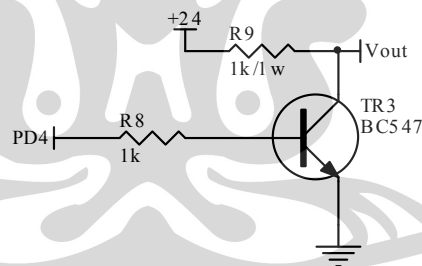
Rangkaian ini juga dilengkapi dengan dengan rangkaian reset manual dan power-on, yang akan memberikan sinyal rendah saat tombol ditekan dan menyediakan nilai tinggi pada kondisi siaga. Meskipun chip pengendali mikro jenis ini dapat membangkitkan pembangkit pulsa sendiri yang berfungsi sebagai penentu kecepatan eksekusi instruksi program mikrokontroler, tetapi di rangkaian ini ditambahkan rangkaian kristal 11,0592MHz sebagai sumber pewaktuan utama yang terhubung pada pin X1 dan X2.

Tabel 3.1 Penggunaan Pin pada Sistem

Port	I/O	Fungsi
PA.0	I	Input Rangkaian Pendeteksi Puncak
PB.0 - PB.7	O	Output Data 8-bit LCD
PC.0 - PC.7	O	Kendali LCD
PD.4	O	Output PWM
PA.1 - PA.7	O	Kendali Selektor Kapasitor (Relay)

3.1.2. Pengkondisi Sinyal PWM ke Tegangan

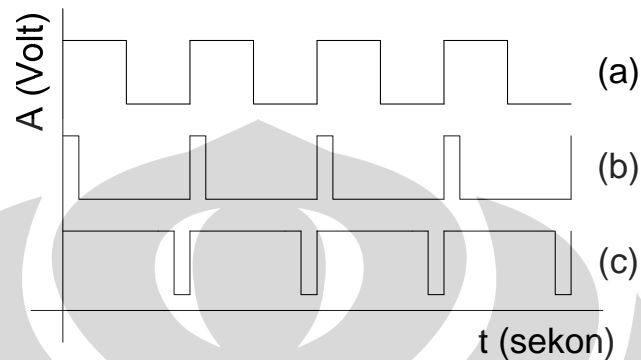
Memfaatkan transistor silikon amplifier yang disusun membentuk common emitter sehingga menghasilkan logika pembalik yang akan merubah fase dari sinyal inputan. Input basis dari TR3 akan terhubung dengan kaki pengendali mikro pin PWM yang akan menghasilkan sinyal kotak yang berkebalikan, yang memiliki makna bila logika pada PD.4 sama dengan tinggi maka nilai OUT pada kolektor TR3 adalah nilai inversinya.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengkondisi Sinyal PWM ke Tegangan

PWM akan mempergunakan prescaler 1024 yang artinya nilai overflow akan terjadi bila data pada register cacahan mencapai 1024 siklus, hal ini juga membuat variasi pola pulsa PWM sebanyak 1023 data. Saat sinyal PWM menghasilkan data 1023 dapat diterjemahkan munculnya sinyal tinggi selama siklus tersebut sebelum ter reset secara otomatis oleh over flow nya, sedangkan bila data rendah, contoh 10 dapat

diartikan waktu sinyal tinggi akan jauh lebih singkat yang secara sederhana dapat disimulasikan sebagai berikut.



Gambar 3.3 (a) Sinyal Keluaran PWM = 500, (b) Sinyal Keluaran PWM = 10, (c) Sinyal Keluaran PWM = 1000

Dengan mengetahui waktu yang dibutuhkan transistor untuk mencapai titik saturasinya maka dapat dilakukan manipulasi terhadap tegangan keluaran kolektor dari transistornya memanfaatkan konsep perubahan kondisi saturasi dan cut-off dari transistor. Secara sederhana proses saturasi transistor akan terjadi apabila nilai perubahan arus basis I_B tidak lagi berpengaruh terhadap perubahan arus kolektor sehingga tegangan kolektor akan langsung mengalir ke emitter. Sedangkan cut-off akan terjadi saat I_B sama dengan nol. Saat PD.4 menghasilkan data PWM 1023 atau maksimum, maka interval waktu tinggi yang diterima oleh basis dari TR3 akan mencapai puncaknya dan membuat transistor menjadi saturasi. Nilai saturasi pada kaki kolektor akan dipergunakan oleh TR3 untuk menjadi maksimum, karena intervalnya maksimum maka OUT akan menghasilkan keluaran analog sebesar 0 Volt.

Hal sebaliknya terjadi apabila data PWM diubah menjadi minimum, katakanlah 0 maka TR3 mengalami proses penyumbatan sehingga membuat tegangan kolektor tidak dapat mengalir, karena interval waktu rendahnya jauh lebih tinggi maka OUT akan mengeluarkan tegangan 24 Volt.

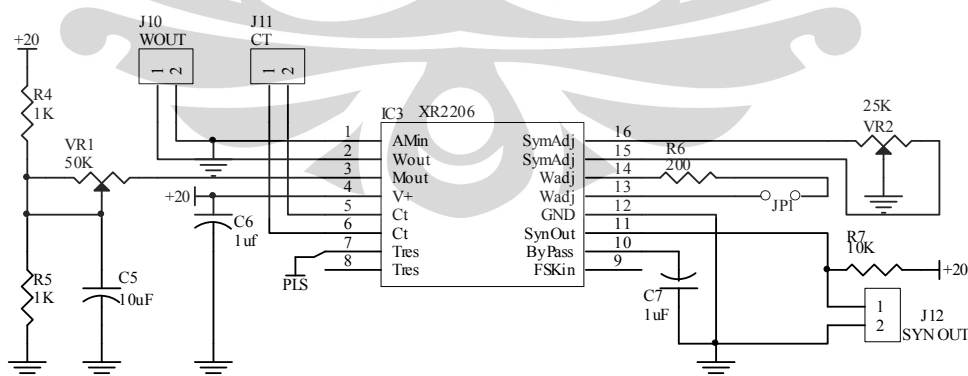
3.1.3. Rangkaian Osilator Terkendali Tegangan

Sirkuit terpadu XR2206 merupakan suatu komponen tunggal yang berfungsi sebagai pembangkit fungsi, dalam hal ini fungsi sinyal sinusoidal. Nilai frekuensi dan amplitudo dari sinyal keluaran dapat dimodulasi dengan mudah oleh tegangan eksternal, Sirkuit ini tersusun atas 4 blok utama, osilator terkendali tegangan (VCO), pengali analog dan pembentuk sinus, penguat penyangga *unity gain*, dan seperangkat saklar arus.

Osilator terkendali tegangan akan menghasilkan frekuensi keluaran yang nilainya proporsional dengan input arus pada pin *timing resistor 1 & timing resistor 2*, diatur dengan mengubah kombinasi dari resistornya ke pertanahan. Dengan adanya 2 pin fungsi pewaktu, frekuensi keluaran diskrit dapat diatur secara independen untuk menghasilkan bentuk dan nilai pulsa yang diinginkan.

Potensiometer R_1 yang terhubung dengan pin 7 akan menentukan nilai frekuensi yang akan dibangkitkan oleh sirkuit, nilai *swing* keluaran frekuensi sinus lebih dari $V^+/2$ dan nilai distorsinya (THD) kurang dari 2.5%. bila menginginkan nilai distorsi yang lebih kecil maka akan dibutuhkan sedikit penyesuaian tambahan pada pin 15 dan 16. keluaran sinyal sinus akan dapat diakses pada pin 2.

Frekuensi dari keluaran sirkuit, f_o , didapatkan dengan menentukan nilai kapasitor pewaktu, C , yang terhubung pada pin 5 dan 6, selain oleh resistor pewaktu, R , pada pin 7.



Gambar 3.4 Rangkaian Osilator Terkendali Tegangan

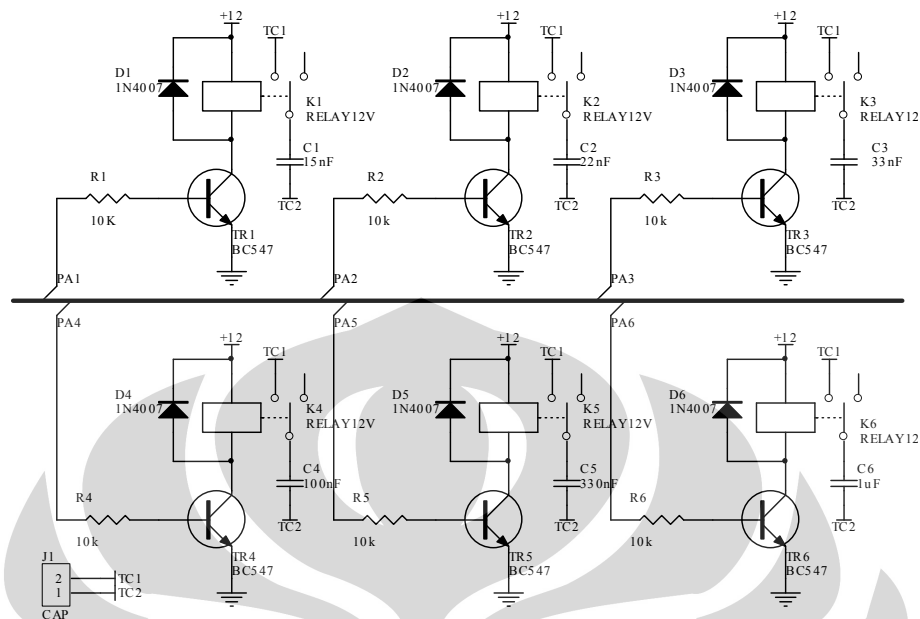
Rangkaian resistor pada pin 7 akan membentuk suatu persamaan yang berfungsi untuk menentukan nilai keluaran frekuensi dari system, yang memenuhi persamaan berikut:

$$f_o = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_c}{3} \right) \right) \quad (3.1)$$

Dari persamaan diatas dapat juga disimpulkan bahwa nilai tegangan akan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi keluaran rangkaian. Karena nilai R dan R_c dipasang konstan maka hanya akan ada dua variabel yang berpengaruh terhadap perubahan nilai frekuensi yaitu nilai kapasitansi C dan V_c tegangan input yang didapatkan dari rangkaian keluaran PWM ke tegangan. Dimana semakin besar data PWM yang dihasilkan maka frekuensi keluaran dari rangkaian VCO akan mengecil, begitu juga sebaliknya.

