



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

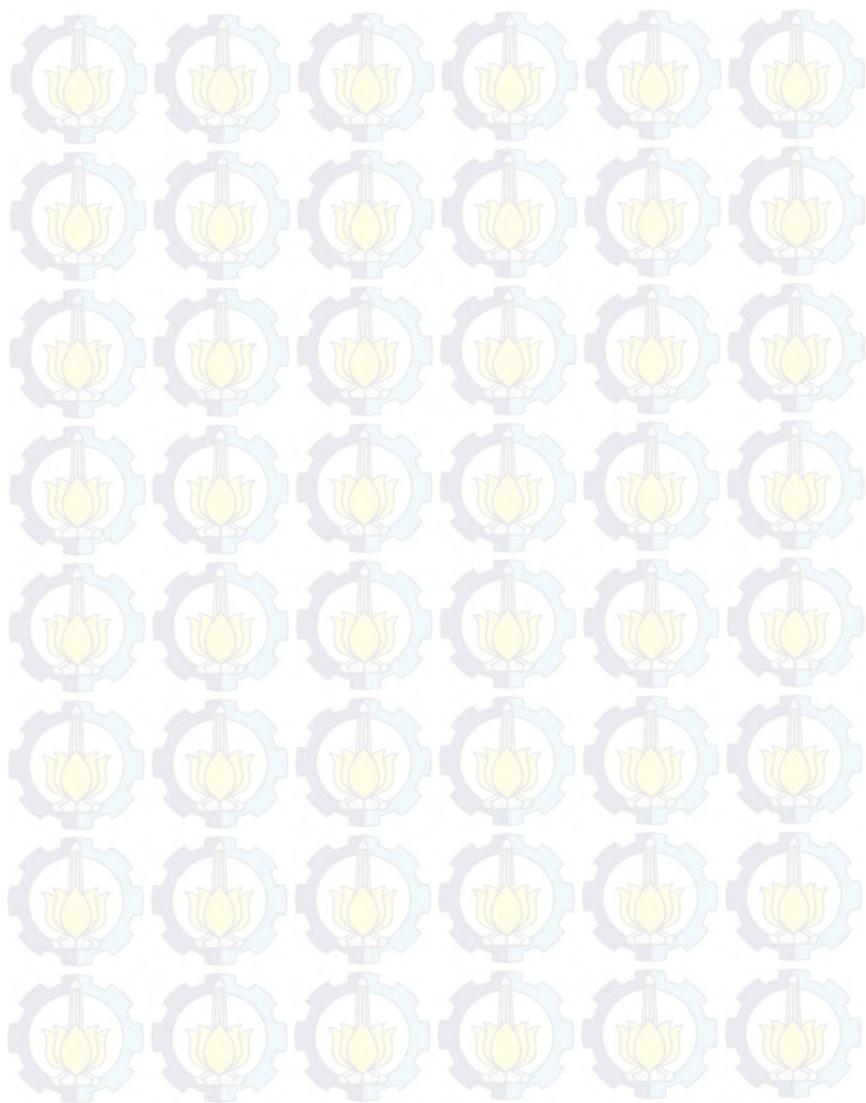
TUGAS AKHIR - TE 145561

**PERANCANGAN *ELECTROENCEPHALOGRAPH* SEBAGAI
MEDIA MONITORING SINYAL OTAK TERINTEGRASI DENGAN
ANDROID**

Raden Ajeng Mumtaz Sakinah
NRP 2213030016
Septian Maulana Hidayad
NRP 2213030068

Dosen Pembimbing
Slamet Budiprayitno, ST., MT.
Ir. Rusdhianto Effendie AK, MT.

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 145561

***ELECTROENCEPHALOGRAPH DESIGN AS A BRAIN SIGNAL
MONITORING MEDIA INTEGRATED WITH ANDROID***

Raden Ajeng Mumtaz Sakinah
NRP 2213030016
Septian Maulana Hidayad
NRP 2213030068

Advisor
Slamet Budiprayitno, ST., MT.
Ir. Rusdhianto Effendie AK, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING D3 STUDY PROGRAM
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Perancangan Electroencephalograph Sebagai Media Monitoring Sinyal Otak Terintegrasi dengan Android**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 01 Juni 2016

Mahasiswa I



Raden Ajeng Mumtaz S.
NRP 2213030016

Mahasiswa II



Septian Maulana Hidayad
NRP 2213030068



**PERANCANGAN *ELECTROENCEPHALOGRAPH* SEBAGAI
MEDIA *MONITORING* SINYAL OTAK TERINTEGRASI
DENGAN *ANDROID***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Komputer Kontrol
Program Studi D3 Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Slamet Budiprayitno, ST., MT.
NIP. 19781113 201012 1 002

Ir. Rusdhianto Effendi AK, MT.,
NIP. 19570424 198502 1 001

**SURABAYA
JUNI, 2016**

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Septian Maulana Hidayat / Raden Ajeng Muntaz Sekinah

Nrp. : 2213 030 068 / 2213 030 016

Jurusan / Fak. : D3 Teknik Elektro / FTI

Alamat kontak : Desa Mentak, Kertanegara, Kab. Pamekasan

a. Email : seilbul@gmail.com

b. Telp/HP : 0812 4947 4047

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perancangan Electroencephalograph sebagai Media Monitoring Sinyal Otak
Terintegrasi dengan Android

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Slawet Budiprayas, ST, MT,

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

Septian Maulana Hidayat



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERANCANGAN *ELECTROENCEPHALOGRAPH* SEBAGAI MEDIA *MONITORING* SINYAL OTAK TERINTEGRASI DENGAN *ANDROID*

Nama Mahasiswa : Raden Ajeng Mumtaz Sakinah
Nama Mahasiswa : Septian Maulana Hidayat
Dosen Pembimbing I : Slamet Budiprayitno, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Rusdhianto Effendie AK, MT.

ABSTRAK

Otak manusia mengeluarkan sinyal-sinyal biolistrik yang bersifat ritmik dan terus menerus. Untuk menangkap sinyal-sinyal yang dikeluarkan oleh otak diperlukan suatu alat yang disebut dengan *Electroencephalograph* (EEG). *Electroencephalograph* yang selanjutnya disebut EEG adalah alat yang digunakan untuk mengukur dan merekam aktivitas elektrik di lapisan terluar (*celebral cortex*) dari otak manusia. Seiring dengan perkembangan teknologi, sinyal otak tidak hanya digunakan untuk mendiagnosa penyakit yang berkaitan dengan otak dan kejiwaan pasien, melainkan telah banyak digunakan sebagai suatu sinyal control, sehingga dibutuhkan suatu EEG *portable*. Akan tetapi, harga dari EEG di pasaran relatif mahal yaitu sekitar 2 sampai 60 juta rupiah.

EEG yang kami buat, mampu menyadap sinyal otak manusia dengan menggunakan 3 buah sensor elektroda yang ditempelkan pada titik –titik tertentu di daerah kulit tempurung kepala. Metode penyadapan dilakukan dengan cara bipolar, yaitu membandingkan besarnya tegangan elektroda di titik positif dan titik negatif tubuh. Sinyal yang ditangkap oleh sensor, kemudian masuk ke rangkaian *amplifier* dan *filter*. Selanjutnya data akan dikirim ke sistem *Android* melalui *Bluetooth*. Sinyal otak yang telah disadap, nantinya akan ditampilkan pada *Android*.

Dengan adanya *electroencephalograph* (EEG) *portable* dengan harga yang murah ini, akan memberikan kemudahan dalam memonitoring sinyal otak seseorang.

Kata Kunci : *Android*, bipolar, *Bluetooth*, *celebral cortex*, elektroda, *electroencephalograph*, *portable*



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

***ELECTROENCEPHALOGRAPH DESIGN AS A SIGNAL
RECORDER BIOLISTRIK BRAIN INTEGRATED WITH
ANDROID***

Name : Raden Ajeng Mumtaz Sakinah
Name : Septian Maulana Hidayad
Advisor I : Slamet Budiprayitno. ST., MT.
Advisor II : Ir. Rusdhianto Effendie AK., MT.

ABSTRACT

Human brain release rhythmic and continuous biolistic signals.. To capture the signals secreted by the brain needed a tool called Electroencephalograph (EEG). Electroencephalograph hereinafter called EEG is an instrument used to measure and record electrical activity in the outermost layer (cerebral cortex) of the human brain. Along with technological development, the brain signals used not only to diagnose diseases related to brain and psychiatric patients, but has been widely used as a control signal, so it takes a portable EEG. However, the price of the EEG in the market is relatively expensive at around 2 to 60 million rupiah.

EEG that we made, capable of intercepting signals of the human brain by using 3 sensor electrodes attached to certain points on the skin area-point cranium. Tapping method is done by bipolar, which compares the magnitude of the voltage at the point of the positive electrode and the negative points of the body. Signals captured by the sensor, then go to the amplifier and filter circuit. Furthermore, the data will be sent to the Android system via Bluetooth. Brain signals that have been tapped, will be displayed on Android.

With the electroencephalograph (EEG) portable with low prices, will provide ease of monitoring a person's brain signals.

Keywords : *Android, bipolar, Bluetooth, cerebral cortex, electrode, electroencephalograph, portable*



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas limpahan rahmat dan kemudahan dariNya, hingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik, begitu pula dengan pembuatan buku tugas akhir ini.

Tugas akhir ini dilakukan untuk memenuhi beban satuan kredit semester (SKS) yang harus ditempuh sebagai persyaratan akademis di Jurusan D3 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma di Teknik Elektro dengan judul :

PERANCANGAN *ELECTROENCEPHALOGRAPH* SEBAGAI MEDIA *MONITORING* SINYAL OTAK TERINTEGRASI DENGAN *ANDROID*

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Slamet Budiprayitno. ST., MT. dan Ir. Rusdhianto Effendie AK.,MT., atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, **02 Juni 2016**

Penulis



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xii
KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Laporan	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Sinyal Otak	5
2.2 Sensor Elektroda.....	8
2.3 Desain Peletakan Elektroda	8
2.4 Penguat Diferensial.....	9
2.5 Rangkaian <i>Right Leg Driver</i> (RLD).....	10
2.6 Penguat <i>Non-inverting</i>	10
2.7 <i>Low Pass Filter</i>	11
2.8 Rangkaian <i>Zero-span</i>	12
2.9 Arduino Due	13
2.10 <i>Filter</i> Digital	15
2.11 <i>Bluetooth</i> HC-05.....	17
2.12 <i>Eclipse for Android</i>	17
BAB III PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE	19
3.1 Blok Diagram Sistem.....	19
3.2 Perancangan <i>Hardware Electroencephalograph</i>	20

3.2.1	Perancangan Peletakan Sensor Elektroda	20
3.2.2	Perancangan Penguat Diferensial	21
3.2.3	Perancangan Penguat <i>non-inverting</i>	23
3.2.4	Perancangan <i>Low Pass Filter</i> Analog	25
3.2.5	Perancangan <i>Zero-Span</i>	28
3.2.6	<i>Wiring Bluetooth</i> HC 05 dengan Arduino Due	29
3.3	Perancangan Software Electroencephaograph	31
3.3.1	Perancangan <i>Filter</i> Difgital	31
3.3.2	Perancangan Program Arduino	35
3.3.3	Perancangan Apikasi <i>Android</i>	38
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA		43
4.1	Pengujian Penguat Diferensial	43
4.2	Pengujian Penguat <i>Non-inverting</i>	48
4.3	Pengujian Rangkaian <i>Filter</i> Analog	56
4.4	Pengujian Rangkaian <i>Zero and Span</i>	61
4.5	Pengujian <i>Filter</i> Digital	63
4.6	Pengujian Range Jangkauan <i>Bluetooth</i> HC-05	67
4.7	Pengujian <i>Interface</i> di <i>Android</i>	68
4.8	Pengujian Rangkaian pada Objek	70
4.8.1	Pengujian Rangkaian dengan Pola Fpz-Fp2	70
4.8.2	Pengujian Rangkaian dengan Pola Cz-C4	72
4.8.3	Pengujian Rangkaian dengan Pola T5-P3	74
BAB V PENUTUP		77
DAFTAR PUSTAKA		79
LAMPIRAN A		81
A.1.	Listing Program pada Arduino	81
LAMPIRAN B		83
B.1.	DATASHEET AD620	83
B.2.	DARASHEETOP07	85
B.3	DATASHEET LF347	87
LAMPIRAN C		89
C.1.	PENUJIAN RANGKAIAN PENGUAT DIFERENSIAL	89
C.2.	PENGUJIAN FILTER ANALOG	94
C.3.	PENGUJIAN FILTER DIGITAL	100
C.4.	PENGUJIAN APLIKASI ANDROID	106
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		109

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Bagian – Bagian Otak Manusia	5
Gambar 2.2 Gelombang Sinyal Gamma	6
Gambar 2.3 Gelombang Sinyal Beta	6
Gambar 2.4 Gelombang Sinyal Alpha	7
Gambar 2.5 Gelombang Sinyal Theta.....	7
Gambar 2.6 Gelombang Sinyal Delta	7
Gambar 2.7 Sensor Elektroda	8
Gambar 2.8 Desain Peletakan Elektroda 10-20	9
Gambar 2.9 Rangkaian Penguat Diferensial.....	10
Gambar 2.10 Rangkaian Right Leg Driver	10
Gambar 2.11 Rangkaian Penguat <i>Non-inverting</i>	11
Gambar 2.12 Rangkaian Lowpas Filter Aktif Orde 2.....	12
Gambar 2.13 Rangkaian <i>Zero-Span</i>	13
Gambar 2.14 <i>Board Modul Arduino Due</i>	14
Gambar 2.15 Halaman Kerja pada <i>Eclipse Software</i>	18
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem	19
Gambar 3.2 Desain Peletakan Sensor Elektroda.....	20
Gambar 3.3 Rangkaian Penguat Diferensial	21
Gambar 3.4 Rangkaian Diferensial.....	22
Gambar 3.5 Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i>	23
Gambar 3.6 Rangkain Filter Analog Orde 9	27
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Zero-Span</i>	28
Gambar 3.8 Konfigurasi Pin Modul <i>Bluetooth HC-05</i>	30
Gambar 3.9 <i>Wiring Bluetooth HC 05</i> dengan <i>Arduino Due</i>	30
Gambar 3.10 Program Menghitung <i>Filter Digital</i> pada <i>Matlab</i>	32
Gambar 3.11 Tampilan Perhitungan pada <i>Command Window</i>	33
Gambar 3.12 Flowchart Sistem Kerja dari <i>Filter Digital</i>	35
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> Sistem Kerja <i>Arduino</i>	36
Gambar 3.14 <i>Listing</i> Program Inisialisasi Awal	37
Gambar 3.15 <i>Listing</i> Program Void Set up.....	37
Gambar 3.16 <i>Listing</i> Program <i>Void Loop</i>	38
Gambar 3.17 Flowchart Sistem Kerja Aplkasi <i>Android</i>	39
Gambar 3.18 Program <i>Android</i> untuk Desain <i>Splash Layout</i>	40

Gambar 3.19 (a) Tampilan Splash Layout pada <i>Android</i> (b) Tampilan <i>Main Bluetooth</i> pada <i>Android</i>	41
Gambar 3.20 Tampilan <i>Main Activity</i> pada <i>Android</i>	41
Gambar 4.1 Hasil Perancangan Keseluruhan Sistem	43
Gambar 4.2 Proses Pengujian Rangkaian Diferensial	44
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial Menggunakan <i>AVO Meter</i>	44
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial menggunakan <i>Oscilloscope</i>	44
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial	46
Gambar 4.6 Proses Pengujian Rangkaian Penguat Non-Inverting 11 kali	49
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> 11 Kali	49
Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian Penguat 11 Kali.....	51
Gambar 4.9 Proses Pengujian Rangkaian Penguat Non-Inverting 50 kali	52
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> 50 Kali	53
Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> 50 Kali	54
Gambar 4.12	57
Gambar 4.13 Hasil Pengujian <i>Lowpass Filter</i> Orde 9 Frekuensi Masukan 1 Hz	58
Gambar 4.14 Hasil Pengujian <i>Lowpass Filter</i> Orde 9 Frekuensi <i>Cut-Off</i>	58
Gambar 4.15 Hasil Pengujian <i>Lowpass Filter</i> Orde 9 Frekuensi Masukan Melebihi Frekuensi <i>Cut-Off</i>	59
Gambar 4.16 Grafik Respon Sinyal Rangkaian <i>Filter</i> Analog.....	60
Gambar 4.17 Proses Pengujian Rangkaian <i>Zero and Span</i>	61
Gambar 4.18 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Zero And Span</i> dengan Masukan Sinyal AC 1 Vp-P.....	62
Gambar 4.19 Proses Pengujian <i>Filter</i> Digital	63
Gambar 4.20 Hasil Pengujian <i>Filter</i> Digital dengan Frekuensi Masukan 16 Hz	64
Gambar 4.21 Hasil Pengujian <i>Filter</i> Digital Mencapai Frekuensi <i>Cut-Off</i>	64
Gambar 4.22 Hasil Pengujian <i>Filter</i> Digital Ketika Frekuensi Masukan Melebihi Frekuensi <i>Cut-Off</i>	65

Gambar 4.23 Grafik Respon <i>Filter Digital</i>	67
Gambar 4.24 Proses Pengujian Rangkaian	69
Gambar 4.25 Hasil Pengujian Aplikasi <i>Android</i> (a) dengan Masukan 2 Hz. (b) dengan Masukan 6 Hz, (c) dengan Masukan 20 Hz	69
Gambar 4.26 Peletakan Elektroda dengan Pola Fpz-Fp2-Ground	70
Gambar 4.27 (a) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2.....	71
Gambar 4.28 (a) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 2	72
Gambar 4.29 Peletakan Elektroda dengan Pola Cz-C4-Ground	72
Gambar 4.30 (a) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2.....	73
Gambar 4.31 (a) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 2	74
Gambar 4.32 Peletakan Elektroda dengan Pola T5-P3-Ground.....	75
Gambar 4.33 Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2.....	75
Gambar 4.34 (a) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di <i>Android</i> pada Objek 2	76



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Frekuensi dan Amplitudo Gelombang Otak	6
Tabel 2.2 <i>Transfer Function</i> Tipe <i>Butterworth</i>	16
Tabel 2.3 Transformasi Frekuensi <i>Filter</i> Analog.....	16
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial	45
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> Kali	11 50
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> Kali	50 53
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian Lowpass <i>Filter</i> Orde 9	59
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Zero and Span</i>	62
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Filter</i> Digital.....	65
Tabel 4.7 Pengujian Jarak <i>Bluetooth</i> HC-05 Tanpa Halangan	67
Tabel 4.8 Pengujian Jarak <i>Bluetooth</i> HC-05 dengan Halangan	68
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian dengan Pola Fpz-Fp2	71
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian dengan Pola Cz-C4	73
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian dengan Pola T5-P3.....	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Electroencephalograph (EEG) adalah alat perekam aktifitas listrik di lapisan terluar kulit kepala yang ditimbulkan oleh impuls-impuls neuron di dalam otak. Selain digunakan sebagai keperluan medis, hasil perekaman sinyal otak saat ini sudah banyak dimanfaatkan sebagai sinyal kontrol, seperti mengontrol lengan robot, mengontrol *drone*, mengontrol kursi roda, dan mengontrol suatu *game*. Sebelum memanfaatkan sinyal otak, terlebih dahulu harus bisa menampilkan dan menganalisa perubahan sinyal otak yang nantinya akan digunakan sebagai sinyal kontrol

Pada penelitian sebelumnya, yang berjudul Rancang Bangun *Electroencephalograph* (EEG) Sebagai Media *Monitoring* Dan Pendeteksi Sinyal Biolistrik Otak Yang Terintegrasi Dengan PC Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 masih memiliki error yang lumayan besar, yaitu sampai 8% error. Selain itu sinyal yang terekam ditampilkan melalui PC (harus terhubung dengan PC yang terintegrasi) [6].