3.1.4. Rangkaian Pemilih Kapasitor

Untuk dapat mengganti nilai kapasitor pada rangkaian VCO maka dibutuhkan suatu rangkaian yang dapat bekerja secara otomatis. Pada dasarnya rangkaian ini memanfaatkan fungsi relay sebagai saklar elektromekanis yang mampu memutus hubungan koneksi jalur khususnya jalur kapasitor ke rangkaian VCO.

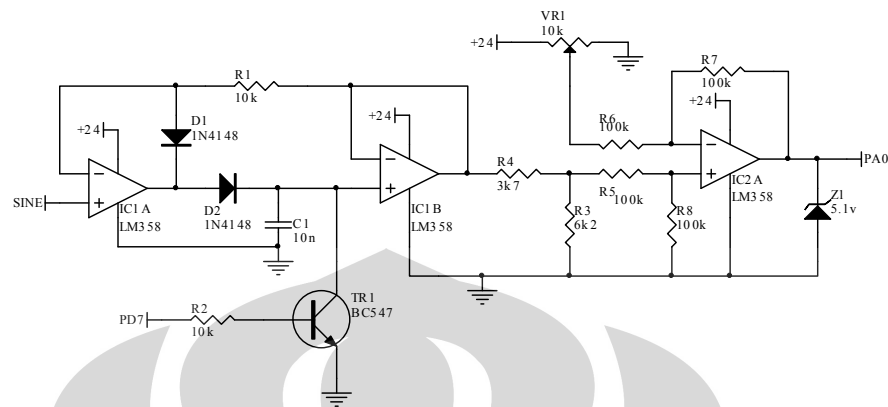


Gambar 3.5 Rangkaian Pemilih Kapasitor

Rangkaian pemilih kapasitor akan menentukan nilai kapasitor yang akan dipergunakan oleh rangkaian VCO, memanfaatkan relay yang diaktifkan melalui pengendalian transistor, diaman nilai kapasitor akan terbaca pada titik TC1 dan TC2. Untuk dapat mengendalikan rangkaian tersebut, pengendali mikro cukup memberikan logika 1 atau 0 pada pinnya. Saat pin mikro memberikan logika 1 maka arus akan mengalir ke basis transistor sehingga menyebabkan transistor saturasi dan +12 dapat mengalir ke GND. Hal ini akan menyebabkan relay aktif karena mendapat beda potensial dan mengubah posisi saklar dari NC ke NO, yang dalam hal ini NO terhubung dengan TC1 sehingga nilai kapasitor akan terbaca.

3.1.5. Rangkaian Pendeteksi Puncak

Setelah sinyal sinus dipaparkan ke plant ukur, maka sistem akan merespon sesuai dengan karakteristiknya dengan keluaran yang masih berupa sinyal sinus tetapi mengalami perubahan amplitudo, oleh karena itu dibutuhkan suatu rangkaian yang dapat mengakomodasi pembacaan perubahan sinyal tersebut. Dengan adanya rangkaian pendeteksi puncak maka sinyal respon akan di 'ratakan' secara otomatis.



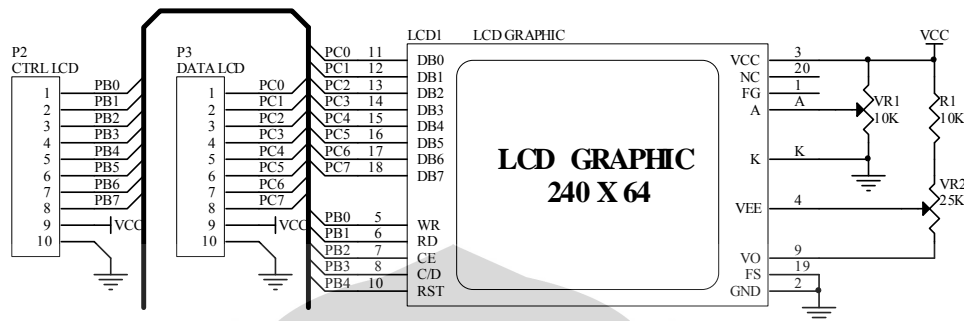
Gambar 3.6 Rangkaian Pendeteksi Puncak Positif

Saat sinyal sinus keluaran dari plant keluar maka puncaknya akan dibaca oleh diode 1N4148 dan disimpan oleh kapasitor C1, sehingga apabila nilai sinyal input berubah menjadi lebih rendah dari nilai sebelumnya proses pembacaan tidak akan berubah. Apabila sinyal inputan berubah puncaknya menjadi lebih tinggi maka opamp kedua harus direset dengan cara memberikan logika high pada pin PD7. Oleh karena itu setiap proses penerjemahan data sinus akan diakhiri oleh proses pengosongan kapasitor agar dapat memuat nilai puncak yang baru.

Perubahan sinyal sinus positif yang terdeteksi adalah 18V (max) hingga 10V (minimal) dengan nilai puncak ke puncak sebesar 17Vpp sehingga perlu dilakukan pengkondisian sinyal sebelum dapat terbaca oleh mikrokontroler. Oleh karena itu rangkaian ditambahkan fungsi pelemah tegangan dan pengurang memanfaatkan opamp, dan dioda zener ditambahkan untuk membatasi tegangan yang masuk ke PA0.

3.1.6 Rangkaian LCD Grafik

Sebagai penampil proses pengukuran dipergunakan LCD grafik 240x64 bit yang memiliki IC pengendali T6963, dengan adanya pengendali ini memudahkan dalam pembuatan program.

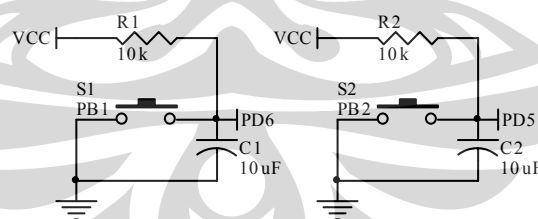


Gambar 3.7 Rangkaian LCD Grafik

Data yang akan ditampilkan pada LCD ini merupakan data 8-bit yang kombinasinya telah disesuaikan sebelumnya. Rangkaian juga dilengkapi dengan dua buah resistor variable yang berfungsi untuk mengatur *contrast* dan *brightness* cahaya latar.

3.1.7 Rangkaian Tombol Tekan

Untuk memulai proses pengukuran sistem dilengkapi dengan dua buah tombol tekan yang terhubung dengan pin PD5 dan PD6 pada pin pengendali mikro.