Sania Marcellina Bryan dan Achmad Rizal dalam paper tugas akhirnya yang berjudul Pembuatan Aplikasi Penerima Data EEG Tiga Kanal, menyajikan analisis sinyal EEG tiga kanal dengan menggunakan software LabVIEW. Pada *software* ini akan menunjukkan hasil rekaman dan hasil sinyal setelah di *filter*. Berdasarkan pengolahan sinyal yang telah dilakukan maka akan menghasilkan sebuah aplikasi yang menampilkan klasifikasi sinyal pada personal computer (PC) yang terhubung dengan LED untuk mengidentifikasi sinyal yang lebih dominan pada saat perekaman.[3]

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sinyal otak hasil penyadapan akan ditampilkan di PC, sehingga penyadapan tidak bisa dilakukan dimanapun. Untuk itu diperlukan suatu EEG yang bersifat *portable* dan mudah dibawa. Namun harga EEG *portable* di pasaran relative mahal, yaitu sekitar 2 juta rupiah sampai 60 juta rupiah. Hal ini tidaklah murah, terutama di kalangan mahasiswa.

Pada tugas akhir ini, kami mendesain suatu *Electroencephalograph* (EEG) *portable* yang mudah dioperasikan dengan nilai *error* rendah, sehingga perekaman sinyal otak bisa dilakukan dimanapun dan kapanpun. Sinyal otak disadap dengan metode bipolar, yaitu menempelkan 3 buah elektroda pada titik tertentu di permukaan kepala. Kemudian masuk ke

rangkaian penguat diferensial yang menguatkan selisih tegangan antara titik positif dan titik negatif sampai level tegangan tertentu. Sinyal tersebut kemudian ditampilkan di *Android* melalui *Bluetooth*.

1.2 Permasalahan

Harga *Electroencephalograph* (EEG) relatif mahal yaitu sekitar 2 sampai 60 juta rupiah, padahal sinyal otak saat ini sudah banyak dikembangkan sebagai suatu sinyal kontrol untuk perintah dasar menggerakkan suatu *plant*. Untuk itu diperlukan suatu alat penyadap sinyal aktivitas otak yang bersifat *portable* dan hasil penyadapan sinyal mampu ditampilkan kedalam tampilan di *Android* dengan harga yang murah

1.3 Batasan Masalah

Metode pengambilan data mengacu pada 1 channel yang terdiri dari 3 buah sensor elektroda dengan sistem peletakan bipolar (menggunakan 3 sensor elektroda sebagai positif, negatif dan *ground*). Untuk titik peletakannya, yaitu diletakkan pada titik Fpz-Fp2-Ground, Cz-C4-Ground dan T5-P3-Ground. Pengiriman sinyal ke dalam *Android* yaitu melalui *Bluetooth* dengan jangkauan maksimal 30 meter. Sistem ini hanya dirancang untuk monitoring saja (melihat perubahan sinyal akibat aktivitas yang dilakukan).

1.4 Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah mendesain dan merealisasikan suatu penyadap sinyal otak dengan menggunakan 3 buah elektroda yang diletakkan pada titik-titik tertentu untuk kemudian ditampilkan kedalam *Android* melalui *Bluetooth*

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam pembuatan tugas akhir Perancangan *Electroencephalograph* sebagai Media *Monitoring* Sinyal Otak terintegrasi dengan *Android*, ada beberapa tahap kegiatan yaitu meliputi tahap persiapan (*study literature*), tahap perencanaan dan pembuatan alat, tahap pengujian dan analisa, serta penyusunan laporan

Pada tahap studi literatur akan dipelajari mengenai konsep dasar cara kerja alat *electroencephalograph*, mempelajari karakteristik sinyal aktivitas otak manusia, mempelajari karakteristik kerja sensor elektroda yang akan digunakan sebagai penangkap sinyal, mempelajari rangkaian

pengkondisi sinyal yang tepat agar sinyal otak yang terekam mampu dibaca oleh sistem, mempelajari sistem komunikasi antara hardware dengan *Android* via *Bluetooth*, mempelajari cara menampilkan sinyal aktivitas otak ke dalam suatu software pada *Android* dengan aplikasi *Eclipse for Android*.

Tahap perencanaan dan pembuatan alat meliputi perencanaan pembuatan hardware berupa rangkaian penguat diferensial dan *filter* analog yang nantinya terhubung dengan Arduino. Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan program pada arduino untuk bisa mengirim data ke *Android* dan juga pembuatan aplikasi *Android* agar bisa membaca data dari arduino yang nantinya di tampilkan dalam bentuk grafik

Setelah itu dilakukan pengujian alat, menganalisa kesalahan atau kegagalan pada alat dan mengatasi permasalahan tersebut. Tahapan ini dilakukan dengan melakukan pengujian sensor, pengujian data ADC , pengujian komunikasi *bluetooth* antara arduino dengan *Android*, pengujian *interface* aplikasi *Android*. Data hasil pengujian tersebut akan dianalisa kemudian mencari tahu faktor apa saja yang menyebabkan alat tidak bekerja sesuai dengan keinginan atau terjadi error. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan penelitian.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

Bab II Teori Dasar

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang meliputi konsep kerja sensor elektroda, konsep rangkaian pengkondisi sinyal yang berupa *amplifier* dan *filter* baik analog maupun digital serta sistem monitoring dengan *Android*

Bab III Perancangan Sistem

Bab ini membahas mengenai desain perancangan *electroencephalograph* baik rangkaian hardware maupun software yang digunakan

Bab IV Simulasi, Implementasi dan Analisis Sistem

Bab ini memuat hasil simulasi dan implementasi serta analisis dari hasil tersebut.

Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

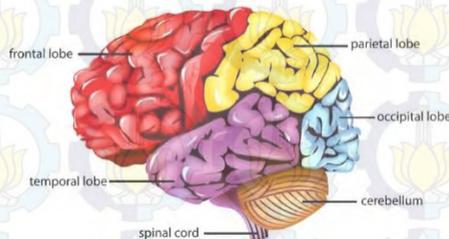
1.7 Relevansi

Diharapkan dengan tugas akhir ini dapat memberikan sumbangsih pemikiran, mengetahui jenis sinyal otak berdasarkan keadaan serta sinyal yang tepat sebagai sinyal kontrol dan menekan mahalnya biaya dalam perekaman sinyal aktifitas otak

BAB II TEORI DASAR

2.1 Sinyal Otak

Otak tertutup oleh tempurung kepala yang dilindungi langsung oleh tulang tengkorak. Tempurung kepala ditutupi oleh kulit yang tipis, yang disebut *scalp* (kulit kepala). Otak yang terletak langsung di bawah tulang tempurung kepala adalah *cerebral cortex* (kulit otak yang tersusun dari sel syaraf). Aktifitas pada otak adalah salah satu dari sekian banyak bentuk fenomena bioelektrik dalam tubuh manusia. Fenomena ini terjadi pada bagian dalam dan bagian terluar dari otak sehingga sinyal ini bisa dideteksi di kulit kepala. Otak manusia terdiri dari beberapa bagian yaitu frontal lobe, parietal lobe, occipital lobe, dan temporal lobe seperti pada Gambar 2.1 di bawah ini. Masing – masing bagian otak tersebut memiliki peran yang berbeda, sehingga sinyal yang diperolehpun berbeda.



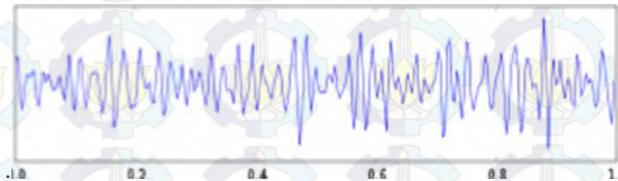
Gambar 2.1 Bagian – Bagian Otak Manusia [9]

Informasi pancaindra disampaikan dari luar melalui pusat bawah otak, dan kemudian informasi tersebut dikirimkan ke berbagai lokasi lapisan otak. Selama lapisan otak tetap di bawah tempurung kepala, elektroda yang ditempatkan dimana saja di atas kulit kepala, masih mampu mendeteksi aktivitas listrik. Ketika sedang berpikir maupun sedang bersantai, otak akan menghasikan sinyal-sinyal listrik dengan besar frekuensi yang berbeda. Sinyal itu dihasilkan oleh sel-sel yang jumlahnya sekitar 100 miliar di dalam otak kita. Sinyal otak manusia memiliki rentang frekuensi bervariasi antara 0-100 Hz yang kemudian digolongkan menjadi gelombang delta, theta, beta, alpha dan gamma. Setiap gelombang memiliki frekuensi dan ampitudo yang berbeda, sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Frekuensi dan Amplitudo Gelombang Otak [11]

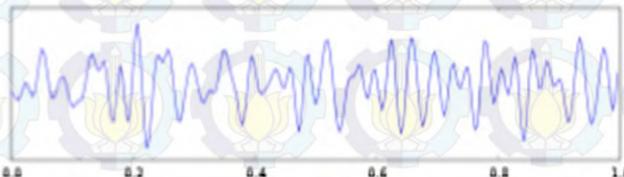
Rhythm	Freq (Hz)	Amp (μV)
Gamma	30-100	10
Beta	13-30	5-10
Alpha	8-13	20-200
Theta	4-8	10
Delta	1-4	20-200

. Bentuk gelombang Gamma pada Gambar 2.2 memiliki frekuensi gelombang antara 30 – 100 Hz dengan amplitudo sekitar $10\mu\text{V}$. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang sedang mengalami aktivitas mental yang sangat tinggi seperti ketakutan, sangat panik, tampil di muka umum dan sebagainya



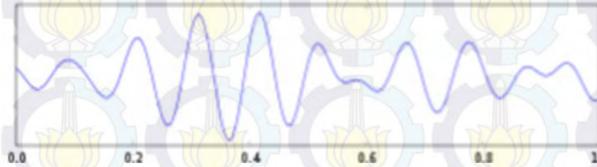
Gambar 2.2 Gelombang Sinyal Gamma [9]

Gambar 2.3 merupakan gelombang Beta yang umumnya memiliki frekuensi gelombang antara 13 – 30 Hz dengan amplitudo tegangan bernilai antara 5-10 μV . Gelombang Beta terjadi pada seseorang yang sedang berpikir dan memperhatikan rangsangan (*stimuli*) dari luar



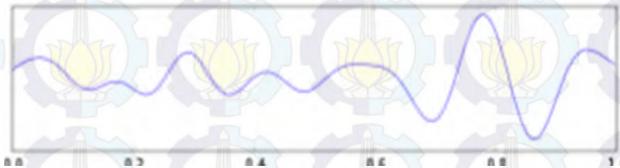
Gambar 2.3 Gelombang Sinyal Beta [9]

Gambar 2.4 merupakan gelombang Alpha yang memiliki frekuensi antara 8 – 13 Hz dengan amplitudo tegangan mencapai 20-200 μ V. Secara umum, gelombang Alpha merupakan bentuk gelombang EEG yang mencolok dari remaja yang terbangun dan rileks dengan mata tertutup. Setiap lokasi dari otak memiliki karakteristik gelombang Alpha, tetapi amplitudo terbesar hanya terekam pada lokasi *occipital* dan *parietal*. Secara umum amplitudo gelombang Alpha berkurang saat membuka mata dan memperhatikan rangsangan dari luar.



Gambar 2.4 Gelombang Sinyal Alpha [9]

Bentuk gelombang Theta yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 memiliki frekuensi gelombang antara 4 – 8 Hz dengan amplitude tegangan mencapai 10 μ V. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang sedang tidur ringan atau mengantuk.



Gambar 2.5 Gelombang Sinyal Theta [9]

Gelombang Delta memiliki frekuensi dibawah 4 Hz dengan amplitude tegangan mencapai 20-200 μ V. Gelombang ini dihasilkan ketika seseorang tertidur lelap, tanpa mimpi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6



Gambar 2.6 Gelombang Sinyal Delta [9]

2.2 Sensor Elektroda

Sensor elektroda merupakan sensor yang digunakan untuk menyadap sinyal biolistrik otak. Sensor ini terbuat dari bahan Ag | AgCl yang dilengkapi dengan pasta elektrolit sebagai konduktor sekaligus perekat antara elektroda dengan kulit. Penyadapan sinyal otak dilakukan dengan cara meletakkan elektroda-elektroda (*skin surface Elektrode*) pada kulit kepala (*scalp*) dengan mengikuti standar peletakan elektroda yang telah ditentukan. Karena elektroda harus benar-benar menempel di kulit kepala, pasien diberi semacam jelly konduktor terlebih dahulu untuk memperkuat penempelan sensor elektroda. Elektroda yang menggunakan jelly dan banyak beredar di pasaran disebut *floating electrode*. [4]. Gambar 2.7 merupakan jenis sensor elektroda yang hanya bisa digunakan satu kali saja (bersifat *disposable*)

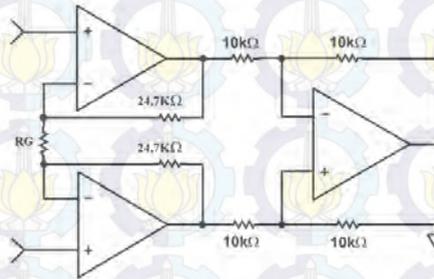


Gambar 2.7 Sensor Elektroda

2.3 Desain Peletakan Elektroda

Posisi peletakan elektroda disesuaikan dengan lokasi otak yang terletak di bawah kulit kepala. Dalam metode bipolar, tiga sensor elektroda diletakkan pada 3 titik yang berbeda yaitu sebagai titik positif, negatif, dan ground. Ground disini sebagai titik referensi yang terletak di belakang daun telinga. Peletakan elektroda sebagai titik positif dan negatif mengacu pada aturan 10-20 seperti pada Gambar 2.8. Berdasarkan sinyal-sinyal perekaman yang diperoleh dari dua puluh macam peletakan elektroda, dapat dianalisa beberapa hal. Berdasarkan kerapatannya, gelombang Alpha didapatkan dari 10 titik peletakan yaitu pada titik Fpz-Fp2, Fpz-Fp1, Fz-F8, Fz-F5, Cz-T3, Cz-C4, Cz-C3, Pz-P4, F7-F3, dan T6-P4. Berdasarkan kerapatannya, gelombang Beta didapatkan dari 12 titik yaitu pada peletakan di titik Fpz-Fp2, Fz-F8, Fz-F4, Cz-T4, Cz-T3, Cz-C4, Cz-C3, Pz-P4, Oz-O2, Oz-O1, T6-P4, dan T5-P3. Untuk bentuk gelombang yang mendekati gelombang Theta, didapatkan di 2 titik yaitu Oz-O2 dan T5-P3. [8]

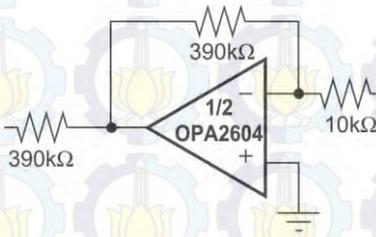
Penguat diferensial akan menguatkan selisih tegangan yang terjadi pada kedua titik masukan, yaitu masukan positif dan negatif.



Gambar 2.9 Rangkaian Penguat Diferensial [8]

2.5 Rangkaian *Right Leg Driver* (RLD)[7]

Sensor elektroda menyadap sinyal dengan tegangan yang sangat kecil dari otak, padahal tubuh juga berperan sebagai antena yang menerima interferensi dari mana saja. Interferensi ini membuat sinyal otak sulit untuk diukur. Rangkaian *Right Leg Driver* seperti Gambar 2.10 ditambahkan setelah rangkaian *penguat* diferensial untuk mengurangi interferensi common mode. *Right Leg Driver* mampu mengeliminasi *noise* interferensi secara aktif (selain dengan *notch filter* untuk interferensi jala-jala).

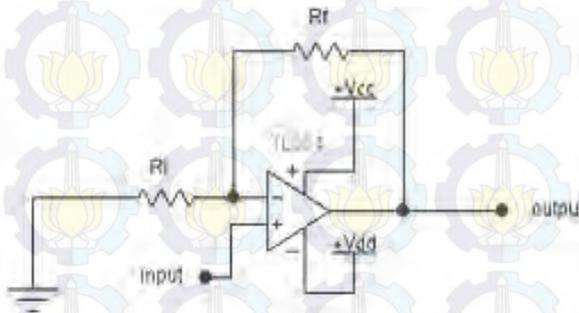


Gambar 2.10 Rangkaian Right Leg Driver [7]

2.6 Penguat *Non-inverting*

Penguat tak-membalik (*Non-Inverting*) merupakan penguat sinyal dengan karakteristik sinyal keluaran yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal masukan. Pada Gambar 2.11 penguat tak-membalik (*non-inverting*) dibangun menggunakan penguat operasional, karena

penguat operasional memang didesain untuk penguat sinyal membalik ataupun tak-membalik.