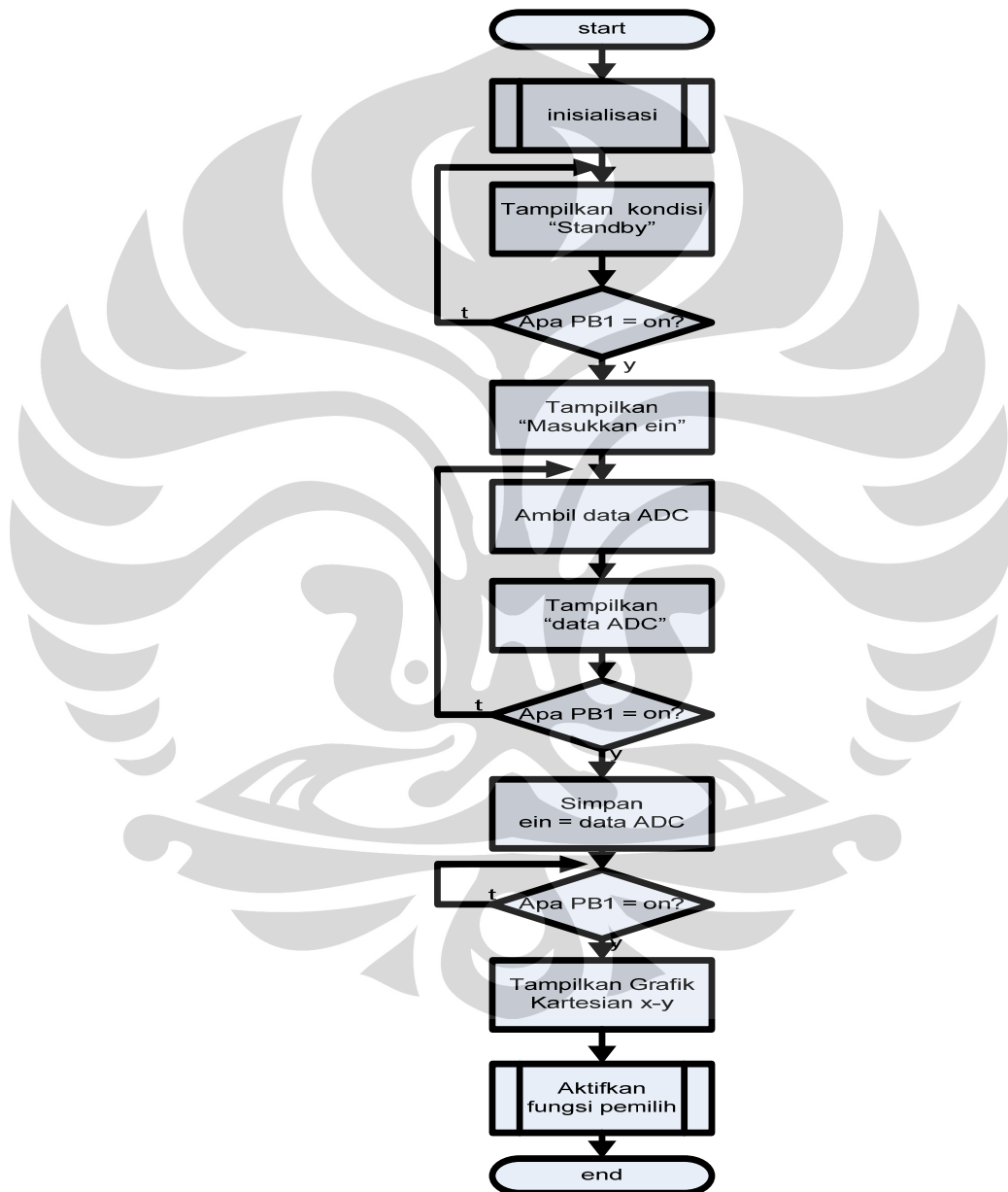


Gambar 3.7 Rangkaian Tombol Tekan

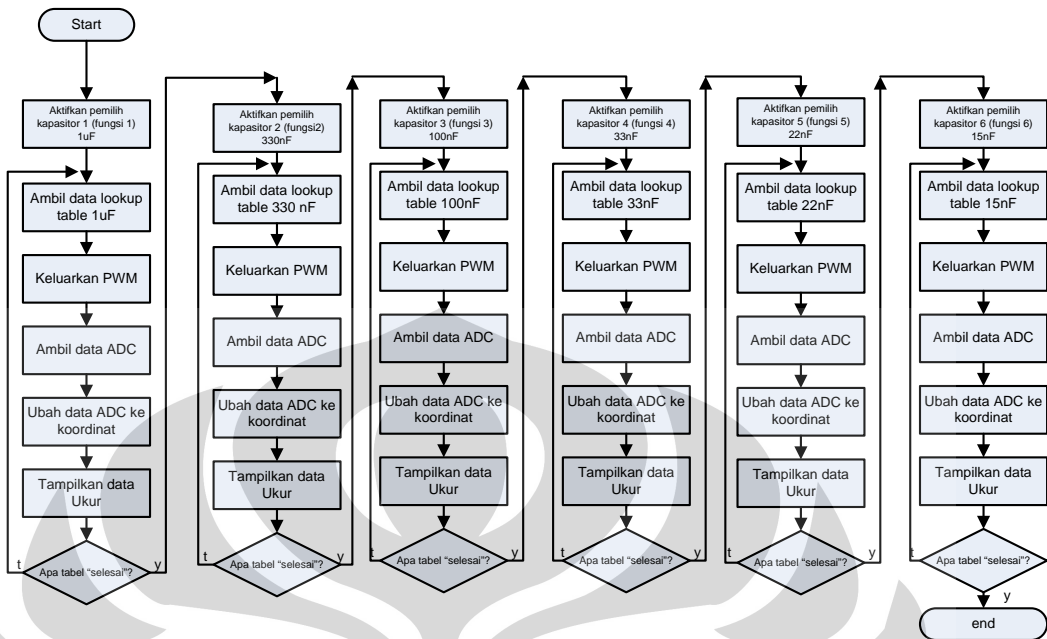
Dalam kondisi awal rangkaian tombol akan memberikan logika 1 karena VCC akan langsung mengalir ke pin, tetapi saat di tekan pin akan terhubung ke ground sehingga membuat potensial mengalir ke tingkat yang lebih rendah dan membuat rangkaian berlogika 0.

3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Untuk memudahkan pendesainan sistem, maka dirancanglah sebuah diagram alir yang akan menentukan tata aliran kerja program sehingga membuat sekuens kerjanya menjadi terstruktur, berikut adalah diagram alir dari system:



Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem Keseluruhan



Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Fungsi Pemilih

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DATA DAN ANALISA

Setelah dilakukan pengerjaan keseluruhan sistem, maka perlu dilakukan pengujian alat serta penganalisaan terhadap alat, apakah sistem sudah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian-pengujian tersebut meliputi :

- Pengujian korelasi tegangan keluaran rangkaian PWM ke tegangan.
- Pengujian keluaran frekuensi rangkaian VCO terhadap kombinasi kapasitor.
- Pengujian respon sistem terhadap objek ukur.

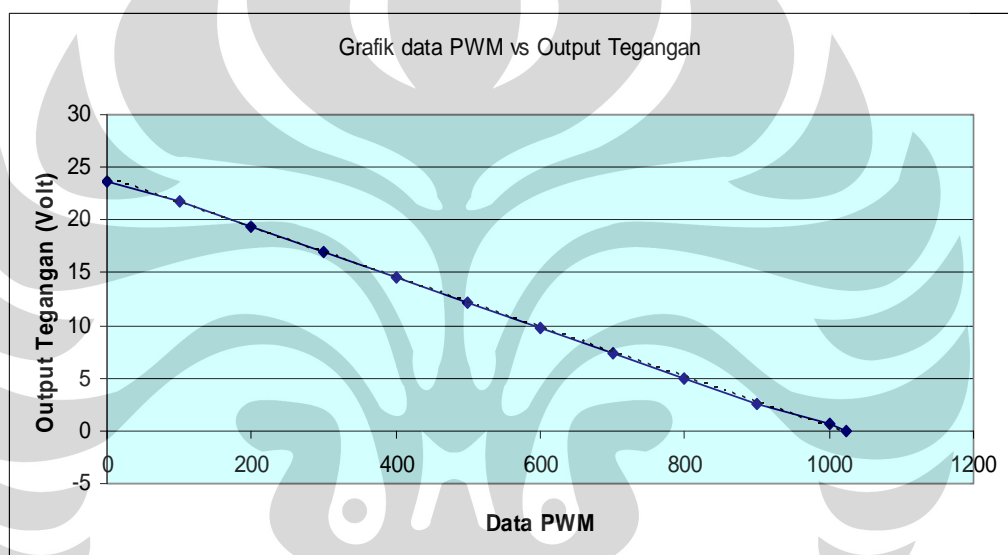
4.1. Pengujian Korelasi Tegangan Keluaran Rangkaian PWM ke Tegangan

Untuk mengetahui nilai keluaran tegangan dari rangkaian maka pin output dari rangkaian dihubungkan ke multimeter digital yang berfungsi untuk melakukan pencatatan terhadap nilai respon tegangan dari rangkaian terhadap pemberian data PWM dari range 0 hingga 1023 dengan kenaikan sebesar 100, dan berikut adalah rekap datanya.

Tabel 4.1 Tabel Korelasi Data PWM 0-1023 dengan Output Tegangan

No	Data PWM	Output Tegangan (Volt)
1	0	23.67
2	100	21.78
3	200	19.37
4	300	16.95
5	400	14.54
6	500	12.12
7	600	9.72
8	700	7.31
9	800	4.91
10	900	2.562
11	1000	0.654
12	1023	0.0478

Data berikut diambil dari rangkaian PWM ke tegangan dengan memberikan data dengan peningkatan per 100 poin, karena tegangan positif pada rangkaian terukur sebesar 24 volt maka dapat diketahui saat data PWM besar, tegangan keluaran dari rangkaian akan semakin mengecil dikarenakan transistor mengalami kondisi saturasi jauh lebih lama sehingga membuat tegangan terukur menjadi mendekati 0 Volt. Sedangkan saat data PWM dibuat mendekati 0 maka transistor akan mengalami penyumbatan dan membuat tegangan pada kaki kolektor menjadi mendekati 24 Volt.

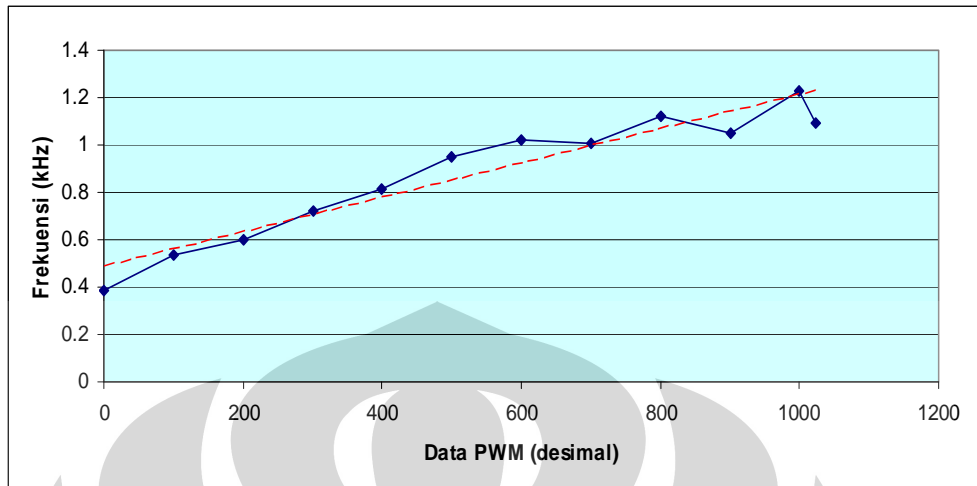


Gambar 4.1 Grafik Korelasi Data PWM 0-1023 dengan Output Tegangan

Dari data diatas juga dapat diketahui bahwa pada kenaikan data PWM sebesar 100 desimal maka akan membuat tegangan semakin tereduksi hingga sebesar 1.92 Volt.

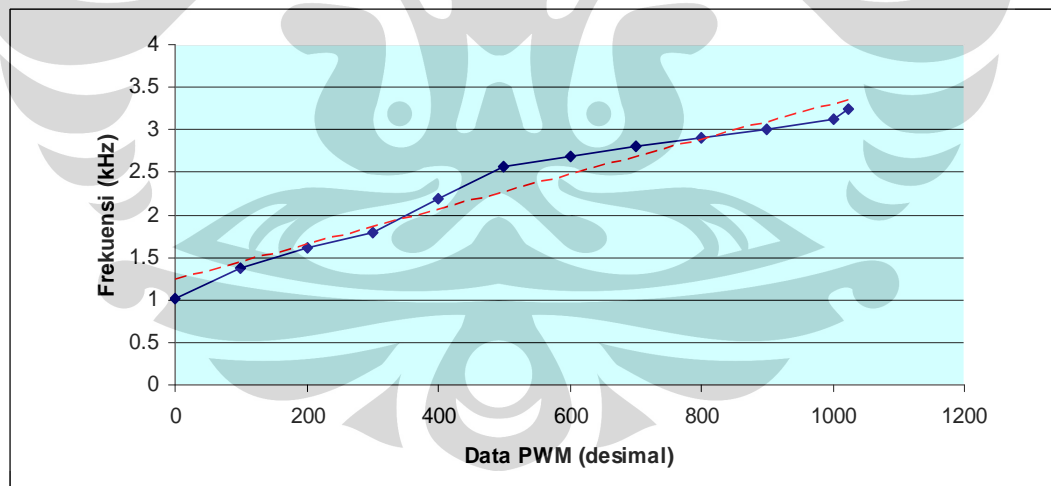
4.2. Pengujian Korelasi Data VCO Terhadap Kombinasi Kapasitor

Untuk dapat mengetahui nilai jangkauan frekuensi yang dapat dihasilkan oleh rangkaian VCO dengan kombinasi kapasitor yang sesuai maka dilakukan pencuplikan data sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO $1\mu\text{F}$