Gambar 2.11 Rangkaian Penguat *Non-inverting* [14]

Rangkaian ini memiliki masukan yang dibuat melalui kaki *non-inverting*, sehingga tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan masukannya. Besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat tak-membalik tergantung pada harga R_i dan R_f yang dipasang. [14]. Untuk menentukan tegangan keluaran dari penguat maka digunakan persamaan (1). Sedangkan untuk besarnya penguatan yaitu sesuai persamaan (2)

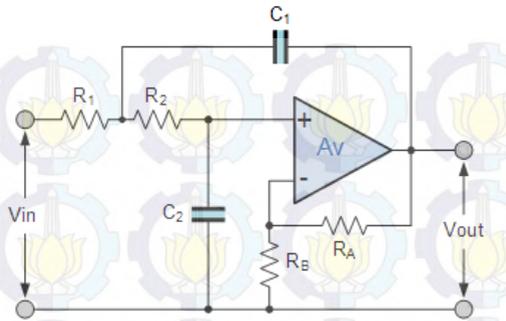
$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right) V_{in} \quad (1)$$

$$G = \left(\frac{R_f}{R_i} \right) + 1 \quad (2)$$

2.7 Low Pass Filter [8]

Low Pass Filter (LPF) seperti Gambar 2.12 adalah filter yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c) dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* (f_c). Untuk menentukan besarnya frekuensi *cut-off*, digunakan persamaan (3) yaitu,

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$



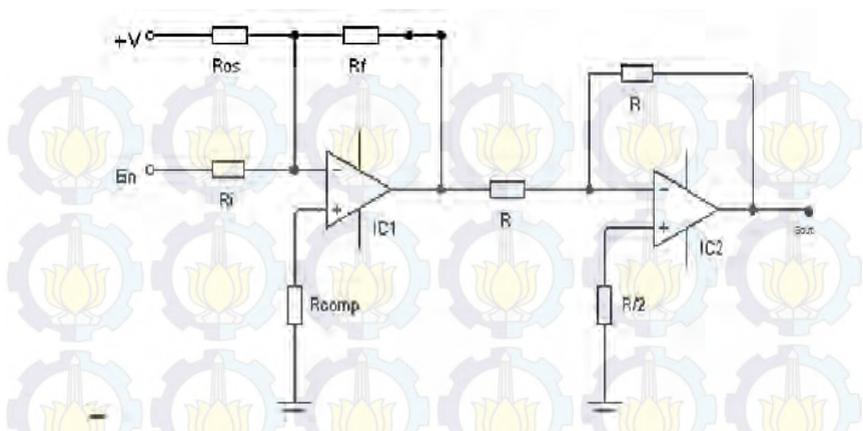
Gambar 2.12 Rangkaian Lowpas Filter Aktif Orde 2 [8]

Rangkaian LPF memiliki beberapa karakteristik mendasar, yaitu saat frekuensi sinyal masukan lebih rendah dari frekuensi *cut-off* ($f_{in} < f_c$) maka penguatan tegangan / *gain* (G) = 1 atau $G = 0$ dB. Pada saat frekuensi sinyal masukan sama dengan frekuensi *cut-off* ($f_{in} = f_c$) maka $\omega = 1/RC$ sehingga penguatan tegangan menjadi -3 dB atau terjadi pelemahan tegangan sebesar 3 dB. Ketika frekuensi sinyal masukan lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* ($f_{in} > f_c$) maka besarnya penguatan tegangan = $1/\omega RC$ atau $G = -20 \log \omega RC$.

2.8 Rangkaian Zero-span

Zero-span merupakan sinyal *conditioning* yang terdiri dari dua buah *Op-Amp* dimana *Op-Amp* yang pertama berfungsi untuk mengenolkan *input* minimum, sedangkan *Op-Amp* kedua berfungsi untuk menguatkan *input* maksimum. Fungsi *zero-span* untuk mengkondisikan sinyal keluaran dari sensor, sehingga *zero-span* memperkuat sinyal agar bisa di baca ADC pada pemrosesan sinyal.

Konsep *zero-span* dapat direalisasikan dengan penguat *inverting – summer*. Penguat ini mempunyai 2 buah *input*, yaitu E_{in} diberikan pada *input* inverter disambung seri dengan R_i , sebuah tahanan potensiometer, agar gain dapat diatur dengan mudah. Tegangan referensi atau pengatur *zero*, diberikan dari tegangan, yang disambung seri dengan R_o , sebuah potensiometer pengatur *zero-offset*, dengan *gain*. [14] Rangkaian *zero-span* dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Rangkaian *Zero-Span* [14]

2.9 Arduino Due [12]

Arduino adalah papan rangkaian elektronik yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca data masukan, memproses data tersebut dan kemudian menghasilkan keluaran sesuai yang diinginkan. Arduino Due merupakan salah satu jenis Arduino. Arduino Due pada Gambar 2.14 memiliki pin masukan atau keluaran digital sebanyak 54 pin, 12 di antaranya untuk PWM, 12 pin masukan analog, 4 UART / *hardware serial port*, pencacah waktu (*clock*) berfrekuensi 84 MHz, koneksi dengan USB OTG, 2 DAC (*digital to analog converter*), 2 TWI (*Two Wire Interface*), *jack* catu daya standar (5,5/2,1mm), konektor SPI *header*, konektor JTAG *header*, tombol *reset*, dan sebuah tombol hapus (*erase button*).



Gambar 2.14 Board Modul Arduino Due [12]

Kelebihan utama Arduino Due dibanding jenis Arduino lainnya terletak pada penggunaan CPU ARM Cortex-M3 yang memiliki fitur :

- a. *Core processor32-bit* yang memungkinkan operasi data sebanyak byte sekaligus pada satu siklus waktu.
- b. Jauh lebih cepat dengan frekuensi clock sebesar 84 MHz
- c. RAM statis sebesar 96 KiloByte (48 kali lebih besar dibanding Arduino Uno, 12 kali lebih besar dibanding Arduino Mega 2560)
- d. Ruang untuk kode program (*Flash Memory*) sebesar 512 KB (16 kali lebih besar dibanding Arduino Uno, 2 kali lebih besar dibanding Arduino Mega 2560).
- e. Terdapat pengendali akses memori langsung (*Direct Memory Access / DMA controller*) yang dapat membebaskan CPU dari operasi memori yang intensif.
- f. Terdapat dua *port DAC (Digital Analog Converter)* yang tidak dimiliki oleh Arduino lainnya
- g. Resolusi ADC yang lebih presisi hingga 12-bit sebanyak 12 kanal
- h. Semuapin I/O dapat difungsikan sebagai *hardware external interrupt trigger*.

Sumber catu daya dapat diambil dari port USB atau catu daya eksternal antara 6 Volt sampai 16 Volt DC (direkomendasikan antara 7 VDC sampai 12 VDC). Untuk membuat program, dapat menggunakan Arduino IDE versi 1.5x yang dapat diunduh secara gratis dari website resmi Arduino.

2.10 Filter Digital [7]

Berdasarkan sinyal yang diproses, *filter* dibagi menjadi dua, yaitu *filter* analog dan *filter* digital. Secara umum, *filter* digital adalah sama dengan *filter* analog, hanya saja sinyal masukan dan sinyal keluarannya adalah sinyal digital. Oleh karena itu, komponen-komponen *filter* digital tidak terdiri dari R, L, C atau gabungannya, tetapi terdiri dari penjumlah (*adder*), pengali (*multiplier*), dan elemen tunda (*delay element*) atau gabungannya. Secara garis besar, ada dua macam *filter* digital, yaitu *filter* IIR (*Infinite Impulse Response*) dan *filter* FIR (*Finite Impulse Response*). *Filter* FIR adalah sistem yang murni umpan maju (*feedforward*), stabil, strukturnya sederhana dan fasenya linier. Sedangkan *filter* IIR dapat berupa sistem umpan maju atau umpan balik (*feedback*). Tidak seperti FIR, *filter* IIR mempunyai fase yang tidak linier dan mempunyai potensi untuk tidak stabil. Kelebihan IIR adalah pelemahan (*attenuation*) yang tinggi untuk orde yang lebih rendah, bila dibanding dengan FIR.

Filter IIR (*Infinite Impulse Response Filter*) Suatu *filter* IIR adalah sistem yang mempunyai tanggapan terhadap impuls satuan (*unit impulse*) dengan panjang tak terhingga. Dengan kata lain, ketika *filter* tersebut diberi masukan berupa impuls (*impulse*), keluarannya terus ada sampai waktu mendekati tak hingga. Secara umum, perancangan *filter* IIR dengan metode ini terdiri dari enam tahap

Tahap pertama adalah tahap penetapan spesifikasi *filter* digital. Penetapan yang dimaksud meliputi penetapan tipe *filter* (*lowpass*, *highpass* dan sebagainya), penetapan frekuensi *cut-off*, penetapan frekuensi cuplik, penetapan kemiringan transition band, toleransi *passband* dan toleransi *stopband*. Tahap kedua adalah tahap penghitungan frekuensi hasil prewarping. Akan tetapi, hal ini khusus bila menggunakan transformasi bilinear dalam mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Bila menggunakan transformasi lain, tahap ini tidak perlu dilaksanakan.

Tahap ketiga adalah perancangan *prototype filter* analog. Pada tahap ini dipilih pendekatan *filter* analog yang akan dipakai, misalnya *Butterworth*, *Chebyshev*, *Elliptic* atau *Bessel*. Dengan beberapa pertimbangan, yang akan dibahas di buku ini hanya pendekatan *Butterworth* saja. Setelah orde *filter prototype* diketahui, akan didapatkan *transfer function* untuk *filter* tersebut sesuai pendekatan yang dipilih. Adapun *transfer function* untuk *filter prototype* tipe *Butterworth* pada beberapa orde dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Transfer Function Tipe Butterworth[7]

Orde	Transfer Function <i>Filter</i> Prototype
1	$\frac{1}{s + 1}$
2	$\frac{1}{s^2 + 1.414s + 1}$
3	$\frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$
4	$\frac{1}{s^4 + 2.6131s^3 + 3.414s^2 + 2.6131s + 1}$

Tahap keempat adalah tahap transformasi frekuensi, dari *filter prototype* ke *filter* yang dikehendaki. *Filter prototype* adalah *filter* lowpass dengan frekuensi *cut-off* 1 radian/detik. Untuk mengubah *filter* dari *filter* prototype ke *filter* yang akan dibuat, maka harus berdasarkan rumus transformasi *filter*. Rumus transformasi frekuensi dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut

Tabel 2.3 Transformasi Frekuensi *Filter* Analog [7]

Prototype orde n	Trnsformasi frekuensi	Orde
Lowpass ke lowpass	$s = \frac{s}{\omega_0}$	n
Lowpass ke highpass	$s = \frac{\omega_0}{s}$	n
Lowpass ke bandpass	$s = \frac{s^2 + \omega_1\omega_2}{s(\omega_2 - \omega_1)}$	2n
Lowpass ke bandpass	$s = \frac{s(\omega_2 - \omega_1)}{s^2 + \omega_1\omega_2}$	2n

Tahap kelima yaitu tahap transformasi domain s ke domain z, dalam hal ini penerapan transformasi *Bilinear*. Sebenarnya ada metode lain yang

dapat dipakai pada tahap ini, seperti *Impulse Invariance* dan *Matched-Z Transformation*.

2.11 Bluetooth HC-05 [10]

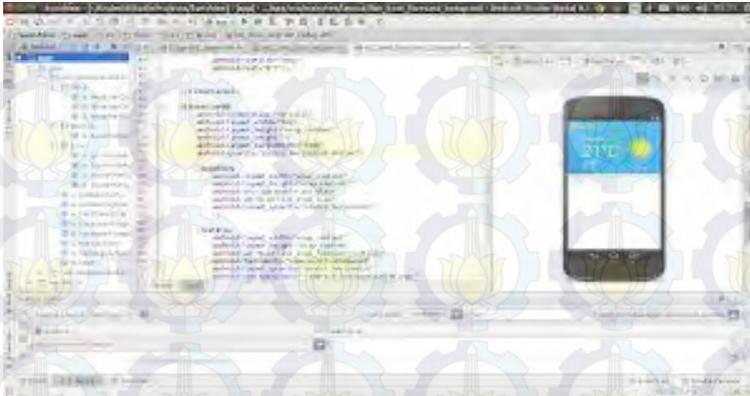
Modul *bluetooth* seri HC terbagi menjadi dua, jenis *industrial series* yang terdiri dari HC-03 dan HC-04 serta jenis *civil series* yaitu HC-05 dan HC-06. Modul *bluetooth* HC-05 merupakan modul *bluetooth* siap pakai untuk membuat *embedded project* yang memiliki kemampuan SPP (*Serial Port Protocol*) sehingga mudah digunakan untuk *wireless communication*. Modul *bluetooth* ini memiliki 2 mode operasi yaitu mode eksekusi manual yang akan merespon saat diperintahkan untuk terkoneksi dengan perangkat lain, serta mode koneksi otomatis yang akan bekerja ketika catu daya diaktifkan dan akan terkoneksi dengan perangkat *bluetooth* lain untuk berkomunikasi.

Spesifikasi dari modul *bluetooth* HC05 antara lain:

- a. *Wireless transceiver*, dengan sensitifitas (bit errorrate) sampai -80 dBm dan perubahan daya keluaran berkisar antara -4 dBm ampai +6 dBm.
- b. Memiliki sebuah modul EDR, dengan perubahan modulasi 2 Mbps – 3 Mbps.
- c. Frekuensi 2,4 GHz tanpa menggunakan antena.
- d. Memiliki *flash* sebesar 8 Mbit
- e. Tegangan kerja 3,1 V – 4,2 V, dengan arus pada saat *pairing* sebesar 30 mA – 40 mA.
- f. Arus pada saat komunikasi sebesar 8 mA.
- g. Memiliki port HCI standar UART atau USB
- h. Suhu operasi dari *bluetooth* antar -25°C sampai +75°C.
- i. Gelombang interferensi sebesar 2,4 GHz dengan *power emitting* sebesar 3 dBm.

2.12 Eclipse for Android

Eclipse adalah sebuah IDE (*Integrated Development Environment*) untuk mengembangkan perangkat lunak yang dapat dijalankan di semua platform (*platform-independent*). *Eclipse* umumnya dipergunakan untuk pembuatan *project* berbasis *embedded system* dan *mobile* seperti *Android*, *Nokia* atau *Blackberry*. Lingkungan kerja *Eclipse* atau biasa disebut *workspace* pada Gambar 2.15 meliputi area-area standart seperti direktori kerja atau *project explorer*, menu atau *toolbar*, area editor, dan juga *console debugging*. [15]



Gambar 2.15 Halaman Kerja pada *Eclipse Software*

Untuk mengembangkan sebuah aplikasi *Android*, seorang *Android Developer* membutuhkan beberapa perangkat berikut :

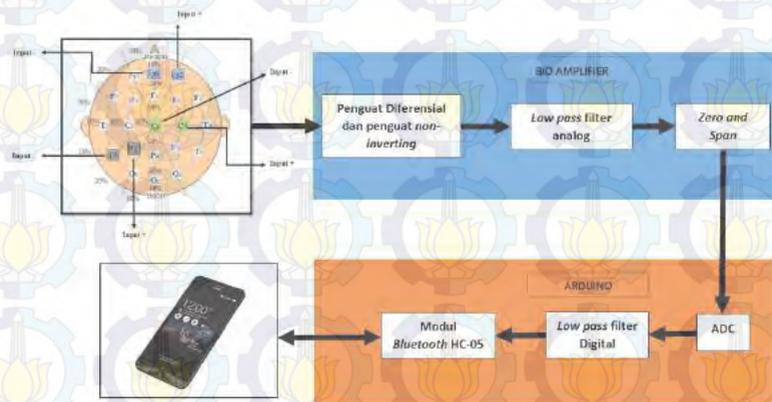
- a. IDE (*Integrated Development Environment*), yaitu berupa *Eclipse*
- b. *JDK. Java Development Kit*
- c. *Android SDK*
- d. *ADT Plug-in* untuk *Eclipse*

BAB III

PERANCANGAN *HARDWARE* DAN *SOFTWARE*

Tahap Perancangan *Electroencephalograph* sebagai Media *Monitoring* Sinyal Otak terintegrasi dengan *Android* terbagi menjadi dua bagian yaitu perancangan *hardware* yang meliputi metode peletakan sensor elektroda, perancangan penguat, perancangan *filter* analog, perancangan *zero-span* serta perancangan *software* yang meliputi perancangan program *filter* digital IIR pada *arduino*, dan perancangan aplikasi *Android* untuk menampilkan gelombang sinyal otak. Rangkaian penguat dan *filter* analog dirancang untuk bisa mengolah sinyal otak agar memiliki rentang amplitudo antara milivolt sampai volt yang selanjutnya akan dikonversi ke sinyal digital menggunakan ADC. Kedua sistem tersebut diatas dirancang kedalam satu algoritma pemrograman pada modul *arduino* yang kemudian data digital ini akan ditransfer ke *Android* melalui komunikasi serial menggunakan *bluetooth*.

3.1 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Dari Gambar 3.1 di atas dapat diketahui cara kerja sistem, yaitu sinyal otak akan dikuatkan dan dihilangkan *nois*nya pada *hardware Electroencephalograph* (terdiri dari rangkaian penguat diferensial, penguat *non-inverting*, dan *lowpass filter* analog) kemudian sinyal dari *hardware Electroencephalograph* akan dikonversi ke sinyal digital

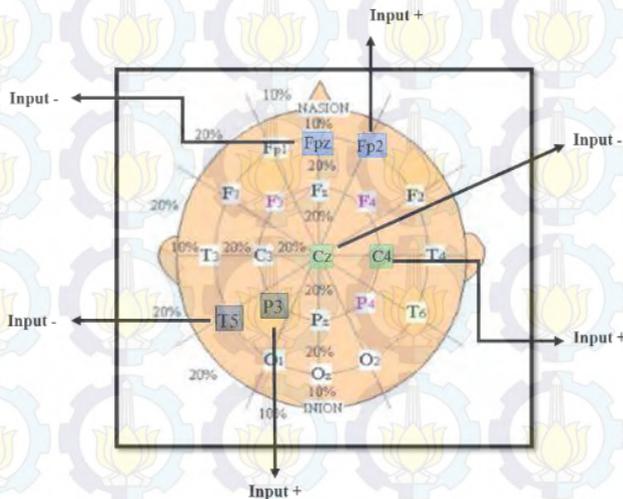
menggunakan internal ADC Arduino. Data digital ini kemudian diolah untuk difilter digital yang kemudian ditransfer ke *Android* melalui komunikasi serial menggunakan *bluetooth*.

3.2 Perancangan *Hardware Electroencephalograph*

Sinyal yang ditangkap oleh elektroda sangat kecil. Untuk menampilkan sinyal tersebut dibutuhkan penguatan yang sangat besar. Amplitudo gelombang otak pada kulit kepala berkisar 0,5 sampai 200 μV dan sangat mudah terganggu sinyal *noise* sehingga diperlukan suatu penguat dan *filter* yang dapat menguatkan sinyal serta dapat meredam *noise* sehingga didapat sinyal otak yang diinginkan.

3.2.1 Perancangan Peletakan Sensor Elektroda

Untuk dapat menangkap sinyal otak yang terdapat pada kulit tempurung kepala maka dibutuhkan sensor elektroda jenis AgCl yang ditempelkan pada kulit kepala. Perancangan pada alat ini menggunakan tiga buah sensor elektroda kulit jenis AgCl, elektroda dilekatkan pada titik Fpz-Fp2-Ground, Cz-C4-Ground dan T5-P3-Ground. Keluaran dari ketiga elektroda tersebut dimasukkan ke kaki penguat diferensial AD620. Gambar 3.2 menjelaskan desain peletakan sensor elektroda pada kulit kepala.

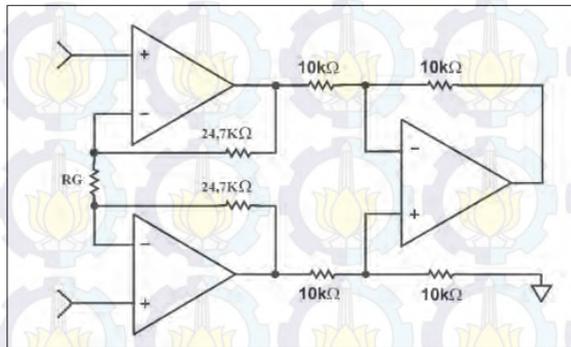


Gambar 3.2 Desain Peletakan Sensor Elektroda

Menurut International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Gelombang sinyal Alpha biasanya dapat diamati dengan baik di daerah posterior dan oksipital dengan amplitudo khas sekitar $50 \mu\text{V}$ (peak-peak). Gelombang sinyal Alpha juga lebih dominan (signifikan) pada daerah antara posterior dan daerah pusat dibandingkan dengan daerah lain. Berdasarkan hal tersebut, kami memilih titik Fpz-Fp2-Ground, dan Cz-C4-Ground dengan harapan mampu menyadap sinyal Alpha. Sedangkan titik T5-P3-Ground, berdasarkan pola penempatan 10-20, lebih dominan terhadap sinyal Theta dan Beta.