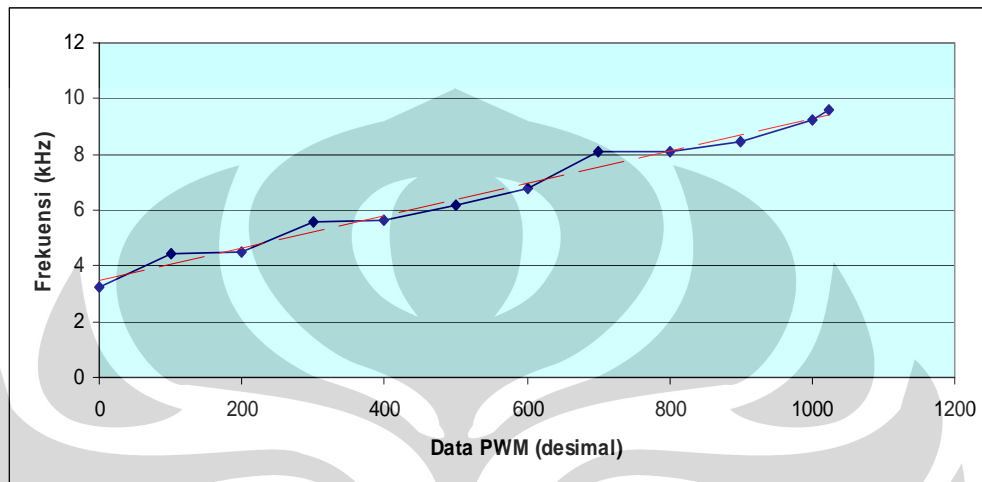
Pada penggunaan kapasitor $1\mu\text{F}$ nilai frekuensi keluaran terukur yang dapat dihasilkan oleh rangkaian VCO adalah 384Hz hingga 1094Hz. Sedangkan secara perhitungan didapatkan rentang frekuensi 300Hz hingga 1100Hz.



Gambar 4.3 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 330nF

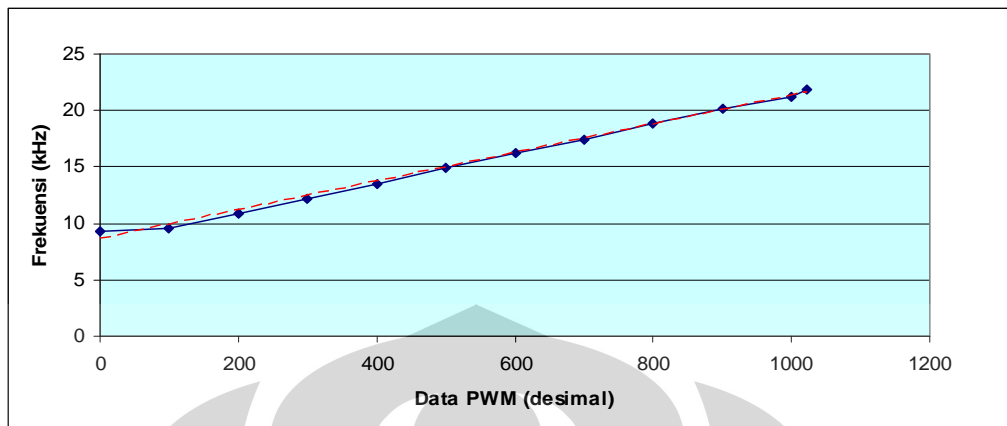
Pada penggunaan kapasitor 330nF secara teoritik dengan jangkauan tegangan 0-24 Volt akan didapatkan perubahan frekuensi 3,3kHz hingga 0,9kHz, sedangkan dalam pengendalian memanfaatkan PWM jangkauan frekuensi yang dapat diraih

adalah pada nilai 1,02kHz hingga 3,234kHz. Perbedaan ini disebabkan beberapa nilai komponen yang memiliki nilai toleransi terlalu lebar sehingga mengaburkan proses pengukuran.



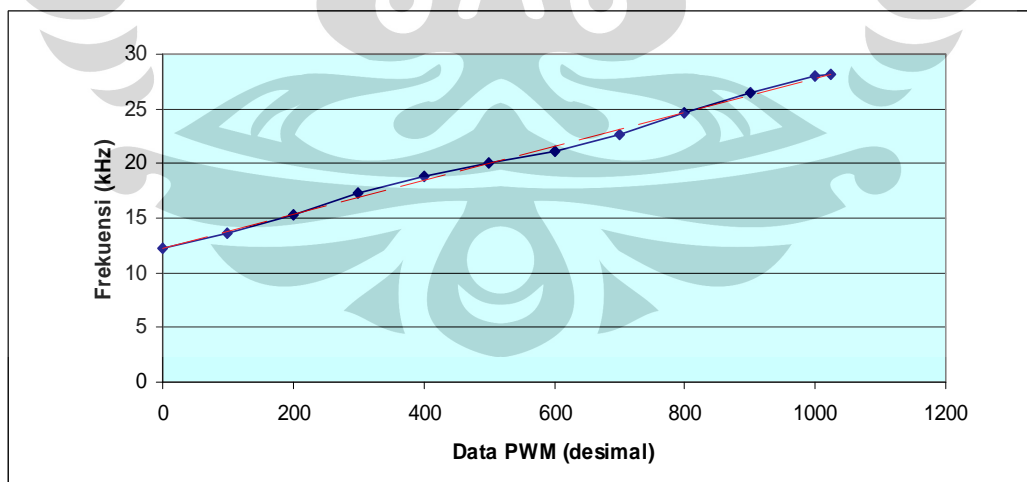
Gambar 4.4 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 100nF

Pada penggunaan kapasitor 100nF secara teoritik dengan jangkauan tegangan 0-24 Volt akan didapatkan perubahan frekuensi 11kHz hingga 3kHz, sedangkan dalam pengendalian memanfaatkan PWM jangkauan frekuensi yang dapat diraih adalah pada nilai 9,628kHz hingga 3,23kHz. Perbedaan ini disebabkan beberapa nilai komponen yang memiliki nilai toleransi terlalu lebar sehingga mengaburkan proses pengukuran.



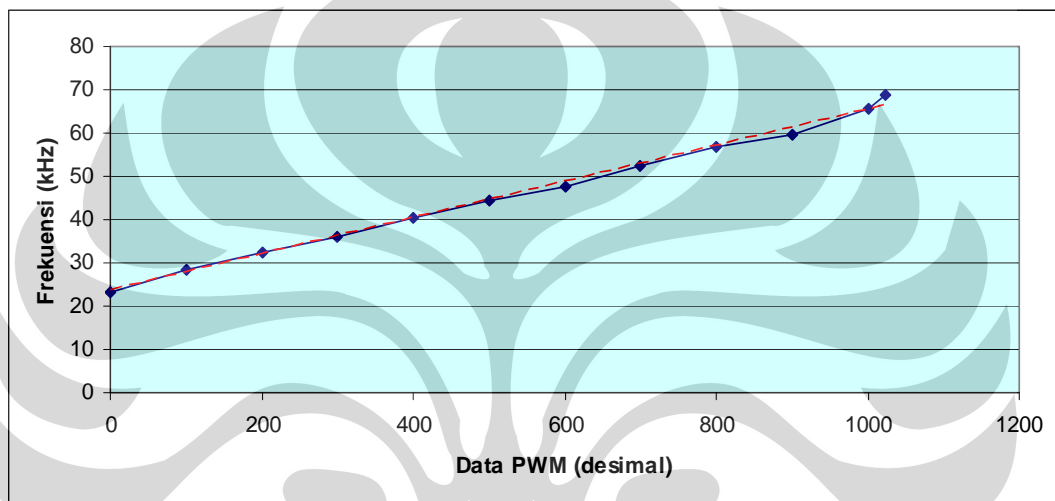
Gambar 4.5 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 33nF

Pada penggunaan kapasitor 33nF secara teoritik dengan jangkauan tegangan 0-24 Volt akan didapatkan perubahan frekuensi 9,09 hingga 33,3kHz, sedangkan dalam pengendalian memanfaatkan PWM jangkauan frekuensi yang dapat diraih adalah pada nilai 9,35kHz hingga 21,89kHz. Perbedaan ini disebabkan beberapa nilai komponen yang memiliki nilai toleransi terlalu lebar sehingga mengaburkan proses pengukuran.



Gambar 4.6 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 22nF

Pada penggunaan kapasitor 22nF secara teoritik dengan jangkauan tegangan 0-24 Volt akan didapatkan perubahan frekuensi 13,6kHz hingga 50kHz, sedangkan dalam pengendalian memanfaatkan PWM jangkauan frekuensi yang dapat diraih adalah pada nilai 12,24kHz hingga 28,23Hz. Perbedaan ini disebabkan beberapa nilai komponen yang memiliki nilai toleransi terlalu lebar sehingga mengaburkan proses pengukuran.



Gambar 4.7 Grafik Korelasi Data PWM dengan Frekuensi VCO 15nF

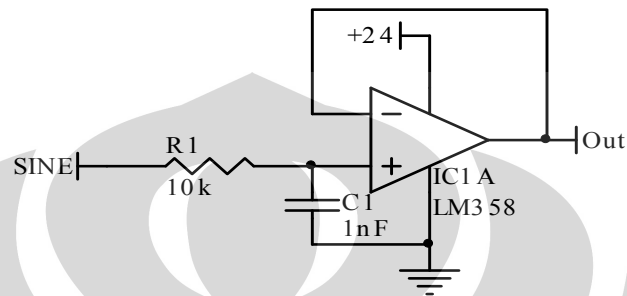
Pada penggunaan kapasitor 15nF secara teoritik dengan jangkauan tegangan 0-24 Volt akan didapatkan perubahan frekuensi 20kHz hingga 73,3kHz, sedangkan dalam pengendalian memanfaatkan PWM jangkauan frekuensi yang dapat diraih adalah pada nilai 23,22kHz hingga 68,45kHz.

4.3. Pengujian Respon Sistem Terhadap Objek Ukur

Untuk dapat mengetahui kinerja dari sistem secara keseluruhan maka dilakukan uji coba dengan cara membuat objek ukur yang terdiri dari beberapa rangkaian.

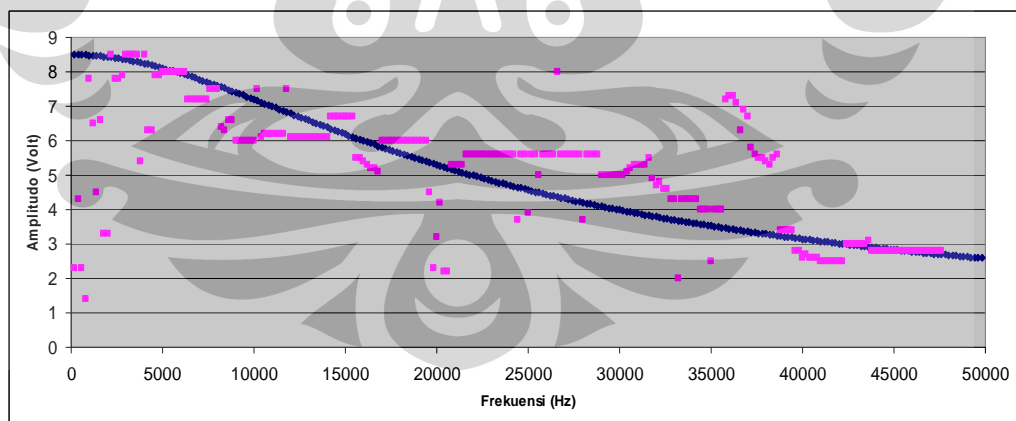
4.3.1 Pengujian Low Pass Filter Aktif Orde 1

Rangkaian low pass filter aktif orde 1 dipergunakan untuk membandingkan kinerja sistem dengan teoritiknya, berikut adalah rangkaian yang dipergunakan:



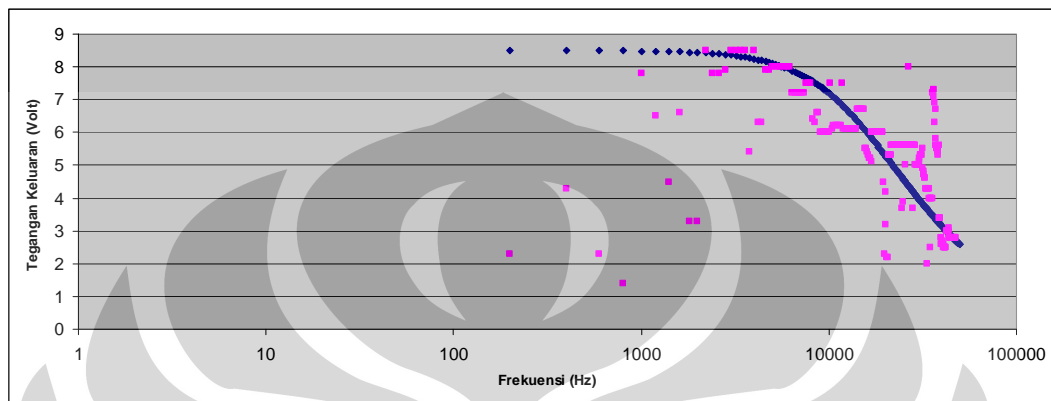
Gambar 4.8 Rangkaian Low Pass Filter Orde 1 $f_c = 15923,34\text{Hz}$

Rangkaian diatas berdasarkan perhitungan memiliki nilai frekuensi kritis sebesar 15923,34Hz, dengan nilai tegangan input V_{pp} sebesar 17 Volt maka dapat diketahui nilai puncaknya adalah 8,5 Volt. Sehingga titik 3dB akan berada pada tegangan 6,037 Volt. Berikut hasil plot pengukuran terhadap perhitungan.



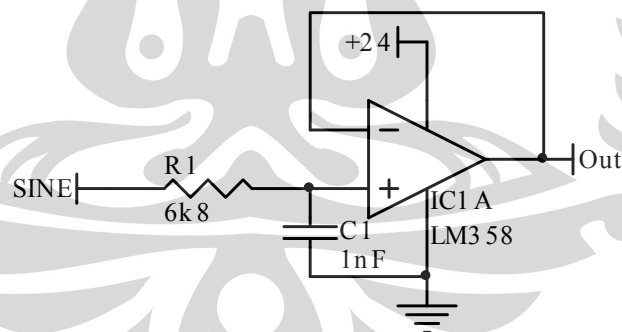
Gambar 4.9 Grafik Pengukuran LPF Orde 1 $f_c = 15923,34\text{Hz}$

Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil pengukuran mendekati kinerja dari rangkaian yang hanya melewatkan sinyal pada frekuensi rendah, sedangkan sinyal inputan di bawah frekuensi sudut akan terus dilemahkan.



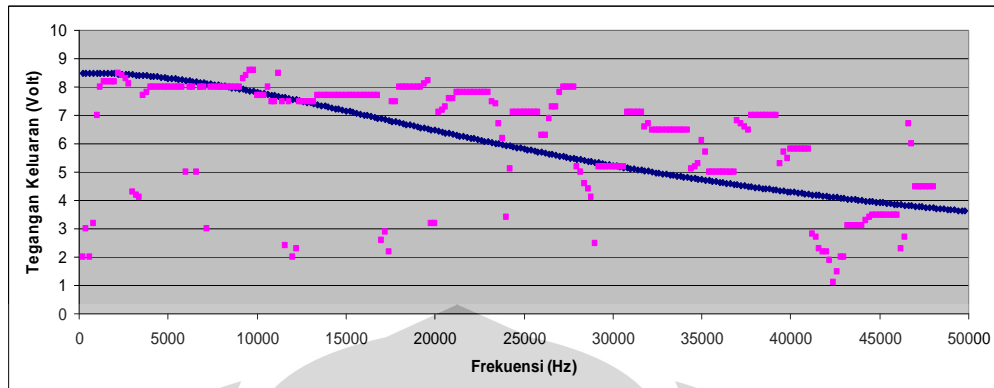
Gambar 4.10 Grafik Pengukuran LPF Orde 1 $f_c = 15923,34\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

Uji coba rangkaian low pass filter juga dilakukan terhadap rangkaian sebagai berikut:



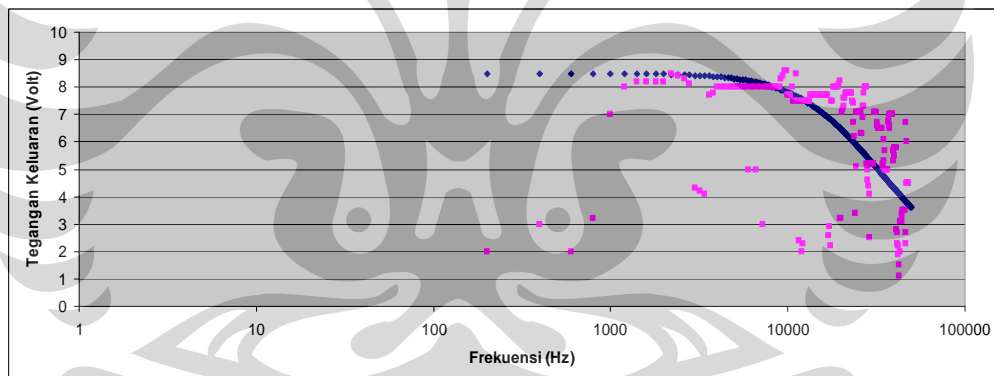
Gambar 4.11 Rangkaian Low Pass Filter Orde 1 $f_c = 23417,01\text{Hz}$

Rangkaian diatas memiliki nilai frekuensi sudut sebesar 23417,01Hz berdasarkan perhitungan, kemudian proses perhitungan dibandingkan dengan hasil pengukuran sehingga didapat grafik berikut:



Gambar 4.12 Grafik Pengukuran LPF Orde 1 $f_c = 23417,01\text{Hz}$

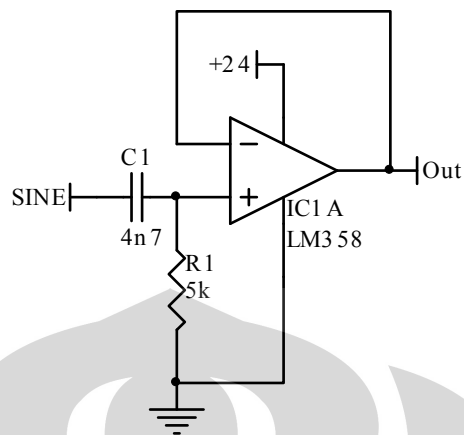
Respon sistem terlihat cukup jauh dari proses perhitungan secara manual, meskipun telah menunjukkan proses pelemahan sinyal tetapi dapat dilihat bahwa intervalnya terlalu jauh bila dibandingkan dengan proses perhitungan.



Gambar 4.13 Grafik Pengukuran LPF Orde 1 $f_c = 23417,01\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

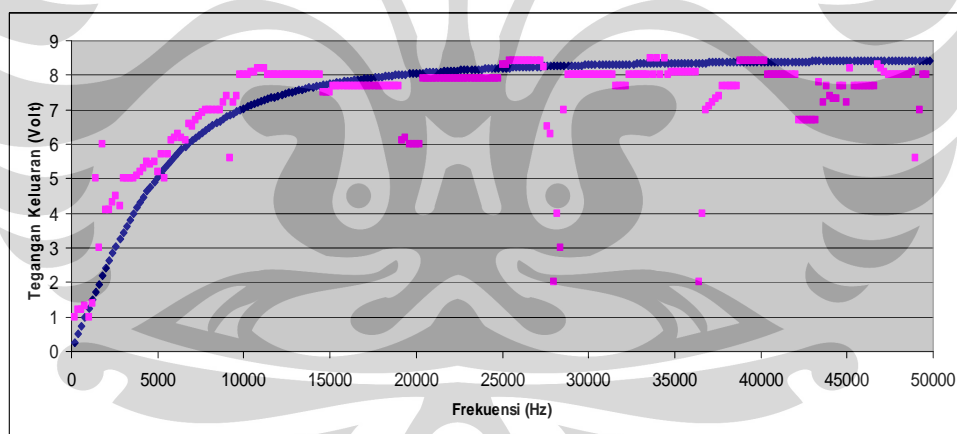
4.3.2 Pengujian High Pass Filter Aktif Orde 1