3.2.2 Perancangan Penguat Diferensial

Rangkaian penguat diferensial merupakan penguat awal, sehingga penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian ini tidak boleh terlalu besar. Hal ini bertujuan agar sinyal *noise* tidak ikut dikuatkan dan untuk menghindari arus *offset* yang menyebabkan polarisasi pada elektroda, sehingga menghasilkan *overpotential* dan menimbulkan tegangan *offset* dc (*direct current*) yang besar pada masukan *op-amp*.



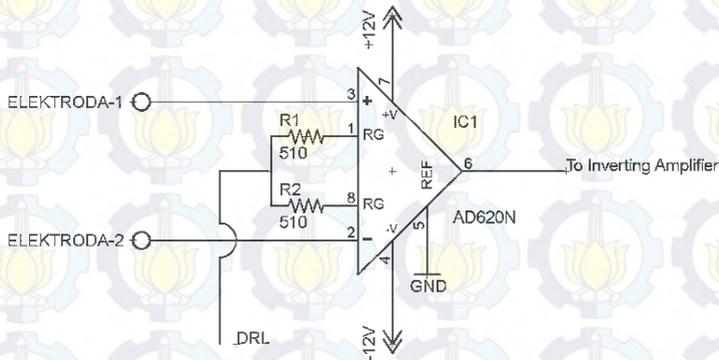
Gambar 3.3 Rangkaian Penguat Diferensial

IC yang digunakan sebagai penguat diferensial adalah IC AD620. Konfigurasi rangkaian penguat seperti Gambar 3.3 disebut rangkaian penguat diferensial. Dalam IC AD620 terdapat penguat tak pembalik (*Non Inverting Amplifier*) dan penguat diferensial (*Differential Amplifier*) yang dibangun menggunakan 3 IC OP07. Dalam konfigurasi rangkaian, ini merupakan penguat tertutup dengan sinyal masukan diferensial yang

mempunyai CMRR yang tinggi dan berguna untuk mereduksi interferensi masukan untuk rangkaian ini. Dengan menggunakan rangkaian penguat diferensial ini beda tegangan dari kedua masukan akan dikuatkan.

Pada Gambar 3.3 di atas, penguatan dari rangkaian instrumentasi ini di tentukan oleh besarnya nilai Rg. Besar penguatan dari rangkaian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$G = \frac{49,4}{R_g} + 1 \quad (4)$$



Gambar 3.4 Rangkaian Diferensial

Gambar 3.4 di atas merupakan rangkaian penguat diferensial yang digunakan dalam tugas akhir ini. Resistor *gain* dari rangkaian ini merupakan hasil penjumlahan dari resistor R1 dan R2, yaitu:

$$R_g = R_1 + R_2$$

$$R_g = 500 \Omega$$

$$R_g = 1 \text{ K}\Omega$$

Sedangkan *gain* pada rangkaian ini sesuai dengan persamaan (4) adalah :

$$G = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{R_g} + 1$$

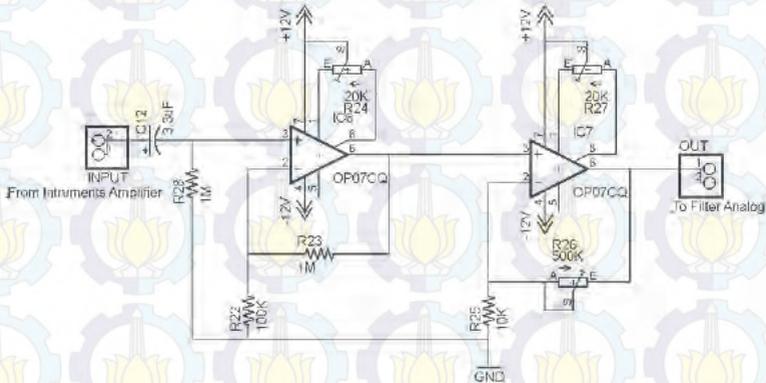
$$G = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{1 \text{ K}\Omega} + 1$$

$$G = 50,4 \text{ kali}$$

Pada bagian ini sinyal akan dikuatkan sebanyak 50,4 kali. Tujuan dari sinyal yang hanya dikuatkan sebanyak 50,4 kali adalah untuk menghindari *noise* yang bisa ikut dikuatkan juga. Bila sinyal langsung dikuatkan dengan penguatan yang besar maka *noise* akan ikut dikuatkan dalam penguatan yang besar pula. Hal ini akan mengganggu sinyal EEG yang asli yang akan direkam.

3.2.3 Perancangan Penguat *non-inverting*

Pada Perancangan ini, penguat *non-inverting* berfungsi sebagai penguat sinyal tingkat kedua. Ini bertujuan untuk mengurangi *error* yang akan terjadi jika penguatan dibebankan hanya kepada rangkaian penguat diferensial dan *filter* saja.



Gambar 3.5 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

Pada Gambar 3.5 rangkaian penguat *non-inverting* ini digandeng dengan rangkaian kopling AC yang berfungsi untuk menghilangkan *offset* DC yang merupakan hasil keluaran dari rangkaian penguat diferensial. Kemudian untuk lebih memperbesar sinyal keluaran digunakan satu buah penguat *non-inverting* lagi. Penguatan dilakukan secara bertahap karena dikhawatirkan *noise* akan ikut dikuatkan juga. Kedua rangkaian penguat *non-inverting* pada Gambar 3.6 di atas masing masing memiliki besar penguatan 11kali dan 50 kali. Untuk kopling DC, frekuensi yang dilewatkan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (5):

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R_1 C_1} \quad (5)$$

Pada perancangan ini digunakan kapasitor dengan nilai $C_1 = 3,3\mu\text{F}$ dan resistor dengan nilai $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$. Dengan demikian frekuensi yang dilewat dapat dicari menggunakan persamaan (5) diatas, yaitu :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R_1 C_1}$$

$$f_c = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 10^6 \times 3,3 \times 10^{-6})}$$

$$f_c = \frac{1}{(6,28 \times 3,3)}$$

$$f_c = \frac{1}{(20,724)}$$

$f_c = 0,048 \text{ Hz}$ dibulatkan menjadi $0,05 \text{ Hz}$

Untuk rangkaian *non-inverting*, besar penguatan yaitu sebesar 50 kali dan 11 kali. Dengan menggunakan persamaan (2) :

Untuk penguatan 50 kali :

$$G = \left[\frac{R_f}{R_i} \right] + 1$$

$$G = \left[\frac{R_3}{R_2} \right] + 1$$

$$G = \left[\frac{490\text{K}}{10\text{K}} \right] + 1$$

$G = 50$ kali

Untuk penguatan 11 kali :

$$G = \left[\frac{R_3}{R_2} \right] + 1$$

$$G = \left[\frac{1M}{100K} \right] + 1$$

$$G = 11 \text{ kali}$$

3.2.4 Perancangan *Low Pass Filter Analog*

Pada perancangan tugas akhir ini, *low pass filter* digunakan untuk meredam masukan yang memiliki frekuensi diatas frekuensi *cut off*, artinya membatasi jangkauan frekuensi pada sinyal masukan sehingga sinyal keluaran hanya berada pada frekuensi di bawah frekuensi *cut off* saja. Dengan demikian sinyal-sinyal frekuensi tinggi yang masih mempengaruhi sinyal masukan akan di redam.

Rangkaian pada Gambar 3.6 merupakan rangkaian *low pass filter* yang terdiri dari 3 buah *filter Butterworth low pass filter* orde 3. Dalam perancangan *Electroencephalograph* ini *filter Butterworth low pass* dirancang untuk meredam sinyal dengan frekuensi diatas 30 Hz dan meloloskan sinyal di bawahnya dengan penguat sebesar 1 kali untuk memenuhi total penguatan yang dibutuhkan agar menghasilkan keluaran sekitar 5 V agar bisa dibaca oleh ADC Arduino. Berikut adalah langkah-langkah perancangan *low pass filter* analog orde 9 :

- Tentukan frekuensi *cut off*, bisa f_c atau ω_c . Pada perancangan ini dipilih $f_c = 30 \text{ Hz}$ atau $\omega_c = 2\pi f_c = 188.4$.
- Pilih nilai tahanan-tahanan masukan agar sama, yaitu $R_8 = R_9 = R_{10} = R$
- Tentukan nilai C_3 dan hitung R menggunakan Rumus :

$$R = \frac{1}{\omega_c \times C_3}$$

$$R = \frac{1}{188.4 \times 330 \times 10^{-9}}$$

$$R = \frac{10^9}{188.4 \times 330}$$

$$R = \frac{10^9}{62172}$$

$$R = 16,084 \times 10^3$$

$\approx 16\text{K}\Omega$

d. Kemudian cari nilai C_1 dan C_2 ,dimana $C_1 = \frac{1}{2}C_3$, $C_2 = 2 C_3$.

$$C_1 = \frac{1}{2} \times C_3$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \times 330\text{nF}$$

$$C_1 = 165\text{ nF}$$

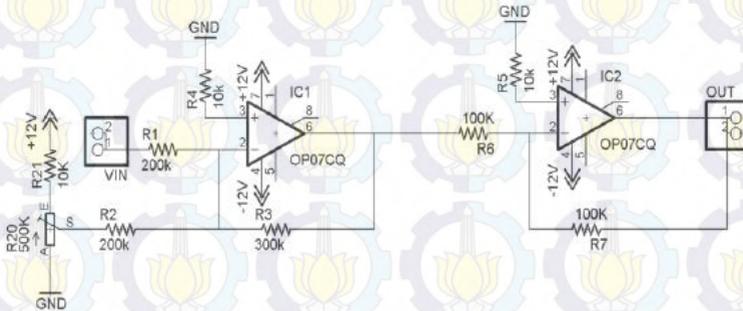
$$C_2 = 2 \times C_3$$

$$C_2 = 2 \times 330\text{ nF}$$

$$C_2 = 660\text{ nF}$$

3.2.5 Perancangan Zero-Span

Pada perancangan tugas akhir ini, *zero-span* digunakan untuk menggeser sinyal supaya sinyal berada pada orde positif, sehingga dapat dibaca oleh ADC Arduino.



Gambar 3.7 Rangkaian Zero-Span

Gambar 3.7 di atas merupakan rangkaian *zero-span* yang terdiri dari *summing amplifier* dan penguat *inverting*. Dalam perancangan *Electroencephalograph* ini *zero-span* dirancang untuk menggeser sinyal yang memiliki amplitudo -1 volt menjadi 0 volt dan sinyal yang memiliki amplitudo 1 volt menjadi 3 volt. Dengan demikian sinyal dapat masuk ke ADC Arduino. Untuk menghitung nilai resistor yang digunakan dalam rangkaian *zero-span*, dapat menggunakan persamaan (6):

$$y = mx + b \quad (6)$$

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_{in}} \times V_{in} + \frac{R_f}{R_o} \times V_s$$

Dimana $y = V_{out}$, $m = R_f/R_{in}$, $x = V_{in}$, dan $b = (R_f/R_o) V_s$.

Kemudian mencari nilai m menggunakan persamaan (7) :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (7)$$

$$m = \frac{3 - 0}{1 - (-1)}$$

$$m = \frac{3}{2}$$

Kemudian tentukan nilai R_f untuk mencari nilai R_{in} . Disini nilai R_f ditentukan sebesar 300K. Sehingga nilai R_{in} didapat dari persamaan (8):

$$m = \frac{R_f}{R_i} \quad (8)$$

karena $m = \frac{R_f}{R_i}$, maka :

$$\frac{3}{2} = \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$\frac{3}{2} = \frac{300K}{R_{in}}$$

$$R_{in} = \frac{300K \times 2}{3}$$

$$R_{in} = 200K$$

Setelah itu mencari nilai b untuk mendapatkan nilai R_o , ketika $V_{out} = 0$ menggunakan persamaan (6)

$$y = mx + b$$

$$0 = \left(\frac{3}{2} + 1 \right) + b$$

$$b = 1,5$$

Setelah nilai b didapat, mencari nilai R_o menggunakan persamaan :

$$b = \left(\frac{R_f}{R_o} \right) \times V_s$$

$$1.5 = \left(\frac{300K}{R_o} \right) \times 1$$

$$R_o = 200K$$

3.2.6 Wiring Bluetooth HC 05 dengan Arduino Due

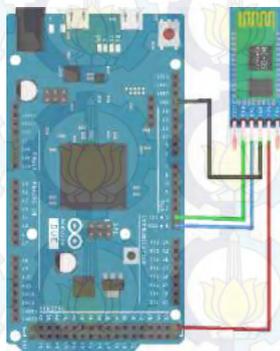
Wiring Bluetooth dengan Arduino Due yang ada pada Tugas Akhir ini meliputi *wiring* pada sisi *transmitter* dan *receiver*. Berikut adalah letak *port* pada *Bluetooth HC 05* yang disebutkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Konfigurasi Pin Modul *Bluetooth* HC-05

Port RX Arduino dihubungkan ke Pin TX *Bluetooth* HC 05. Apabila *Bluetooth* HC 05 tersebut berfungsi sebagai *transmitter*, pin TX akan terus dalam posisi *low* sampai Arduino memerintahkan untuk mengirimkan data. Apabila data sudah terkirim dan *Bluetooth* HC 05 tidak sedang melakukan *transmit* data, *Bluetooth* HC 05 tersebut akan kembali *low*.

Port TX Arduino dihubungkan ke pin RX *Bluetooth* HC 05. Apabila *Bluetooth* HC 05 tersebut berfungsi sebagai *receiver*, pin RX ini akan terus dalam posisi *high* baik dalam keadaan menerima data ataupun tidak. Kaki VCC *Bluetooth* HC 05 dihubungkan ke pin VCC Arduino. Kaki GND *Bluetooth* HC 05 dihubungkan ke pin GND Arduino. *Wiring Bluetooth* HC 05 dengan Arduino Due yang disebutkan pada Gambar 3.9 berikut



Gambar 3.9 *Wiring Bluetooth* HC 05 dengan Arduino Due

3.3 Perancangan Software Electroencephaograph

Selain merancang *hardware*, *electroencephalograph* juga membutuhkan *software* sebagai pendukung. Adapun perancangan *software* dalam *electroencephalograph* ini yaitu berupa perancangan *filter* digital yang didapat melalui perhitungan melalui *software Matlab* dan perancangan aplikasi *Android* mmelalui *software eclipse*. *Filter* digital ini nantinya akan diolah melalui *Arduino* guna membantu dalam pemfilteran sinyal setelah melalui *filter* pada *hardware*. Sinyal yang telah diolah, nantinya diapilkan melalui media *Android*. Untuk itu diperlukan perancangan desain untuk aplikasi *Android* tersebut.

3.3.1 Perancangan Filter Difgital.

Tahap pertama untuk membuat suatu *filter* digital yaitu tahap penetapan spesifikasi *filter* digital yang diinginkan. Penetapan yang dimaksud meliputi penetapan tipe *filter* (*lowpass*, *highpass* dan sebagainya) serta penetapan frekuensi *cut-off*. Pada rancangan *electroencephalograph* ini, sinyal yang akan dikeluarkan yaitu berupa sinyal yang memiliki frekuensi dibawah 30 Hz. Untuk itu ditetapkan *filter lowpass* dengan frekuensi *cut off* sebesar 30 Hz sehingga berdasarkan Tabel 2.3 diperoleh transformasi frekuensi di bawah ini

$$s = \frac{s}{\omega_0}$$

Tahap selanjutnya adalah perancangan *prototype filter* analog. Pada tahap ini dipilih pendekatan *filter* analog yang akan dipakai, misalnya *Butterworth*, *Chebyshev*, *Elliptic* atau *Bessel*. Dengan beberapa pertimbangan, yang akan dipakai yaitu pendekatan *Butterworth* saja. Setelah orde *filter prototype* diketahui, akan didapatkan *transfer function* untuk *filter* tersebut sesuai pendekatan yang dipilih. Adapun *transferfunction* untuk *filter prototype* tipe *Butterworth* pada orde 3 sesuai Tabel 2.2 yaitu

$$\frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$$

Sehingga diperoleh:

$$\frac{1}{\left[\frac{s}{\omega_0}\right]^3 + 2\left[\frac{s}{\omega_0}\right]^2 + 2\left[\frac{s}{\omega_0}\right] + 1}$$

$$\frac{1}{\left[\frac{1}{\omega_0^3}\right]s^3 + \left[\frac{2}{\omega_0^2}\right]s^2 + \left[\frac{2}{\omega_0}\right]s + 1}$$

Dari persamaan di atas, diperoleh transfer function sistem continues dengan

$$\text{num} = 1$$

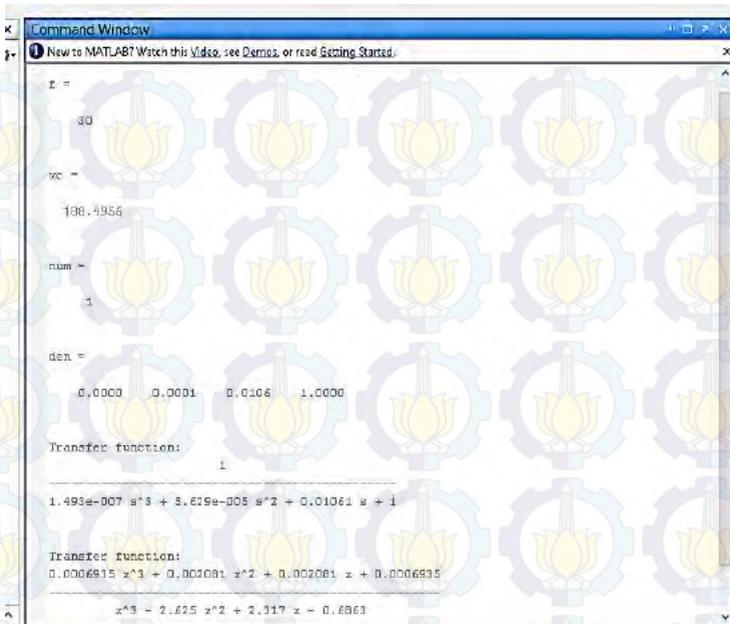
$$\text{den} = \left[\frac{1}{\omega_c^3}, \left[\frac{2}{\omega_c^2}\right], \left[\frac{2}{\omega_c}\right], 1\right]$$

Untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital digunakanlah transformasi *tustin*. Transformasi *Tustin* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengubah sistem kontinu menjadi sistem diskret. Metode ini dianggap sebagai metode yang stabil. Dari persamaan di atas kemudian dibuat program pada M-file di aplikasi *matlab*. Programnya seperti pada Gambar 3.10 di bawah ini

```
clear all %Digunakan untuk menghapus variabel
close all %Digunakan untuk menutup window
clc %Digunakan untuk membersihkan layar
f=30 %Memberikan nilai frekuensi cut-off
wc=2*pi*f %Memberikan nilai wc dengan f=30
num=[1] %pembilang pada transfer function yaitu=1
den=[1/wc^3 2/wc^2 2/wc 1]%penyebut pada transfer function
sikon=tf(num,den) %transfer function sistem continue
sidik=c2d(sikon,0.001,'tustin')
%perubahan dari sistem continue ke sistem digital
%time sampling =0.001s menggunakan metode tustin
```

Gambar 3.10 Program Menghitung *Filter* Digital pada Matlab

Listing program di atas aka mengubah sinyal dari sinyal continues menjadi sinyal diskrit. Besarnya time sampling yang digunakan yaitu sebesar 0.001 sekon atau 1ms. Pemilihan besar time sampling yaitu berdasarkan pada time sampling yang dimiliki oleh arduino. Selain itu, besarnya time sampling juga disesuaikan dengan kebutuhan, dan dengan *time sampling* 1ms sudah cukup untuk mensampling sinyal otak yang memiliki frekuensi dibawah 30Hz dengan baik. Setelah program pada m-file diplay, maka akan muncul perhitungan pada *Command Window* seperti Gambar 3.11 berikut



Gambar 3.11 Tampilan Perhitungan pada *Command Window*

Pada *command window*, didapatkan *transfer function* untuk *system continue* adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{1.493e-007s^3 + 5.629e-005s^2 + 0.01061s + 1}$$

Sedangkan *transfer function* untuk *system diskrit* dengan *time sampling* sebesar 0.001sekon adalah sebagai berikut :

$$\frac{0.0006935z^3 + 0.002081z^2 + 0.002081z + 0.0006935}{z^3 - 2.625z^2 + 2.317z - 0.6863}$$

Berdasarkan *transfer function system diskrit* di atas, dibuatlah fungsi beda seperti berikut :

$$G(z) = \frac{0.0006935z^3 + 0.002081z^2 + 0.002081z + 0.0006935}{z^3 - 2.625z^2 + 2.317z - 0.6863}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.0006935z^3 + 0.002081z^2 + 0.002081z + 0.0006935}{z^3 - 2.625z^2 + 2.317z - 0.6863}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.0006935 + 0.002081z^{-1} + 0.002081z^{-2} + 0.0006935z^{-3}}{1 - 2.625z^{-1} + 2.317z^{-2} - 0.6863z^{-3}}$$

$$y(z) - 2.625z^{-1}y(z) + 2.317z^{-2}y(z) - 0.6863z^{-3}y(z) = 0.0006935x(z) + 0.002081z^{-1}x(z) + 0.002081z^{-2}x(z) + 0.0006935z^{-3}x(z)$$

$$y(z) = 2.625z^{-1}y(z) - 2.317z^{-2}y(z) + 0.6863z^{-3}y(z) + 0.0006935x(z)$$

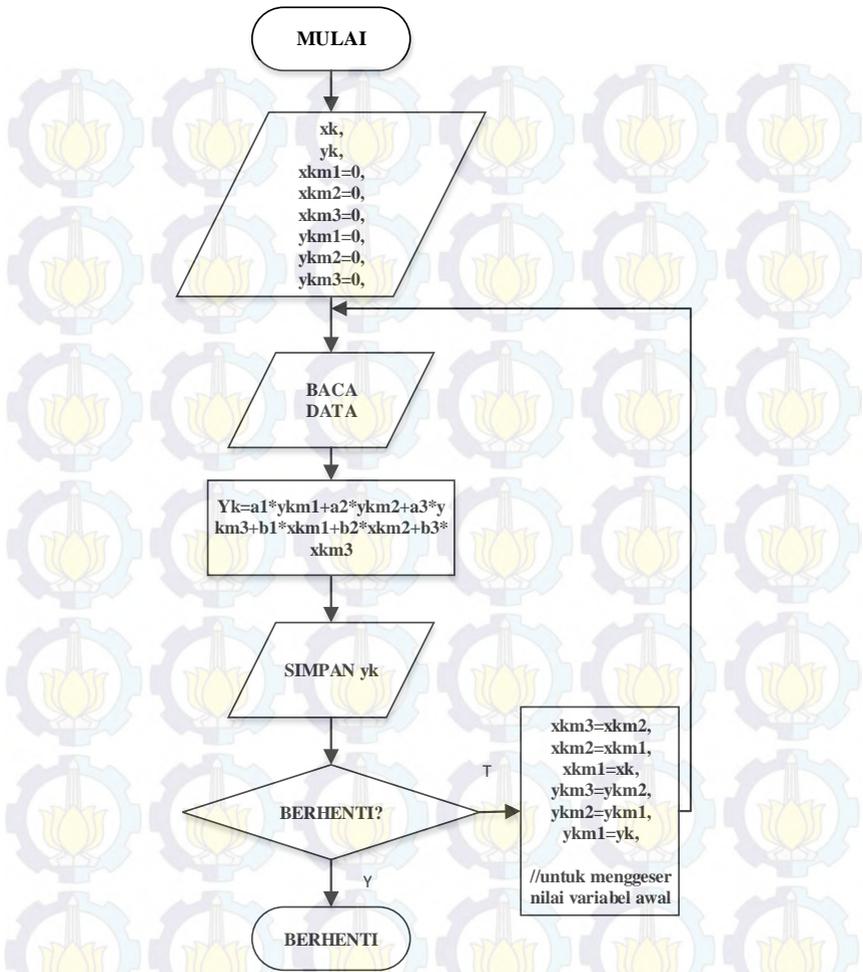
$$+ 0.002081z^{-1}x(z) + 0.002081z^{-2}x(z) + 0.0006935z^{-3}x(z)$$

$$y(k) - 2.625y(k-1) + 2.317y(k-2) - 0.6863y(k-3) = 0.0006935x(k)$$

$$+ 0.002081x(k-1) + 0.002081x(k-2) + 0.0006935x(k-3)$$

(9)

Setelah didapatkan persamaan $y(k)$, maka nantinya persamaan inilah yang dimasukkan kedalam program Arduino sebagai *filter* digital. Alur kerja dari program *filter* digital ditunjukkan pada Gambar 3.18, yaitu inialisasi variabel, kemudian membaca dan mengolah data yang diterima sesuai persamaan (9). Data yang telah diolah, kemudian disimpan dalam variabel yk . Data dalam yk tersebut yang nantinya akan dikirim ke *Android*. setelah menyimpan data dalam yk , program akan mengulangi dari membaca data lagi, namun dengan nilai variabel yang sudah digeser (menggunakan nilai variabel yang sebelumnya). Proses ini akan berjalan terus sampai program dihentikan oleh pengguna seperti pada Gambar 3.12 di bawah ini.

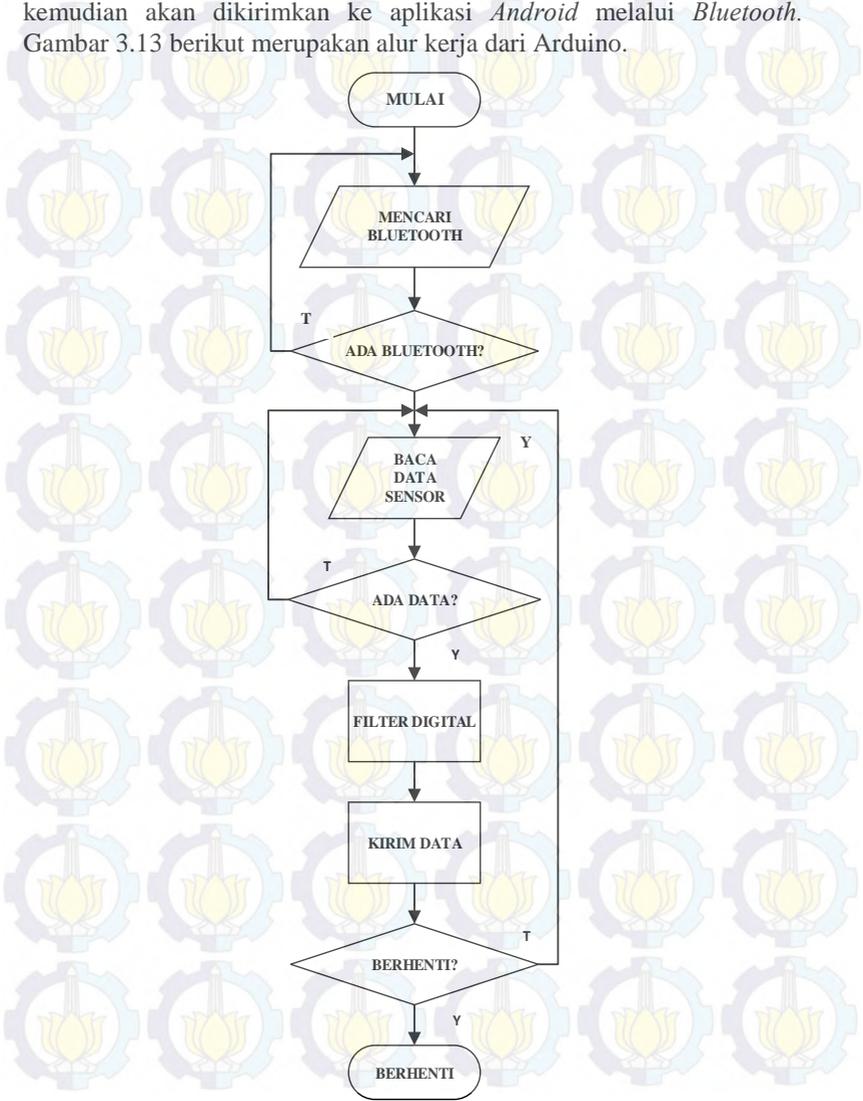


Gambar 3.12 Flowchart Sistem Kerja dari *Filter* Digital

3.3.2 Perancangan Program Arduino

Setelah sinyal melewati rangkaian pengkondisi sinyal (berupa *amplifier*, *filter* dan zero span), selanjutnya yaitu pengolahan sinyal oleh arduino. Arduino yang dipakai yaitu Arduino due. Arduino disini berfungsi sebagai pembaca nilai ADC dari rangkaian pengkondisi sinyal.

Nilai ADC yang diperoleh akan diolah untuk di *filter* sesuai dengan rumus *filter* digital yang telah dibuat sebelumnya. Keluaran dari *filter* digital ini kemudian akan dikirimkan ke aplikasi *Android* melalui *Bluetooth*. Gambar 3.13 berikut merupakan alur kerja dari Arduino.



Gambar 3.13 *Flowchart* Sistem Kerja Arduino

Berikut akan dijelaskan program yang terdapat pada arduino, dimana didalamnya terdapat program untuk *filter* digital, membaca data dari sensor, serta pengiriman data ke *Android* melalui bouetooth.

```
float xkm1;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float xkm2;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float xkm3;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float xkm4;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float ykm1;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float ykm2;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float ykm3;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float ykm4;//deklarasi variabel yang akan digunakan
float yk,xk,a; //deklarasi variabel yang akan digunakan
```

Gambar 3.14 Listing Program Inisialisasi Awal

Gambar 3.14 merupakan program deklarasi variabel untuk *filter* digital. Setelah inisialisasi awal, selanjutnya adalah program pada bagian void setup.

```
void setup() {
  Serial.begin(230400); //mengatur nilai baudrate
  analogReadResolution(12); //mengubah resolusi ADC menjadi 12 bit
  xkm1=0, xkm2=0, xkm3=0, xkm4=0;//inisialisasi awal variabel yang akan digunakan
  ykm1=0, ykm2=0, ykm3=0, ykm4=0;//inisialisasi awal variabel yang akan digunakan
}
```

Gambar 3.15 Listing Program Void Set up

Pada Gambar 3.15 terdapat perintah Serial.begin untuk menentukan besarnya baudrate yang akan digunakan pada saat komunikasi serial, baudrate yang akan digunakan adalah 230400. Sedangkan analogReadResolution(12) merupakan program untuk menjadikan resolusi ADC Arduino DUE menjadi 12 bit. Karena resolusi awal dari Arduino DUE alah 10 bit, oleh karena itu harus diganti terlebih dahulu menjadi 12 bit dengan cara menambahkan perintah analogReadResolution(12).

Selanjutnya adalah program utama pada bagian void loop yang berisi pembacaan data dari perangkat *Electroencephalograph*, *filter* digital dan pengiriman data ke *Android* melalui *bluetooth*. Gambar 3.16 di bawah merupakan listing program pengiriman data menggunakan *bluetooth*. Pada Gambar 3.16 di bawah terdapat perintah analogRead (A10) yang berfungsi untuk untuk membaca data dari perangkat

Electroencephalograph, dimana pin yang digunakan pada arduino adalah pin A10. Selanjutnya hasil pembacaan datanya dirubah menjadi level tegangan. Kemudian juga terdapat perintah `serial.print` yang berfungsi untuk mengirimkan data dari arduino ke *Android*.

```
void loop() {
  a = analogRead(A10); //membaca data dari sensor
  xk=a/1024*5;//mengubah hasil pembacaan ke level 0-5v
  if(Serial.available()>0){ //menunggu adanya sambungan dari bluetooth
    yk= 2.625*ykm1 - 2.317*ykm2 + 0.6863*ykm3 + 0.0006935*xk
    + 0.002081*xkm1 + 0.002081*xkm2 + 0.0006935*xkm3;//persamaan filter digital
    Serial.println(xk);//mengirim data yk
    delay(20);

    ykm3=ykm2;//menggeser nilai sebelumnya
    ykm2=ykm1;//menggeser nilai sebelumnya
    ykm1=yk;//menggeser nilai sebelumnya
    xkm3=xkm2;//menggeser nilai sebelumnya
    xkm2=xkm1;//menggeser nilai sebelumnya
    xkm1=xk;//menggeser nilai sebelumnya
  }
}
```

Gambar 3.16 Listing Program *Void Loop*

Gambar 3.16 di atas merupakan program *filter* digital pada Arduino. Pada bagian awal program, masing – masing *variable* harus diinisialisasi terlebih dahulu seperti pada Gambar 3.14. Rumus *filter* digital yang digunakan yaitu seperti pada hasil perhitungan sebelumnya pada persamaan (9) .

$$y(k) = 2.625 y(k - 1) - 2.317 y(k - 2) + 0.6863 y(k - 3) + 0.0006935 x(k) + 0.002081 x(k - 1) + 0.002081 x(k - 2) + 0.0006935 x(k - 3)$$

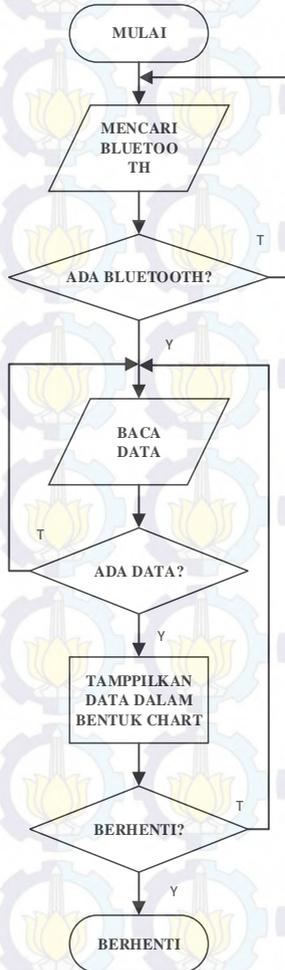
Maka pada Arduino kita buat persamaan baru yaitu :

$$yk= 2.625*ykm1 - 2.317*ykm2 + 0.6863*ykm3 + 0.0006935*xk + 0.002081*xkm1 + 0.002081*xkm2 + 0.0006935*xkm3;$$

3.3.3 Perancangan Aplikasi *Android*

Untuk membuat suatu aplikasi baru pada *Eclipse*, hal yang pertama dilakukan yaitu membuka aplikasi *eclipse* dan mengklik menu *new project*. Kemudian menentukan spesifikasi awal aplikasi *Android* seperti nama *project*, *icon project* sekaligus warna *icon*. Dilanjutkan dengan proses *add permission* dan *create a new xml file* pada folder *layout*. Hal

ini berguna untuk menampilkan lembar kerja *Android* yang nantinya akan ditampilkan. Pada tahap ini, bisa ditambahkan *text view*, *list view* dan segala macam *button* maupun *option* yang nantinya dipakai. Secara umum, sistem kerja dari aplikasi *Android* ini dapat dijelaskan seperti pada Gambar 3.17.



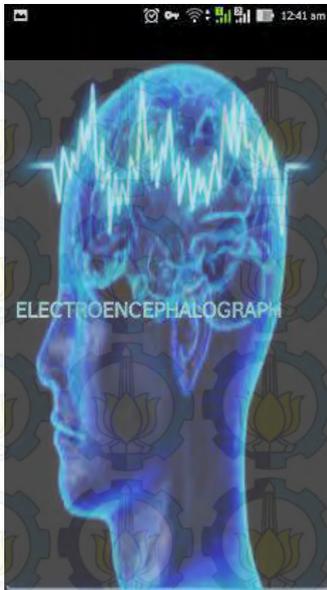
Gambar 3.17 Flowchart Sistem Kerja Aplikasi *Android*

Selain membuat program fungsi kerja dari masing – masing tombol yang dipakai pada setiap *layout*, tahap selanjutnya yaitu mendesain tampilan dari aplikasi *Android* yang akan dibuat agar lebih menarik. *Eclipse* memfasilitasi pengguna untuk mendesain tampilan melalui dua acara, yaitu pertama dengan mengedit program java pada folder *layout* yang ada pada res dan yang kedua dapat langsung mendesai dengan cara *drag and drop* melalui *graphic layout*. Gambar 3.18 di bawah ini merupakan contoh program desain *layout* untuk tampilan *splash*.