Setelah dilakukan pengujian terhadap rangkaian low pass filter, maka dilakukan pengujian sistem memanfaatkan rangkaian high pass filter sebagai berikut:



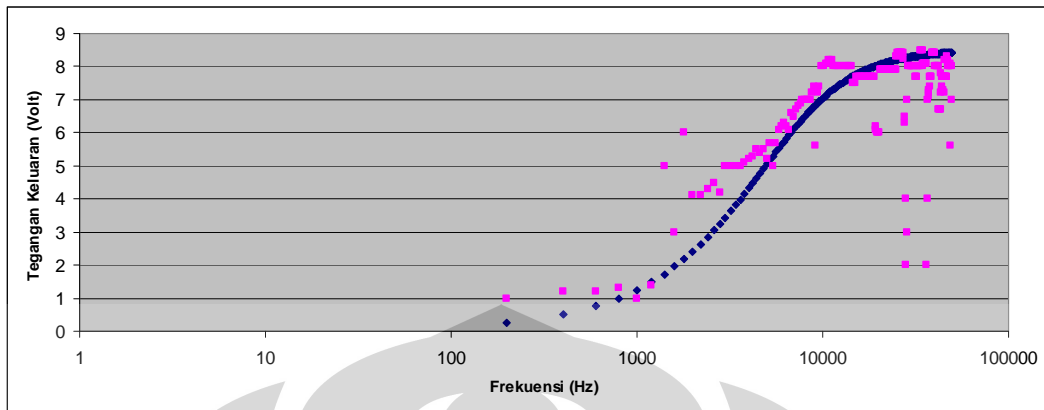
Gambar 4.14 Rangkaian High Pass Filter Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$

Rangkaian diatas memiliki frekuensi sudut sebesar $6775,98\text{Hz}$ berdasarkan perhitungan, kemudian dapat di plot grafik korelasi keduanya.



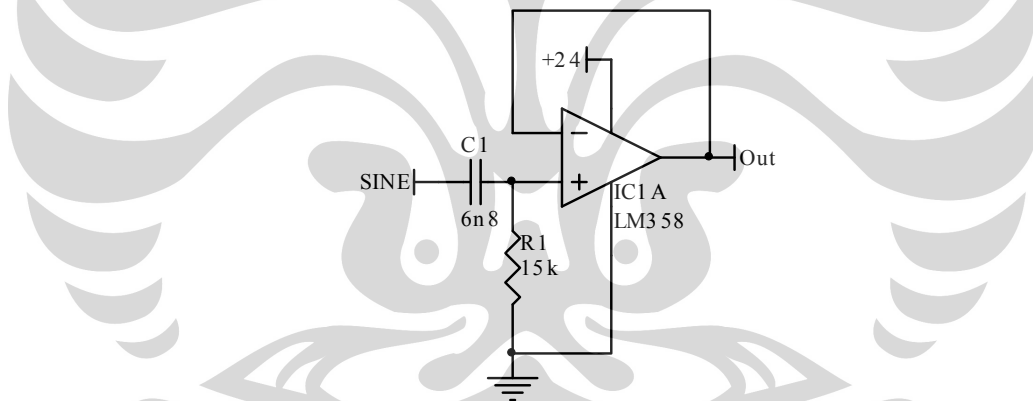
Gambar 4.15 Grafik Pengukuran HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$

Hasil pengukuran menunjukkan korelasi yang cukup baik, meskipun ada beberapa sampel yang sangat jauh dari titik perhitungan tetapi secara keseluruhan hasil dapat menggambarkan dengan jelas kinerja ukurnya.



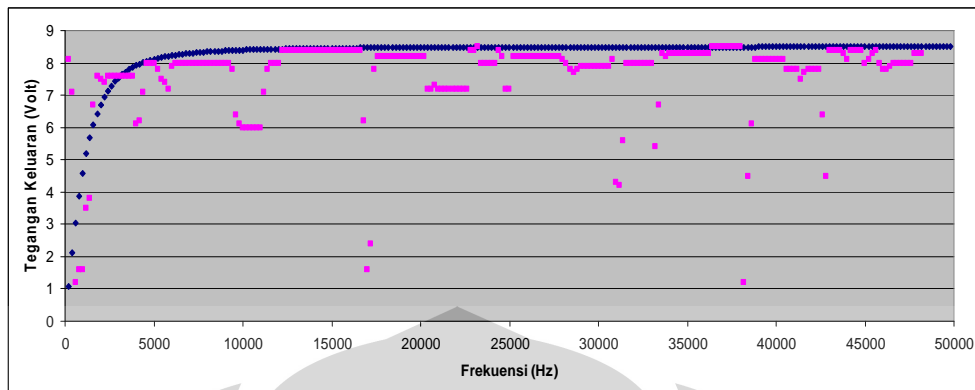
Gambar 4.16 Grafik Pengukuran HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

Untuk meningkatkan kualitas pengukuran maka proses dilakukan kembali dengan kombinasi yang berbeda.



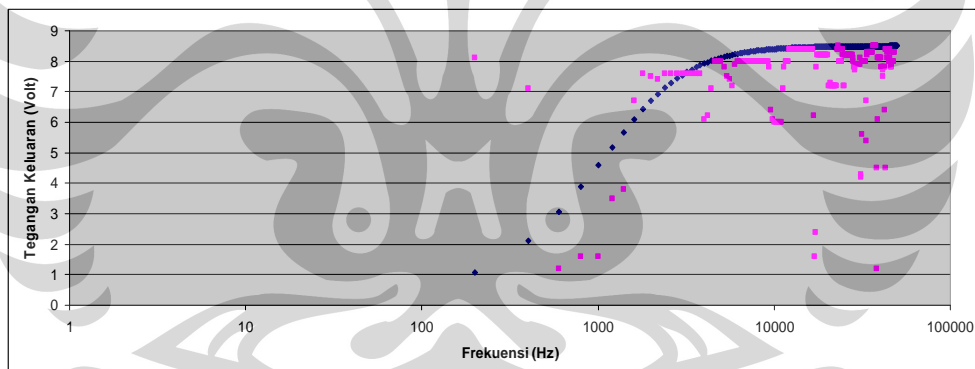
Gambar 4.17 Rangkaian High Pass Filter Orde 1 $f_c = 1561,13\text{Hz}$

Rangkaian diatas memiliki frekuensi sudut pada 1561,13Hz berdasarkan proses perhitungan kemudian data di plotkan kedalam grafik.



Gambar 4.18 Grafik Pengukuran HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$

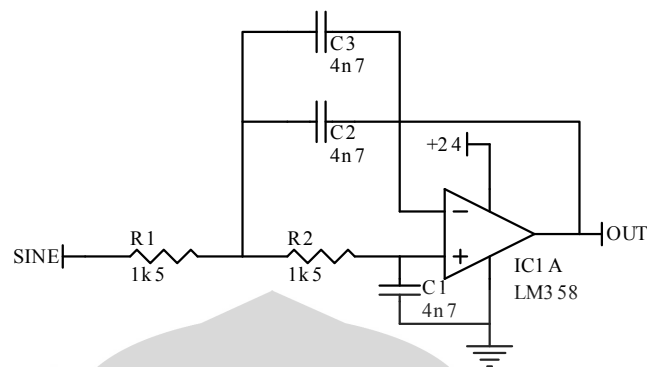
Dari grafik terlihat bahwa nilai di atas 5000Hz dapat dilewatkan dengan baik dan dapat terukur. Pola pengukuran juga mendeskripsikan dengan jelas bahwa sistem yang terukur adalah rangkaian high pass filter.



Gambar 4.19 Grafik Pengukuran HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

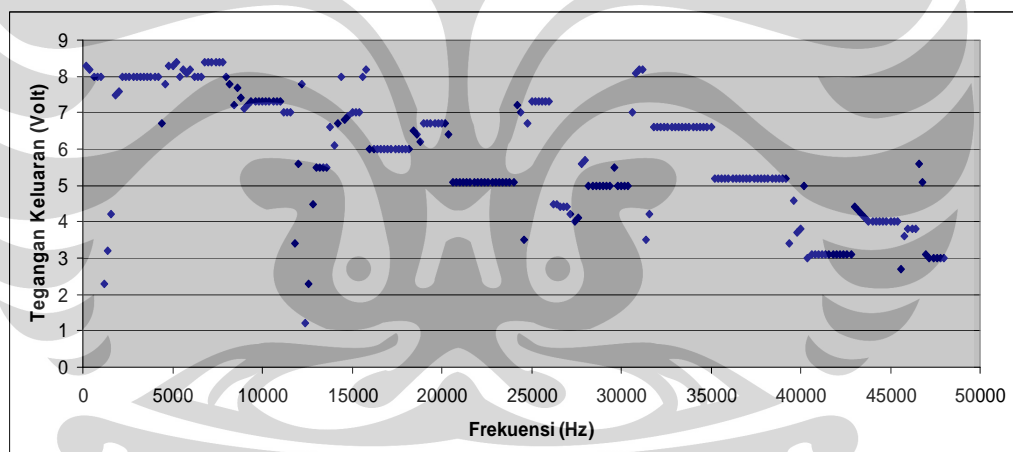
4.3.3 Pengujian Low Pass Filter Aktif Orde 2

Untuk membuktikan adanya perbedaan pengukuran dalam sistem maka dirancanglah sebuah rangkaian low pass filter orde 2 yang memiliki frekuensi sudut mendekati rangkaian sebelumnya sehingga bisa dilihat pola keterkaitannya. Berikut adalah gambar rangkaiannya:



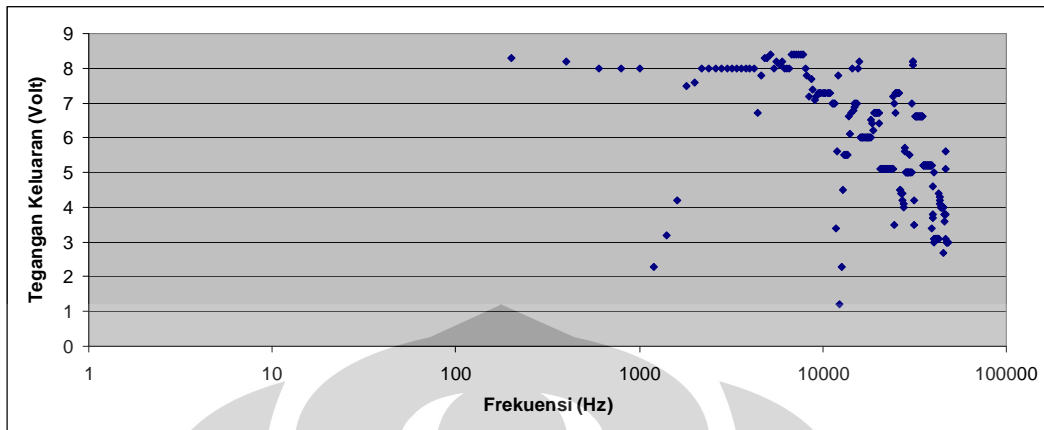
Gambar 4.20 Rangkaian Low Pass Filter Orde 2 $f_c = 15973,33\text{Hz}$

Berdasarkan perhitungan, rangkaian diatas memiliki frekuensi sudut sebesar $15973,33\text{Hz}$ dan kemudian data ukur diplotkan kedalam persamaan garis.