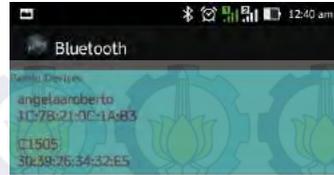
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:background="@drawable/download"
    android:gravity="center"
    android:orientation="vertical" >
    <EditText
        android:id="@+id/editText1"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_weight="0.78"
        android:ems="10"
        android:text="ELECTROENCEPHALOGRAPH"
        android:textColor="@color/cyan3"
        android:textColorLink="@color/white"
        android:textSize="22dp"
        android:textStyle="bold" />
</LinearLayout>
```

Gambar 3.18 Program *Android* untuk Desain *Splash Layout*

Selain mendesain *splash layout*, dilanjutkan dengan desain *main activity* dan juga *main Bluetooth*. Setelah selesai mengedit program, maka tahap selanjutnya yaitu *merun* program sehingga tampil gambar *Android* beserta desain yang telah kita buat seperti Gambar 3.19 dan Gambar 3.20



(a)



(b)

Gambar 3.19 (a) Tampilan Splash Layout pada *Android* (b) Tampilan *Main Bluetooth* pada *Android*

Untuk tampilan *Main Activity* yaitu seperti pada Gambar 3.20 di bawah ini



Gambar 3.20 Tampilan *Main Activity* pada *Android*



BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Setelah tahap perancangan Sistem *Electroencephalograph* selesai seperti Gambar 4.1, dilakukan pengujian dan analisa untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara terpisah, yaitu pada rangkaian penguat diferensial, penguat *non-inverting*, *filter* analog dan *filter* digital. Selanjutnya rangkaian tersebut diintegrasikan kedalam satu sistem secara keseluruhan yang kemudian diuji untuk menampilkan sinyal otak dari objek melalui komunikasi nirkabel menggunakan *bluetooth*.

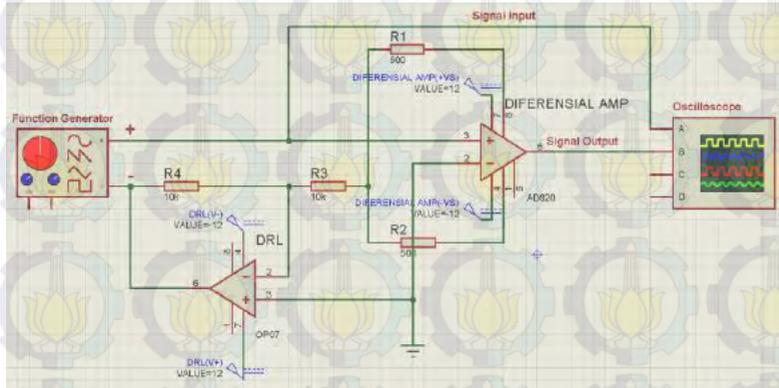


Gambar 4.1 Hasil Perancangan Keseluruhan Sistem

4.1 Pengujian Penguat Diferensial

Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian penguat diferensial yang telah direalisasikan mampu bekerja sesuai dengan perhitungan. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 2 buah *Power Supply DC* +12volt dan -12 volt, *Oscilloscope Digital*, *AVO Meter*, *Function Generator* dan rangkaian penguat diferensial. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan pada salah satu masukan penguat diferensial dan masukan yang lainnya dihubungkan ke *ground* (untuk memberikan nilai 0 volt) seperti pada Gambar 4.2. Rangkaian diferensial pada tahap pertama akan menghitung selisih tegangan antara masukan + dan masukan - yang kemudian akan dikuatkan dengan tahanan yang diumpan balikkan ke *opamp*. Jika rangkaian diferensial sudah sesuai dengan perhitungan, maka nilai

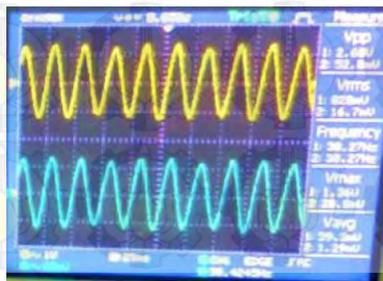
frekuensi keluaran sama atau mendekati nilai frekuensi masukan, dan besar nilai penguatan hasil pengukuran mendekati atau sama dengan nilai penguatan secara perhitungan.



Gambar 4.2 Proses Pengujian Rangkaian Diferensial



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial Menggunakan AVO Meter



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial menggunakan Oscilloscope

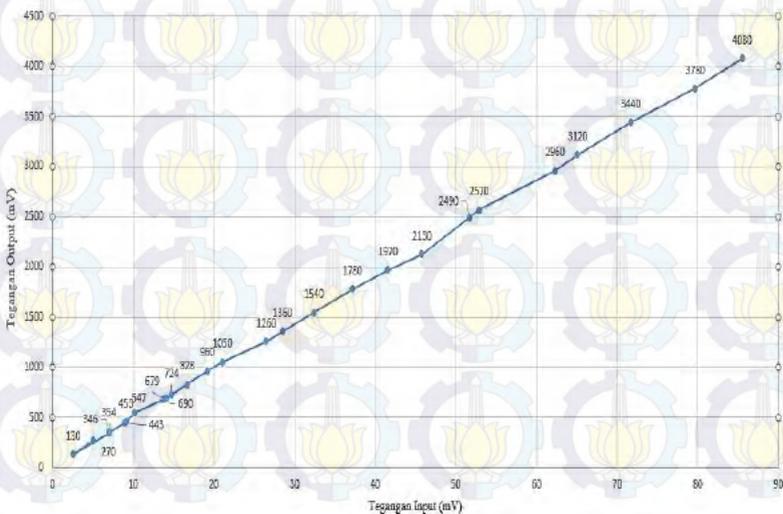
Gambar 4.3 di atas merupakan salah satu hasil pengujian menggunakan *AVO Meter* untuk mengetahui besar nilai penguatan rangkaian, yaitu dengan cara membandingkan tegangan keluaran dengan tegangan masukan. Gambar 4.4 menunjukkan salah satu hasil pengujian rangkaian menggunakan *Oscilloscope* untuk membuktikan apakah frekuensi keluaran sama atau mendekati nilai frekuensi masukan. Gelombang yang berwarna biru merupakan gelombang masukan sedangkan gelombang yang berwarna kuning merupakan gelombang keluaran penguat diferensial. Tabel 4.1 memaparkan nilai tegangan masukan dan tegangan keluaran berdasarkan pengukuran maupun perhitungan, sehingga bisa mengetahui besarnya error tegangan keluaran pada rangkaian penguat diferensial ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial

Vin + (mV)	Vin - (mV)	Vout (mV)	Vout Perhitungan (mV)	A Pengukuran	% error
5.1	0	270	257.04	52.94117647	5.042016807
2.56	0	130	129.024	50.78125	0.756448413
7.02	0	346	353.808	49.28774929	2.206846651
7.1	0	354	357.84	49.85915493	1.073105298
9.12	0	453	459.648	49.67105263	1.446324144
8.96	0	443	451.584	49.44196429	1.900864512
10.1	0	547	509.04	54.15841584	7.457174289
13.7	0	679	690.48	49.5620438	1.662611517
14.7	0	724	740.88	49.25170068	2.278371666
14.1	0	690	710.64	48.93617021	2.904424181
16.7	0	828	841.68	49.58083832	1.625320787
19.2	0	960	967.68	50	0.793650794
21.1	0	1050	1063.44	49.76303318	1.263823065
26.5	0	1260	1335.6	47.54716981	5.660377358
28.5	0	1360	1436.4	47.71929825	5.318852687
32.4	0	1540	1632.96	47.5308642	5.692729767

37.2	0	1780	1874.88	47.84946237	5.060590544
41.6	0	1970	2096.64	47.35576923	6.040140415
45.8	0	2130	2308.32	46.50655022	7.725098773
51.7	0	2490	2605.68	48.16247582	4.439532099
52.9	0	2570	2666.16	48.58223062	3.60668527
62.3	0	2960	3139.92	47.51203852	5.730082295
65.1	0	3120	3281.04	47.92626728	4.908199839
71.7	0	3440	3613.68	47.9776848	4.806180957
79.7	0	3780	4016.88	47.42785445	5.897114178
85.5	0	4080	4309.2	47.71929825	5.318852687
error rata rata					3.869823807

Berdasarkan data di atas, diperoleh grafik perbandingan antara tegangan masukan dengan tegangan keluaran rangkaian, dimana tegangan masukan berhasil dikuatkan oleh rangkaian dengan nilai tegangan keluaran hasil pengukuran mendekati nilai tegangan keluaran perhitungan seperti pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Diferensial

Untuk menghitung presentase *error*, kami membandingkan besarnya tegangan keluaran hasil pengujian (pengukuran) dengan besarnya tegangan perhitungan (teori).

Perhitungan teori :

$$\frac{V_{out}}{V_{in(+)} - V_{in(-)}} = \left[1 + \frac{2R_1}{R_{gain}} \right] \left[\frac{R_3}{R_2} \right]$$

Dalam IC AD620 nilai-nilai resistansi internal $R_1 = 24.7k\Omega$ dan $R_2, R_3 = 10k\Omega$, sehingga :

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in(+)} - V_{in(-)}} = \left[1 + \frac{2 \times 24.7k\Omega}{R_{gain}} \right] \left[\frac{10k\Omega}{10k\Omega} \right]$$

$$G = \left[\frac{49.4k\Omega}{R_{gain}} + 1 \right]$$

R_{gain} yang digunakan disini adalah 1K, dengan cara memasang seri 2 buah resistor 500 Ω , sehingga penguatan yang didapat menurut persamaan diatas adalah

$$G = \left[\frac{49.4k\Omega}{R_{gain}} + 1 \right]$$

$G = 50.4$ kali atau mendekati 50 kali.

Contoh perhitungan presentase *error*:

Untuk perhitungan ketika masukan $V_{in(+)} = 16,7$ mV dan masukan $V_{in(-)} = 0V$, menurut teori maka tegangan keluarannya adalah :

$$V_{out} = A \times (V_{in(+)} - V_{in(-)})$$

$$V_{out} = 50.4 \times (16.7 - 0)$$

$$V_{out} = 841.68$$

Menurut pengukuran dengan masukan $V_{in(+)} = 16,7$ mV dan masukan $V_{in(-)} = 0V$, didapatkan nilai keluaran sebesar 828 mV, yaitu dengan penguatan sekitar 49,58083832 kali. Untuk persentase *error* didapatkan nilai 1.625 % dari perhitungan persamaan (10) sebagai berikut :

$$\text{Persentase error} = \left[\frac{\text{Hasil} - \text{Teori}}{\text{Teori}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{Persentase error} = \left[\frac{841.68 - 828}{828} \right] \times 100\%$$

$$\text{Persentase error} = 1.625 \%$$

Contoh perhitungan presentase *error* :

Jika masukan $V_{in(+)} = 21,1 \text{ mV}$ dan masukan $V_{in(-)} = 0\text{V}$ maka keluarannya adalah :

$$V_{out} = A \times (V_{in(+)} - V_{in(-)})$$

$$V_{out} = 50,4 \times (21,1 - 0)$$

$$V_{out} = 1063,44$$

Menurut pengukuran dengan masukan $V_{in(+)} = 21,1 \text{ mV}$ dan masukan $V_{in(-)} = 0\text{V}$ didapatkan nilai keluaran sebesar 1050 mV , yaitu dengan penguatan sekitar $49,76303318$ kali. Untuk persentase *error* didapatkan nilai 1.2638 dari perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Persentase error} = \left[\frac{\text{Hasil} - \text{Teori}}{\text{Teori}} \right] \times 100\%$$

$$\text{Persentase error} = \left[\frac{1050 - 1063,44}{1063,44} \right] \times 100\%$$

$$\text{Persentase error} = 1.2638\%$$

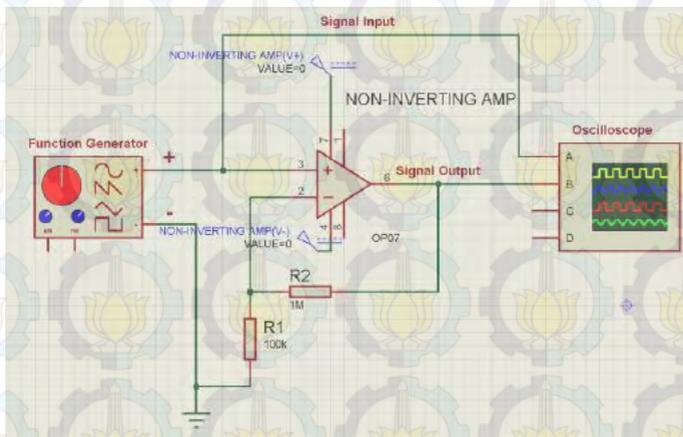
Dari hasil pengujian di atas, ternyata masih ada nilai *error* pada rangkaian penguat diferensial. Hal ini dikarenakan oleh nilai komponen yang tidak tepat 100% , sehingga hasil pengukuran tidak sama dengan hasil perhitungan. Meskipun demikian, nilai persentase *error* yang didapat relatif kecil dan frekuensi keluaran hampir sama dengan frekuensi masukan, sehingga rangkaian penguat diferensial ini masih baik untuk digunakan.

4.2 Pengujian Penguat *Non-inverting*

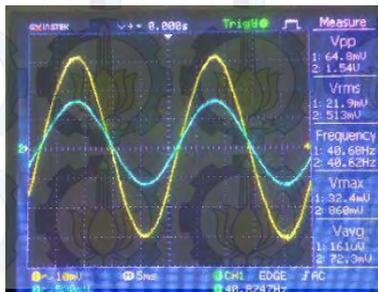
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian penguat *non-inverting* bekerja sebagai rangkaian penguat level tegangan sesuai dengan perhitungan atau tidak. Dalam pengujian ini, alat yang digunakan yaitu $2 \text{ Power Supply DC} +$ dan -12 volt , *Oscilloscope Digital*, *Function Generator* dan Rangkaian penguat *non-inverting*. Rangkaian *amplifier* akan menguatkan level tegangan seui dengan perbandingan nilai resistansi yang diumpun balikkan dan resistansi yang menjadi masukan *ke opamp*. Tegangan masukan diperoleh dari keluaran

rangkaian penguat diferensial, namun pada pengujian ini nilai tegangan masukan didapatkan dari *Function Generator* seperti pada Gambar 4.6. Setting nilai frekuensi pada tegangan masukan tidak akan berpengaruh apa-apa. Penguatannya tidak bisa melebihi batas dari level tegangan vcc dari perhitungan teori *opamp*.

Pada pengujian ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk membuktikan bahwa rangkaian penguat *non-inverting* sudah sesuai dengan perhitungan, yaitu nilai frekuensi keluaran sama atau mendekati nilai frekuensi keluaran, dan besar nilai penguatan hasil pengukuran mendekati atau sama dengan nilai penguatan hasil perhitungan. Penguat *non-inverting* yang digunakan, terdiri dari 2 level penguatan yaitu penguatan pertama sebesar 11 kali dan penguatan kedua sebesar 50 kali.



Gambar 4.6 Proses Pengujian Rangkaian Penguat Non-Inverting 11 kali



Gambar 4.7 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting* 11 Kali

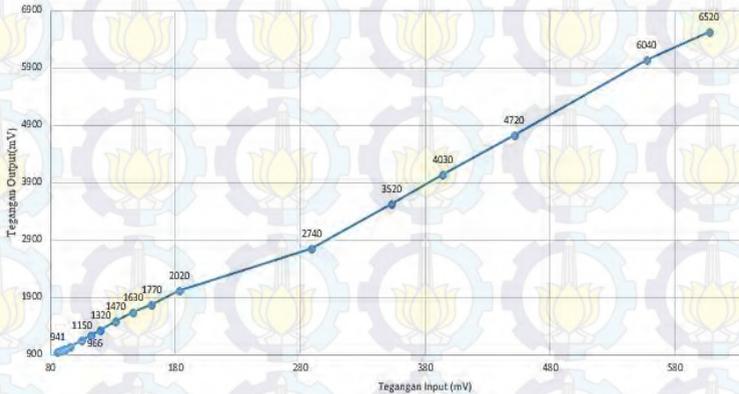
Gelombang yang berwarna biru pada Gambar 4.7 di atas merupakan gelombang masukan, sedangkan gelombang yang berwarna kuning merupakan gelombang hasil rangkaian penguat Non-inverting 11 kali. Dari pengujian tersebut, diperoleh data berupa tegangan masukan, tegangan keluaran dan frekuensi keluaran seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting* 11 Kali

V input (mV)	V output (mV)	Vout Perhitungan (mV)	Frekuensi Output (Hz)	Penguatan (A)	% error
85.7	941	942.7	22.46	10.98016336	0.180333086
88.2	966	970.2	22.46	10.95238095	0.432900433
90.8	994	998.8	22.48	10.94713656	0.480576692
91.4	1000	1005.4	22.48	10.94091904	0.537099662
95.7	1040	1052.7	22.48	10.86729363	1.206421583
105	1150	1155	22.48	10.95238095	0.432900433
112	1240	1232	22.48	11.07142857	0.649350649
120	1320	1320	22.52	11	0
132	1470	1452	22.52	11.13636364	1.239669421
146	1630	1606	22.64	11.16438356	1.494396015
161	1770	1771	22.51	10.99378882	0.056465274
183	2020	2013	22.51	11.03825137	0.347739692
289	2740	3179	22.51	9.480968858	13.80937402
353	3520	3883	22.57	9.971671388	9.348441926
394	4030	4334	22.42	10.2284264	7.014305491
451	4720	4961	22.42	10.46563193	4.857891554
557	6040	6127	22.36	10.8438061	1.419944508
607	6520	6677	22.39	10.74135091	2.351355399
Error rata - rata					2.547731435

Nilai frekuensi pada tegangan keluaran rangkaian hampir mendekati nilai masukannya. Grafik perbandingan antara tegangan masukan dan

tegangan keluaran rangkaian pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa rangkaian ini berhasil menguatkan tegangan masukan dengan besar penguatan yang mendekati nilai penguatan berdasarkan perhitungan.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian Penguat 11 Kali

Dari hasil pengujian penguat *non-inverting* 11 kali diatas, masih terdapat *error* dikarenakan pengaruh nilai komponen yang tidak tepat 100%. Meskipun demikian persentase *error* yang didapat sangat kecil dan juga frekuensi keluaran hampir sama dengan frekuensi masukan, sehingga rangkaian penguat *non-inverting* 11 kali ini masih bisa digunakan. Presentase *error* didapatkan dengan cara membandingkan besarnya tegangan keluaran dari hasil pengujian (pengukuran) dengan besarnya tegangan keluaran semestinya (perhitungan) sebagai berikut

$$A = \left[\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right]$$

Pada rangkaian penguat *non-inverting* ini, nilai masing-masing R_f dan R_{in} adalah 100K dan 10K. Dari persamaan diatas, didapatkan besar nilai penguatan rangkaian penguat *non-inverting* ini adalah sebagai berikut:

$$A = \left[\frac{100K\Omega}{10K\Omega} + 1 \right]$$

$$A = 11kali$$

Contoh perhitungan presentase *error*:

Jika masukan $V_{in} = 85,7 \text{ mV}$, maka tegangan keluarannya adalah :

$$V_{out} = A \times V_{in}$$

$$V_{out} = 11 \times 85.7$$

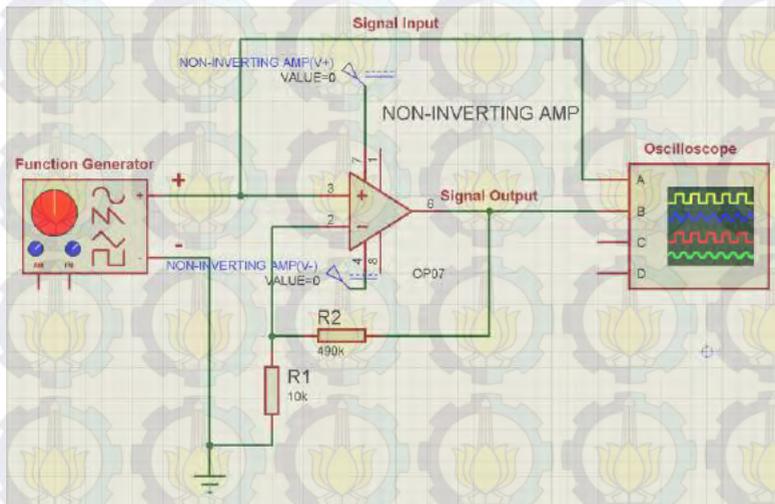
$$V_{out} = 942.7$$

Menurut pengukuran, dengan masukan $V_{in} = 85,7 \text{ mV}$ didapatkan nilai keluaran sebesar 941 mV , yaitu dengan penguatan sekitar $10,98016336$ kali. Untuk persentase *error* didapatkan nilai 1.8033% dari perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{\text{Hasil} - \text{Teori}}{\text{Teori}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{941 - 942.7}{942.7} \right] \times 100\%$$

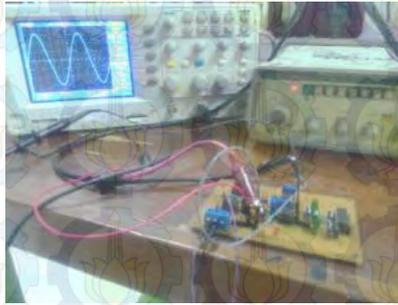
$$\text{Persentase } error = 0.18033\%$$



Gambar 4.9 Proses Pengujian Rangkaian Penguat Non-Inverting 50 kali

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian penguat non-inverting 50 kali. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 2 *power supply DC* + dan - 12 volt, *Oscilloscope Digital*, *function Generator* dan Rangkaian penguat *non-inverting*. Sama seperti pengujian pada penguat sebelumnya, yaitu tegangan masukan diperoleh dari keluaran rangkaian penguat 11

kali, namun pada pengujian ini nilai tegangan masukan didapat dari function generator seperti pada Gambar 4.9 Rangkaian *amplifier* akan menguatkan level tegangan sesuai dengan perbandingan nilai resistansi yang diumpunbalikkan dan resistansi yang menjadi masukan ke *opamp*.



Gambar 4.10 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting* 50 Kali

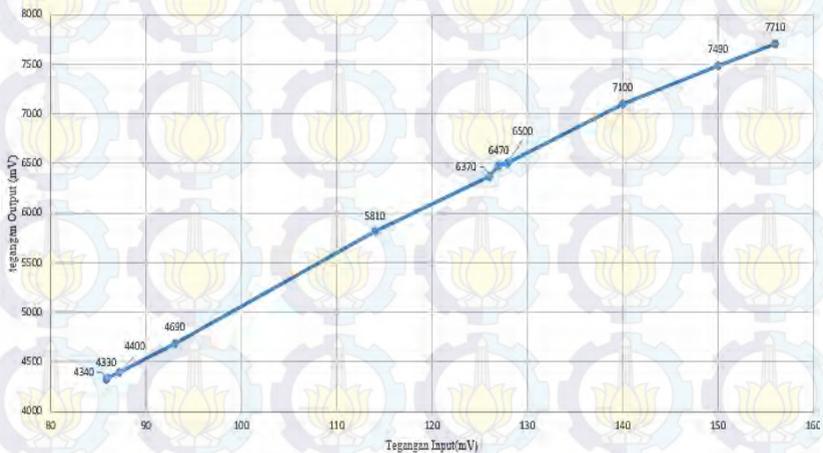
Gambar 4.10 merupakan salah satu hasil pengujian rangkaian penguat *Non-inverting* 50 kali menggunakan *oscilloscope*. Dari pengujian tersebut, diperoleh data berupa tegangan masukan, tegangan keluaran dan frekuensi keluaran seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting* 50 Kali

V input (mV)	V output (mV)	Voutput Perhitungan (mV)	Frekuensi Output (Hz)	Penguatan (A)	% error
85.8	4330	4290	22.54	50.46620047	0.932400932
86	4340	4300	22.54	50.46511628	0.930232558
87.2	4400	4360	22.54	50.4587156	0.917431193
93	4690	4650	22.54	50.43010753	0.860215054
114	5810	5700	22.44	50.96491228	1.929824561
126	6370	6300	22.44	50.55555556	1.111111111
127	6470	6350	22.44	50.94488189	1.88976378
128	6500	6400	22.44	50.78125	1.5625
140	7100	7000	22.44	50.71428571	1.428571429
150	7490	7500	22.44	49.93333333	0.133333333

156	7710	7800	22.44	49.42307692	1.153846154
Error rata-rata					1.168111828

Dari Tabel 4.3 di atas dibuatlah grafik hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran dari rangkaian penguat 50 kali yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Rangkaian ini berhasil menguatkan tegangan masukan dengan penguatan yang mendekati nilai penguatan berdasarkan perhitungan.



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penguat *Non-Inverting* 50 Kali

Pada rangkaian penguat *non-inverting* ini, nilai masing-masing R_f dan R_{in} adalah 490K dan 10K. Karena nilai resistor 490K tidak ada di pasaran, digunakanlah resistor *variabel*. Dengan demikian didapatkan besar nilai penguatan rangkaian adalah sebagai berikut:

$$A = \left[\frac{R_f}{R_{in}} + 1 \right]$$

$$A = \left[\frac{490K\Omega}{10K\Omega} + 1 \right]$$

$$A = 50kali$$

Contoh perhitungan presentase *error* :

Menurut perhitungan, jika masukan $V_{in} = 150$ mV maka tegangan keluarannya adalah :

$$V_{out} = A \times V_{in}$$

$$V_{out} = 50 \times 150$$

$$V_{out} = 7500mV = 7.5V$$

Menurut pengukuran dengan masukan $V_{in} = 150$ mV didapatkan nilai keluaran sebesar 7490 mV, yaitu dengan penguatan sekitar 49,93333333 kali. Untuk persentase *error* didapatkan nilai 1.33511% dari perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{\text{Hasil} - \text{Teori}}{\text{Teori}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{7490 - 7500}{7500} \right] \times 100\%$$

$$\text{Persentase } error = 1.33511\%$$

Contoh perhitungan presentase *error* :

Menurut perhitungan, jika masukan $V_{in} = 86$ mV maka tegangan keluarannya adalah :

$$V_{out} = A \times V_{in}$$

$$V_{out} = 50 \times 8$$

$$V_{out} = 4300mV = 4.3V$$

Menurut pengukuran, dengan masukan $V_{in} = 86$ mV didapatkan nilai keluaran sebesar 4340 mV, yaitu dengan penguatan sekitar 50.4651163 kali. Untuk persentase *error* didapatkan nilai dari perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{\text{Hasil} - \text{Teori}}{\text{Teori}} \right] \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{Persentase } error = \left[\frac{4340 - 4300}{4300} \right] \times 100\%$$

$$\text{Persentase } error = 0.93 \%$$

Dari hasil pengujian penguat *non-inverting* 50 kali diatas, masih terdapat nilai *error* dikarenakan pengaruh nilai komponen yang tidak tepat 100%. Persentase *error* yang didapat sangat kecil dan frekuensi keluaran

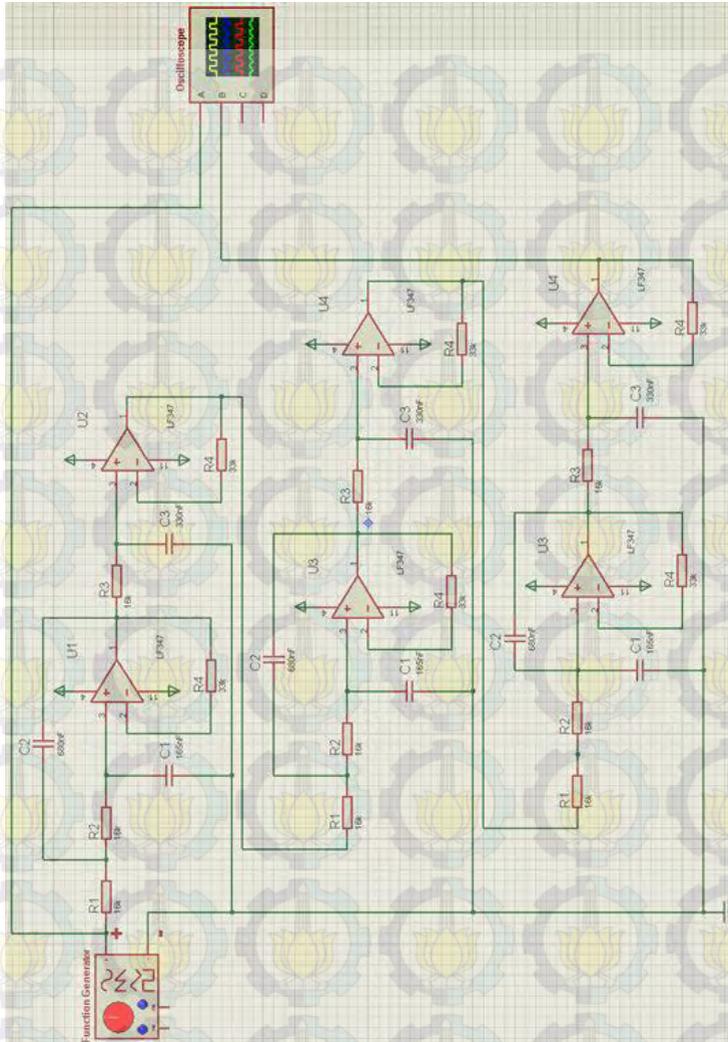
hampir sama dengan frekuensi masukan, sehingga rangkaian penguat non-inverting 50 kali ini masih layak digunakan.

4.3 Pengujian Rangkaian *Filter* Analog

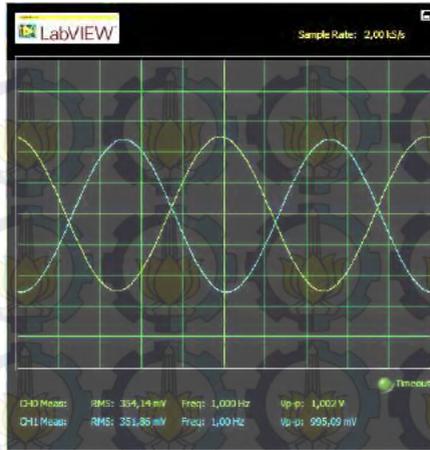
Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian *lowpass filter* dapat bekerja sesuai dengan perhitungan sebagai peredam noise atau sinyal pengganggu dari luar (misalnya jala-jala PLN atau frekuensi suara). Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 2 buah *Power Supply DC* +12 dan -12 volt, *Oscilloscope Digital*, *Function Generator* (menggunakan *NImyDAQ*) dan rangkaian *lowpass filter*. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan berfrekuensi dari *NImyDAQ*, dimana frekuensi sinyal masukan tersebut bervariasi antara 1 Hz sampai 80 Hz dengan amplitudo 1 V_{p-p} seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.12.

Pada pengujian ini ada beberapa hal yang diperhatikan untuk membuktikan bahwa rangkaian *lowpass filter* ini sudah sesuai dengan perhitungan, yaitu nilai frekuensi keluaran sama atau mendekati nilai frekuensi masukan dan tegangan keluaran pada frekuensi *cut-off* sekitar 707 mV. Jika frekuensi masukan berada di atas frekuensi *cut-off* maka tegangan keluaran akan lebih kecil dari tegangan masukan, semakin besar frekuensi semakin besar pula tegangan yang diredam.

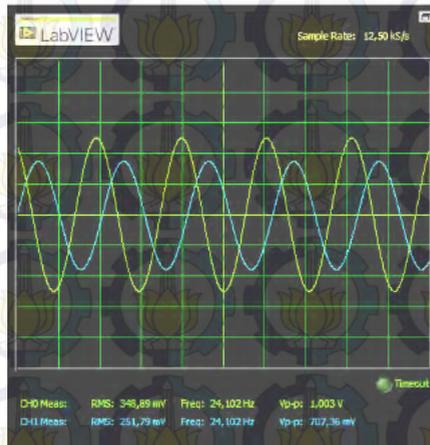
Dari Gambar 4.13, diketahui sinyal masukan (gelombang berwarna biru) memiliki frekuensi di bawah frekuensi *cut-off*, sehingga sinyal keluaran (gelombang berwarna hijau) dilewatkan dengan nilai tegangan mendekati atau sama dengan tegangan masukan. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja *lowpass filter*, yaitu melewatkan frekuensi yang berada di bawah frekuensi *cut-off* dan meredam frekuensi yang berada di atas frekuensi *cut-off*.



Gambar 4.12 Proses Pengujian Rangkaian Filter Analog

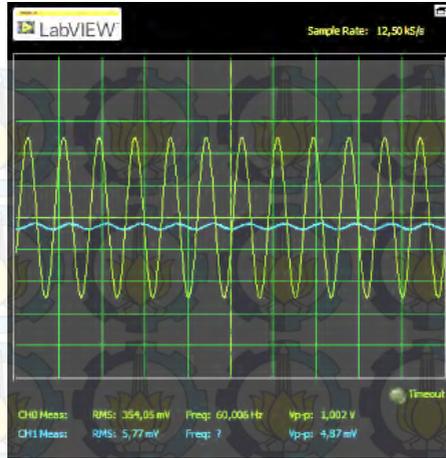


Gambar 4.13 Hasil Pengujian *Lowpass Filter* Orde 9 Frekuensi Masukan 1 Hz



Gambar 4.14 Hasil Pengujian *Lowpass Filter* Orde 9 Frekuensi *Cut-Off*

Gambar 4.14 menunjukkan hasil pengujian ketika sinyal masukan berada pada frekuensi *cut-off*, sehingga tegangan keluaran akan bernilai 707mV (atau mendekati). Gambar 4.15 merupakan pengujian ketika sinyal masukan berada diatas frekuensi *cut-off*, sehingga tegangan keluaran akan diredam.



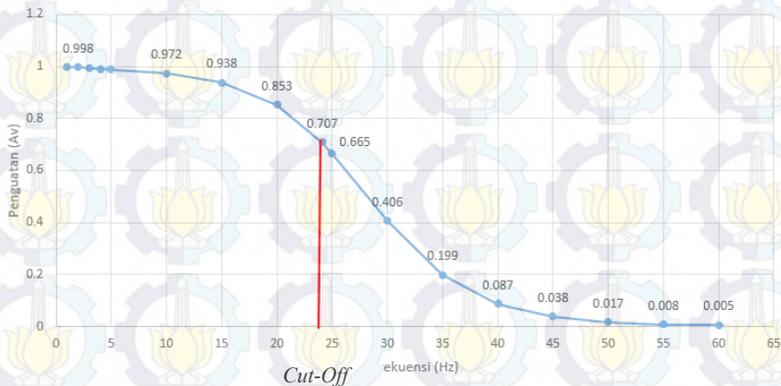
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Lowpass *Filter* Orde 9 Frekuensi Masukan Melebihi Frekuensi *Cut-Off*

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian Lowpass *Filter* Orde 9

Vin (Vp-p)	Vout (mVp-p)	fin (Hz)	fout (Hz)
1	996	1	1
1	998	2	2
1	992	3	3
1	990,5	4	4
1	988,3	5	5
1	972	10	10
1	938	15	15
1	853	20	20
1	707	24,1	24,1
1	665	25	25
1	406	30	30
1	199	35	35
1	87	40	40
1	38	45	45

1	17	50	50
1	8	55	-
1	5	60	-

Berdasarkan Tabel 4.4, ketika frekuensi sinyal masukan berada di bawah frekuensi *cut-off*, yaitu sekitar 1 Hz sampai 10 Hz, tegangan keluaran memiliki nilai yang hampir mendekati tegangan masukan. Ketika frekuensi sinyal masukan mulai mendekati frekuensi *cut-off* yaitu di antara 10 Hz sampai 20 Hz, tegangan keluaran mulai menurun (mulai diredam namun peredamannya hanya sedikit). Saat sinyal masukan sudah berada di atas frekuensi *cut-off*, tegangan keluaran sudah mulai diredam. Frekuensi masukan hanya sampai 60 Hz saja, dikarenakan pada range tersebut tegangan keluaran sudah sangat kecil, yaitu sekitar 5 mVp-p seperti yang terlihat pada Gambar 4.16



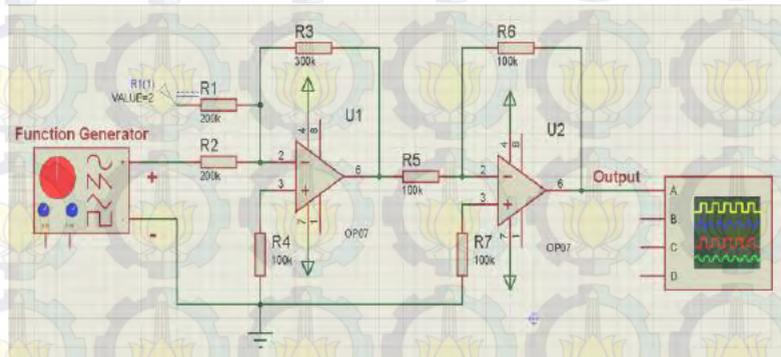
Gambar 4.16 Grafik Respon Sinyal Rangkaian *Filter* Analog

Berdasarkan data yang diperoleh, frekuensi masukan dan frekuensi *keluaran* memiliki nilai yang hampir sama, namun memiliki nilai amplitudo yang berbeda ketika frekuensi sinyal masukan berada di atas frekuensi *cut-off*. Pada pengujian ini, frekuensi *cut-off* berada pada 24,1 Hz, sedangkan menurut perhitungan seharusnya frekuensi *cut-off* berada pada frekuensi 30 Hz. Hal ini disebabkan karena nilai komponen yang ada dipasaran tidak tepat 100%, sehingga menyebabkan hasil secara praktik berbeda dengan perhitungan. Meskipun demikian, rangkaian *lowpass filter* ini masih layak digunakan karena frekuensi *cut-off* masih mendekati

30Hz. Rangkaian ini juga mampu meredam sinyal yang berada di atas frekuensi *cut-off*, terutama untuk sinyal masukan yang berda pada 50-60 Hz. Artinya rangkain lowpass *filter* ini mampu meredam *nosie* dari jala-jala PLN yang memiliki frekuensi sekitar 50-60 Hz.

4.4 Pengujian Rangkaian *Zero and Span*

Sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian *Electroencephalograph* memiliki nilai negatif, sedangkan ADC Arduino Due hanya mampu membaca sinyal masukan dari 0 sampai 3,3 volt saja, oleh karena itu sinyal harus digeser terlebih dahulu agar bisa dibaca oleh ADC Arduino Due. Dalam pengujian ini, akan dibuktikan apakah rangkaian *zero and zpan* benar – benar mampu menggeser sinyal masukan menjadi DC. Alat yang digunakan adalah 2 buah *Power Supply DC +12* dan *-12* volt, *Oscilloscope Digital*, *Power Supply DC variable* dan Rangkaian *Zero and span*.



Gambar 4.17 Proses Pengujian Rangkaian *Zero and Span*

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan AC terhadap kaki *zero and span*, dimana frekuensi sinyal masukan tersebut dimasukkan secara acak dengan amplitudo 1 Vp-p seperti pada Gambar 4.17. Untuk mengetahui besar pergeserannya, pengujian juga dilakukan dengan memberikan masukan berupa sinyal DC dengan tegangan antara -1 volt sampai 1 volt. Ketika diberi masukan DC -1 volt, keluaran akan berubah menjadi 0 volt dan ketika diberi masukan 1 volt, keluaran akan menjadi 3 volt. Tolak ukur keberhasilan pengujian *zero and span* ini yaitu ketika diberi masukan sinyal AC, keluaran akan berubah menjadi sinyal

DC namun tetap memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi sinyal masukan.



Gambar 4.18 Hasil Pengujian Rangkaian *Zero And Span* dengan Masukan Sinyal AC 1 Vp-P