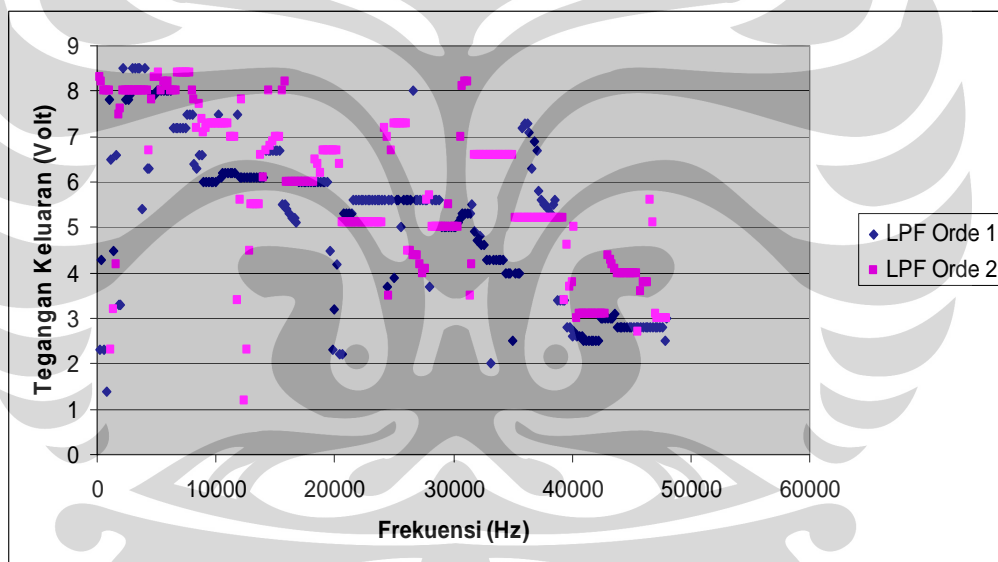


Gambar 4.21 Grafik Pengukuran LPF Orde 2 $f_c = 15973,33\text{Hz}$

Sedangkan untuk mengetahui apakah tingkat pengukurannya menjadi lebih curam dibandingkan dengan yang berorde satu maka dilakukanlah proses komparasi hasil pengukuran dan berikut adalah data perbandingannya.

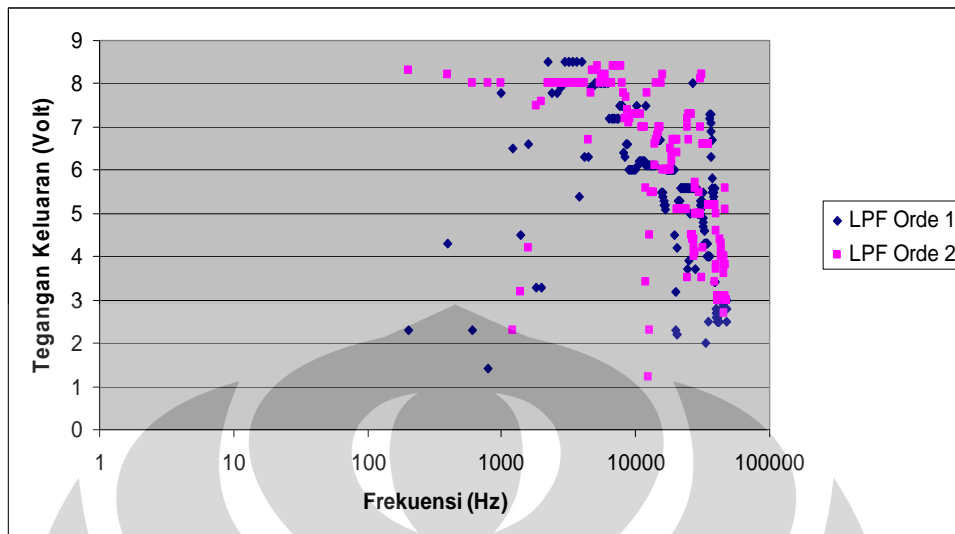


Gambar 4.22 Grafik Pengukuran LPF Orde 2 $f_c = 15973,33\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan LPF Orde 2 $f_c = 15973,33\text{Hz}$
dengan LPF Orde 1 $f_c = 15923,27\text{Hz}$

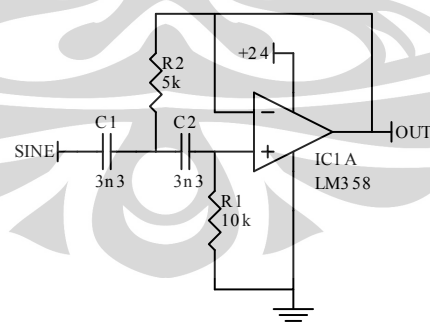
Dari data pengukuran keduanya memiliki kesesuaian dalam nilai titik frekuensi sudut dan menunjukkan pelemahan sinyal pada frekuensi tinggi, tetapi tidak menunjukkan perbedaan tingkat kemiringan yang berarti.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan LPF Orde 2 $f_c = 15973,33\text{Hz}$ dengan LPF Orde 1 $f_c = 15923,27\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

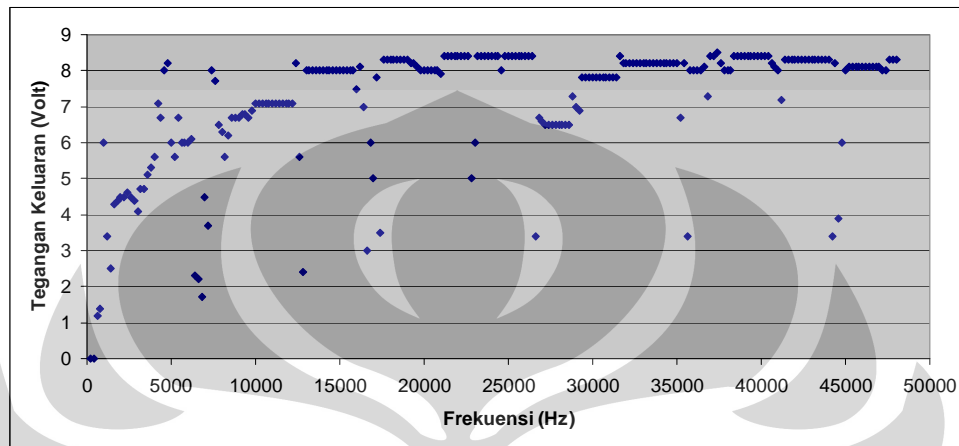
4.3.4 Pengujian High Pass Filter Aktif Orde 2

Rangkaian high pass filter orde 2 juga dirancang untuk dapat membandingkan kinerja pengukuran terhadap sistem yang memiliki frekuensi sudut yang sama. Berikut gambar rangkaian high pass filter yang akan diuji.



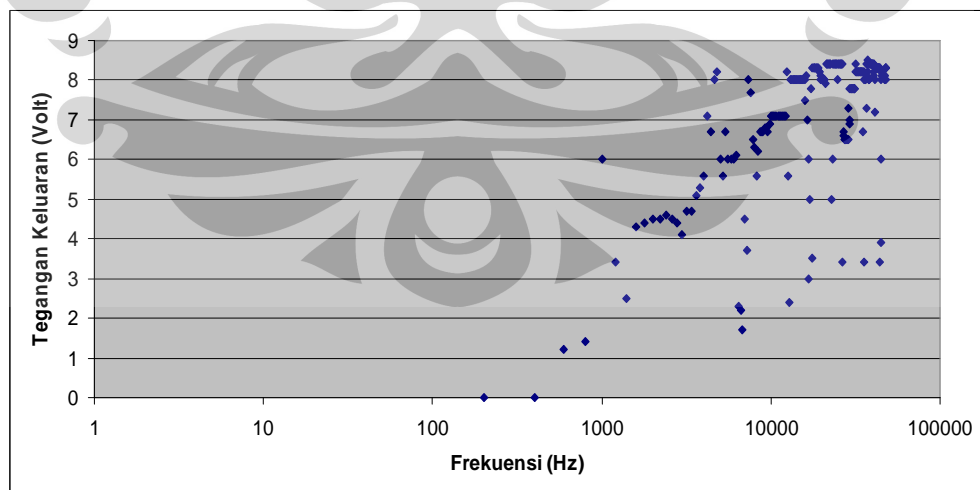
Gambar 4.25 Rangkaian High Pass Filter Orde 2 $f_c = 6825,06\text{Hz}$

Rangkaian didesain agar memiliki nilai frekuensi sudut yang sama dengan yang berode satu, hal ini dimaksudkan agar dapat terlihat jelas pola perbandingan tingkat kecuramannya, dan berikut adalah hasil pengukurannya.



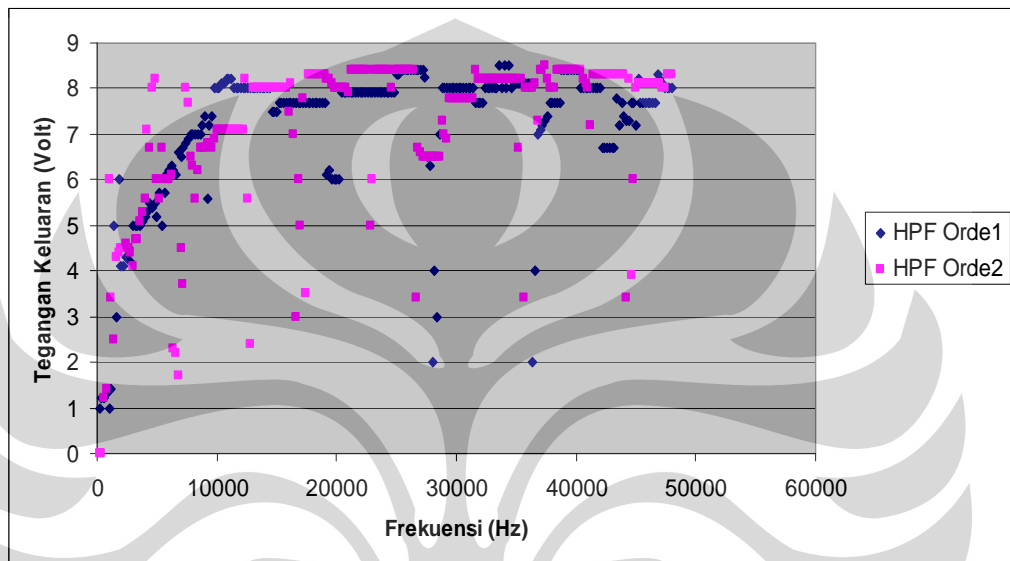
Gambar 4.26 Grafik Pengukuran HPF Orde 2 $f_c=6825,06\text{Hz}$

Rangkaian high pass filter orde 2 menunjukkan hasil pengukuran yang cukup jelas menggambarkan proses pelemahan sinyal pada frekuensi rendah dan melewatkan sinyal berfrekuensi diatas titik kritis.



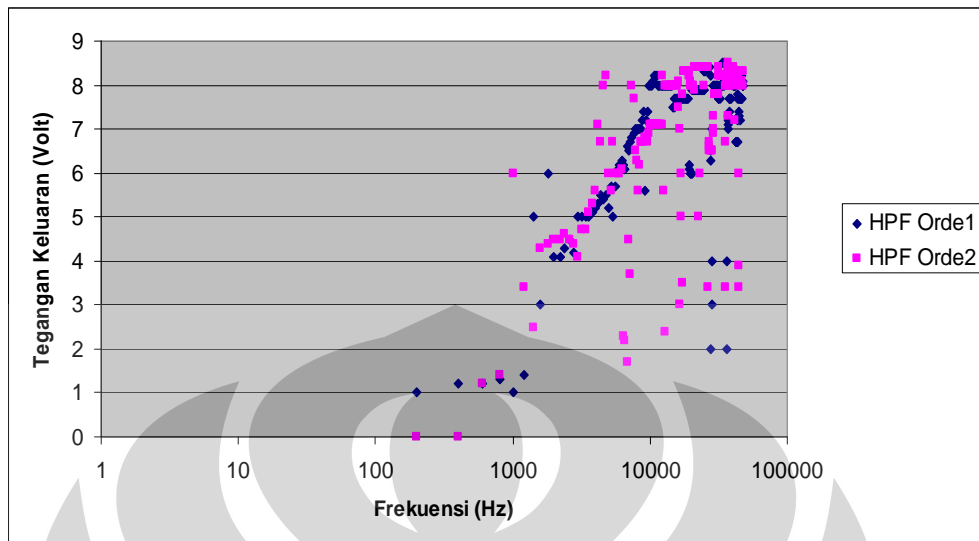
Gambar 4.27 Grafik Pengukuran HPF Orde 2 $f_c=6825,06\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

Untuk melihat gradien pengukuran maka dilakukan perbandingan antara data orde 1 dengan orde 2, dan berikut hasil plot datanya.



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan HPF Orde 2 $f_c = 6825,06\text{Hz}$ dengan HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$

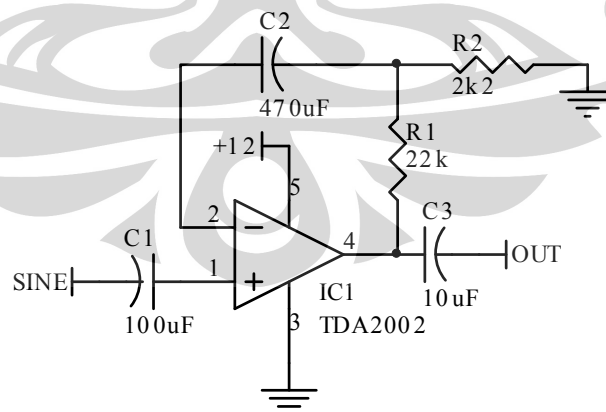
Dari grafik terlihat bahwa rangkaian high pass filter berorde 2 menunjukkan pola kecuraman yang lebih tinggi daripada rangkaian berorde 1, sesuai dengan teoritik.



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan HPF Orde 2 $f_c = 6825,06\text{Hz}$ dengan HPF Orde 1 $f_c = 6775,98\text{Hz}$ Fungsi Logaritmik

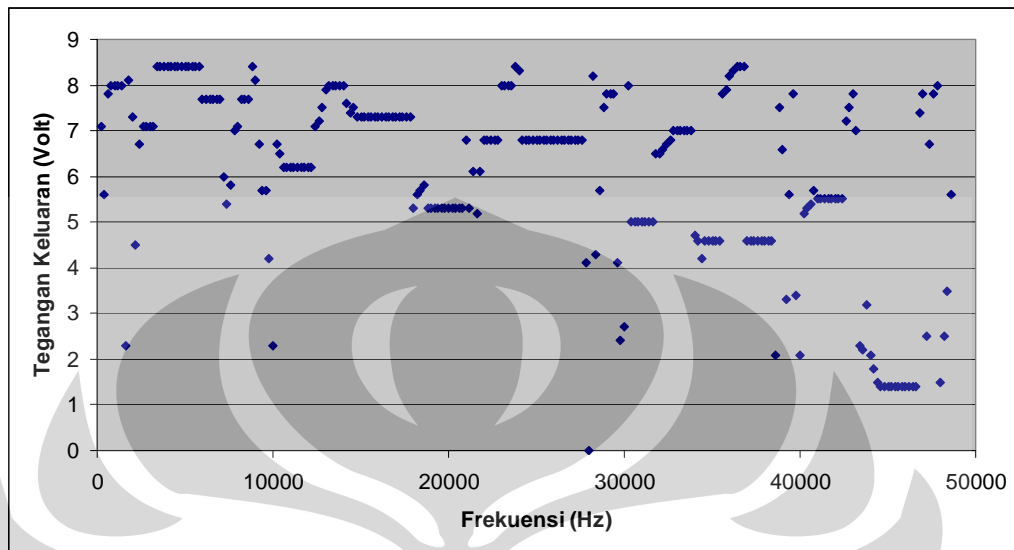
4.3.5 Pengujian TDA2002

Untuk dapat mengetahui apakah sistem dapat mengukur respon frekuensi dari objek yang tidak diketahui nilai responnya maka dilakukan pengujian IC TDA2002 yang merupakan audio amplifier 8 wat, kemudian diukur nilai penguatan loop terbukanya memanfaatkan rangkaian di bawah ini:



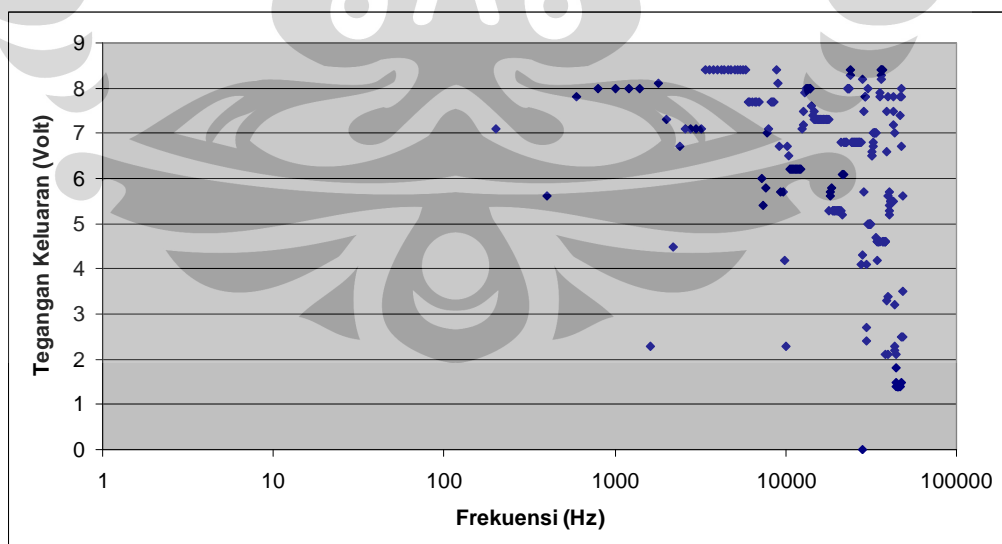
Gambar 4.30 Rangkaian Pengujian TDA2002

Setelah diberikan gelombang sinus yang nilainya bertingkat dari 200Hz hingga 48000Hz maka didapatkanlah data pengukuran sebagai berikut:



Gambar 4.31 Grafik Pengujian TDA2002

Meskipun hasil pengujian terlihat tidak teratur tetapi dapat terlihat bahwa hasil ukur akan semakin melemah seiring pembesaran sinyal.



Gambar 4.32 Grafik Pengujian TDA2002 Fungsi Logaritmik

BAB 5

SARAN DAN KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melalui serangkaian pengujian dan percobaan maka dapat ditarik kesimpulan mengenai system ukur ini:

- Setiap kapasitor akan menentukan jangkauan keluaran frekuensi dari rangkaian pembangkit osilator.
- Range frekuensi efektif dimana amplitudo tidak mengalami perubahan nilai adalah 50kHz, bila diatas nilai tersebut maka sinyal keluaran akan mengalami atenuasi.
- Sistem mampu menunjukkan respon dari objek ukur secara kasar.
- Tingkat kenaikan pemberian paparan frekuensi tidak terlalu lebar sehingga ada titik sampel yang tidak terpindai.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dikemudian hari dapat mempertimbangkan saran sebagai berikut dalam pendesainan alat selanjutnya:

- Mempertimbangkan penggunaan VCO dengan range frekuensi yang jauh lebih tinggi sehingga didapatkan spektrum ukur yang luas
- Dicoba untuk menampilkan diagram fase sebagai komplementer pengukuran Bode.