Gelombang yang berwarna biru pada Gambar 4.18 di atas merupakan gelombang sinyal masukan, sedangkan gelombang yang berwarna kuning merupakan gelombang sinyal keluaran dari *zero and span* yang telah digeser. Dari gambar tersebut, rangkain ini telah berhasil menggeser sinyal masukan ke dalam DC. Untuk mengetahui besarnya pergeseran, dilakukan pengujian dengan memberikan masukan DC dari -1 volt sampai 1 volt, sehingga diperoleh data pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Rangkaian *Zero and Span*

No.	V input (mV)	V output (mV)
1	-990	9,8
2	-900	138,7
3	-798	282,9
4	-700	422
5	-598	567
6	-505	699
7	-412	831
8	-300,5	992
9	-195,9	1141
10	-104,1	1272

11	4,7	1427
12	102,5	1568
13	199	1705
14	298	1844
15	401	1992
16	508	2144
17	604	2280
18	700	2418
19	798	2558
20	910	2717
21	995	2838

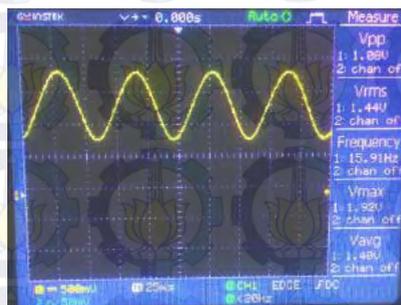
Tegangan masukan diperoleh dari keluaran rangkaian *filter* analog, namun pada pengujian ini nilai tegangan *input* pada Tabel 4.5 merupakan tegangan masukan yang didapat dari *Power Supply DC variable*. Dapat diketahui bahwa rangkaian *zero and span* akan menggeser level tegangan sesuai dengan perhitungan, yaitu ketika diberi masukan sinyal DC sebesar -1 volt akan digeser menjadi 0 volt, dan ketika diberi masukan 1 volt akan digeser menjadi 3, sehingga rangkaian ini dapat digunakan untuk menggeser sinyal dari rangkaian *Electroencephalograph* agar bisa dibaca oleh ADC Arduino Due.

4.5 Pengujian *Filter* Digital

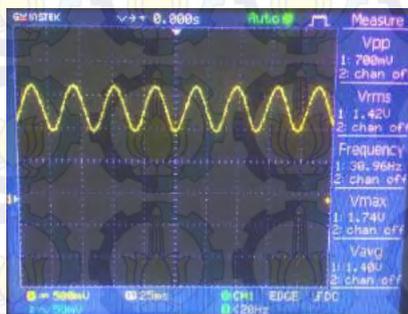


Gambar 4.19 Proses Pengujian *Filter* Digital

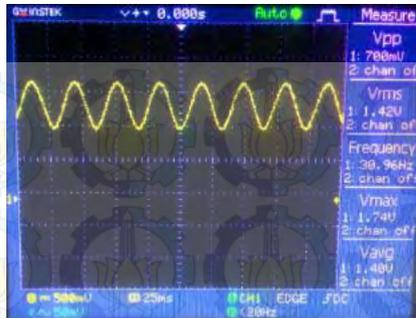
Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah *filter* digital mampu bekerja sesuai dengan perhitungan. Dalam pengujian ini, alat yang digunakan adalah 2 buah *Power Supply DC* +12 dan -12 volt, *Oscilloscope Digital*, *Function Generator*, Rangkaian *Zero and span* dan *Arduino Due*. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan dengan frekuensi bervariasi antara 1 Hz sampai 80 Hz dengan amplitudo 1 V_{p-p} seperti pada Gambar 4.19. Pada pengujian ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk membuktikan bahwa rangkaian *lowpass filter* ini sudah sesuai dengan perhitungan, yaitu nilai frekuensi keluaran sama atau mendekati nilai frekuensi masukan dan tegangan keluaran pada frekuensi *cut-off* sekitar 707 mV. Jika frekuensi masukan berada di atas frekuensi *cut-off*, maka tegangan keluaran akan lebih kecil dari tegangan masukan, semakin besar frekuensi semakin besar pula tegangan yang diredam.



Gambar 4.20 Hasil Pengujian *Filter* Digital dengan Frekuensi Masukan 16 Hz



Gambar 4.21 Hasil Pengujian *Filter* Digital Mencapai Frekuensi *Cut-Off*



Gambar 4.22 Hasil Pengujian *Filter* Digital Ketika Frekuensi Masukan Melebihi Frekuensi *Cut-Off*

Dari Gambar 4.20 diketahui frekuensi masukan berada di bawah frekuensi *cut-off* yaitu 16 Hz, sehingga sinyal diloloskan (tegangan keluaran mendekati atau sama dengan tegangan masukan). Hal ini sesuai dengan prinsip kerja *lowpass filter*, yaitu meloloskan frekuensi yang berada di bawah frekuensi *cut-off* dan meredam frekuensi yang berada di atas frekuensi *cut-off*.

Ketika sinyal masukan berada pada frekuensi *cut-off*, tegangan keluaran akan bernilai 707mV (atau mendekati) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.21. Ketika sinyal masukan berada di atas frekuensi *cut-off*, tegangan keluaran akan diredam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.22. Semakin besar frekuensi masukan, maka tegangan keluarannya akan semakin kecil (mendekati nol).

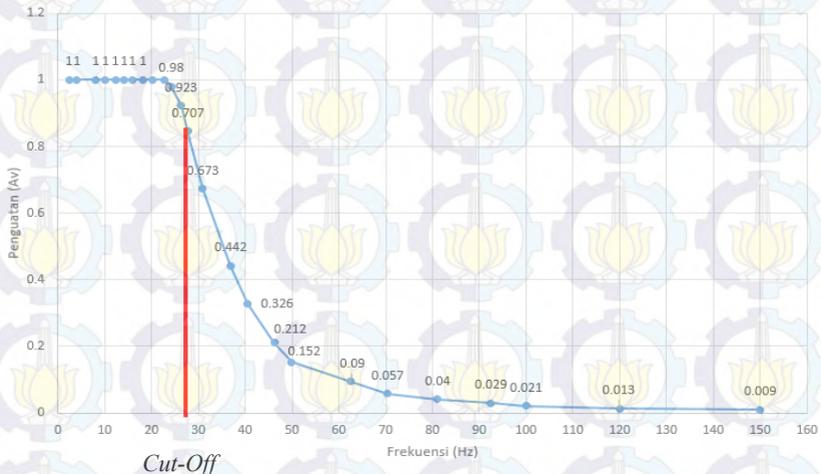
Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Filter* Digital

No	f_{input} (Hz)	f_{output} (Hz)	V_{input} (mV)	V_{output} (mV)
1	2	2,356	1040	1040
2	4	4,065	1040	1040
3	8	8,078	1040	1040
4	10	10,16	1040	1040
5	12	12,25	1040	1040
6	14	14,17	1040	1040
7	16	15,91	1040	1040
8	18	18,18	1040	1040

9	20	20,08	1040	1040
10	22	22,78	1040	1040
11	24	24,21	1040	1020
12	26	26,31	1040	960
13	28	27,78	1040	880
14	30	30,96	1040	700
15	37	36,9	1040	460
16	40	40,49	1040	340
17	46	46,23	1040	220
18	50	49,9	1040	158
19	62	62,54	1040	98
20	70	70,42	1040	60
21	81	81,12	1040	42
22	92	92,48	1040	30
23	100	100	1040	22
24	120	120	1040	14
25	150	150	1040	10

Ketika frekuensi sinyal masukan berada di bawah frekuensi *cut-off*, yaitu sekitar 1 Hz sampai 24 Hz, tegangan keluaran memiliki nilai yang hampir mendekati tegangan masukan. Ketika frekuensi sinyal masukan mulai mencapai 26 Hz, tegangan keluaran sudah mulai menurun (mulai diredam namun peredamannya hanya sedikit) dikarenakan mulai mendekati frekuensi *cut-off*. Ketika sinyal masukan berada di atas frekuensi *cut-off*, tegangan keluaran sudah mulai diredam hingga akhirnya akan mendekati nol. Frekuensi masukan pada pengujian ini hanya sampai 150 Hz, karena tegangan keluaran pada range tersebut sudah sangat kecil, yaitu sekitar 10 mVp-p. Frekuensi masukan dan frekuensi keluaran memiliki nilai yang hampir sama, namun memiliki nilai amplitudo yang berbeda ketika frekuensi sinyal masukan berada di atas frekuensi *cut-off*. Pada Gambar 4.23 yang merupakan grafik respon sinyal dari *filter* digital, diketahui frekuensi *cut-off* berada pada 27.78 Hz. Peredaman frekuensi masukan yang berada di atas frekuensi *cut-off* tidak sebagai *filter* analog dikarenakan orde yang digunakan lebih kecil

daripada orde *filter* analog. Meskipun demikian peredamannya lumayan bagus, terutama untuk sinyal masukan yang berda pada range 50-60 Hz. Artinya *filter* digital ini mampu meredam nosie dari jala-jala PLN yang memiliki frekuensi sekitar 50-60 Hz serta meredam sinyal *noise* dari luar lainnya.



Gambar 4.23 Grafik Respon *Filter* Digital

4.6 Pengujian Range Jangkauan *Bluetooth* HC-05

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak jangkauan yang mampu dicapai oleh modul *Bluetooth* HC-05 dalam melakukan komunikasi antara 2 perangkat, yaitu antara Arduino dan *Android*. Pengujian jarak dilakukan dalam dua kondisi, yaitu komunikasi *Bluetooth* tanpa adanya halangan dan dengan adanya halangan.

Tabel 4.7 Pengujian Jarak *Bluetooth* HC-05 Tanpa Halangan

Jarak (meter)	kondisi	Status
5	tanpa halangan	Terhubung
10	tanpa halangan	Terhubung
15	tanpa halangan	Terhubung
20	tanpa halangan	Terhubung
25	tanpa halangan	Terhubung

30	tanpa halangan	Koneksi Jelek
35	tanpa halangan	Koneksi Jelek
>35	tanpa halangan	tidak terhubung

Pada Tabel 4.7 di atas, dapat disimpulkan bahwa jarak yang dapat dijangkau oleh *Bluetooth* tipe HC-05 tanpa adanya penghalang yaitu sejauh 25 meter. *Android* masih dapat menerima data dengan baik pada jarak 0 sampai 25 meter, sedangkan jika jaraknya mencapai 25 sampai 35 meter, perangkat masih terhubung namun koneksinya buruk (data yang diterima oleh *Android* tersendat, sehingga tidak dapat berjalan dengan baik). Jika jarak lebih dari dari 35 meter, maka *Android* tidak dapat menerima data (koneksi terputus).

Pengujian dengan adanya halangan dilakukan di dua ruangan berbeda, yaitu arduino yang terhubung dengan modul *Bluetooth* HC-05 berada ruang A dan *Android* yang bertugas menerima data dari arduino berada diruang B. Berdasarkan data yang diperoleh pada table 4.8, jarak terjauh yang dapat dijangkau oleh *Bluetooth* jika berbeda ruangan adalah sejauh 10,4 meter saja.

Tabel 4.8 Pengujian Jarak *Bluetooth* HC-05 dengan Halangan

Jarak (meter)	kondisi	Status
1	dengan halangan	Terhubung
6	dengan halangan	Terhubung
10	dengan halangan	Terhubung
>10	dengan halangan	tidak terhubung

4.7 Pengujian *Interface* di *Android*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah aplikasi *Android* yang telah direalisasikan mampu menampilkan gelombang dengan baik atau belum. Dalam pengujian ini, alat yang digunakan adalah 2 buah *power supply DC* +12 dan -12 volt, *Android* yang sudah diinstall aplikasi penampil gelombang, Modul *Bluetooth* HC-05, Rangkaian *Zero and span* serta Arduino. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan pada rangkaian *zero and span* melalui *Function Generator*, kemudian sinyal keluaran dari rangkaian *zero and span* masuk ke ADC

Arduino dan akan dikirim ke *Android* melalui *Bluetooth* HC-05 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.24 berikut

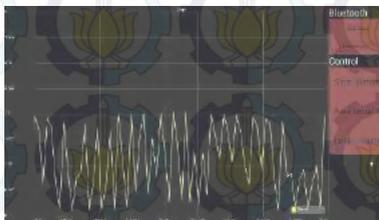


Gambar 4.24 Proses Pengujian Rangkaian



(a)

(b)



(c)

Gambar 4.25 Hasil Pengujian Aplikasi *Android* (a) dengan Masukan 2 Hz, (b) dengan Masukan 6 Hz, (c) dengan Masukan 20 Hz

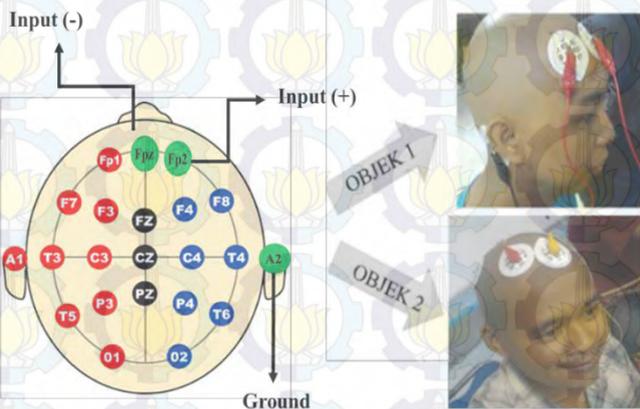
Pada Gambar 4.25, aplikasi *Android* yang dibuat telah mampu menampilkan gelombang berdasarkan data yang dikirim dari Arduino

melalui *Bluetooth*. Namun aplikasi ini memiliki kelemahan, yaitu hanya mampu menampilkan gelombang dengan baik ketika diberi sinyal masukan yang memiliki frekuensi dibawah 2 Hz. Semakin besar frekuensi masukan, maka bentuk gelombang akan semakin tidak bagus. Hal itu dikarenakan banyaknya *delay* yang ada pada aplikasi *Android*, sehingga menyebabkan perbedaan *time sampling* antara arduino dengan *Android*.

4.8 Pengujian Rangkaian pada Objek

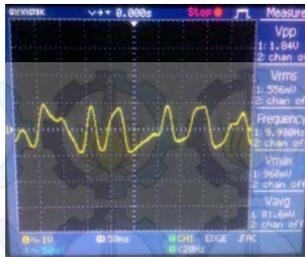
Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang sinyal otak yang mampu disadap oleh rangkaian dengan beberapa pola peletakan yang berbeda. Pada pengujian ini, kami mencoba menyadap sinyal otak pada 2 objek dengan 3 pola peletakan sensor elektroda yang berbeda, yaitu Fpz-Fp2-Ground, Cz-C4,Ground dan T5-P3-Ground.

4.8.1 Pengujian Rangkaian dengan Pola Fpz-Fp2

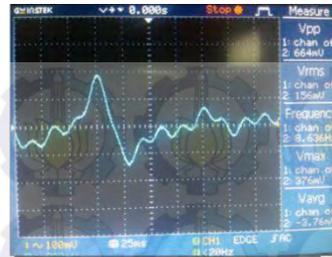


Gambar 4.26 Peletakan Elektroda dengan Pola Fpz-Fp2-Ground

Pada pola peletakan seperti pada Gambar 4.26 di atas, Fpz berperan sebagai titik negatif, Fp2 sebagai titik positif, dan posisi di belakang telinga sebagai titik *Ground* tubuh. Kedua objek diupayakan berada pada kondisi yang sama, yaitu dalam kondisi terbangun atau rileks dengan tujuan agar sinyal yang disadap yaitu berupa sinyal Alpha. Ketiga titik ini kemudian masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal sebagai masukan rangkaian.



(a)



(b)

Gambar 4.27 (a) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2

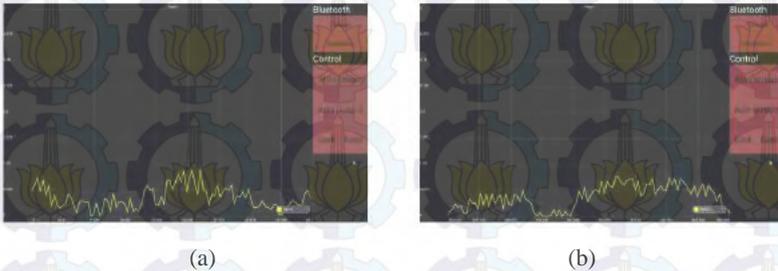
Hasil pengujian rangkaian ditampilkan pada oscilloscope untuk membantu proses pembacaan data seperti Gambar 4.27, sehingga diperoleh data pada Tabel 4.9. Objek pertama memiliki gelombang otak dengan frekuensi 9.980 Hz dan 8.636 Hz pada objek kedua. Sedangkan untuk nilai amplitudo setelah dikuatkan sekitar 25.000 kali, yaitu sebesar 960 mV dari objek pertama dan 376 mV dari objek kedua. Menurut perhitungan, amplitudo yang dihasilkan otak sekitar 38.4 μV untuk objek pertama dan 15.04 μV . Sinyal alpha memiliki frekuensi antara 8-12 Hz dan amplitudo mencapai 20-200 μV . Dari hasil pengujian yang didapat, frekuensi gelombang yang dihasilkan berada pada range frekuensi sinyal alpha, baik pada objek pertama maupun objek kedua.

Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian dengan Pola Fpz-Fp2

Pembacaan Data	Objek 1	Objek 2	Jenis Sinyal
Frekuensi (Hz)	9.980	8.636	<i>Alpha</i>
Vpp (mV)	1840	664	
Vmax(mV)	960	376	
Vpp Otak Sebelum Penguatan (μV)	38,4	15.04	

Pengujian selanjutnya yaitu mencoba mengirim sinyal yang telah disadap ke *Android* melalui *Bluetooth*. Hasil gelombang jauh berbeda dibandingkan dengan sinyal yang ditampilkan pada *oscilloscope*. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan *time sampling* antara program di *arduino*

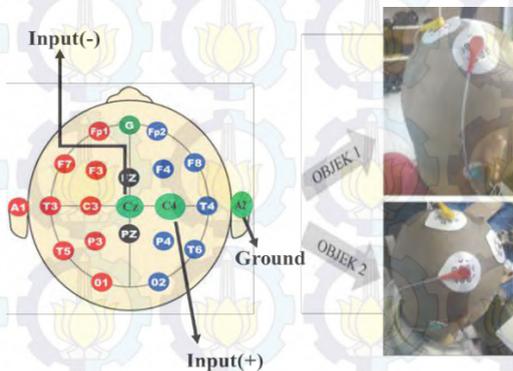
dengan program di *Android*. Berdasarkan pengujian aplikasi *Android*, aplikasi hanya bisa menampilkan bentuk gelombang dengan baik saat diberi sinyal masukan yang memiliki frekuensi di bawah 2 Hz saja. Sedangkan sinyal otak yang akan ditampilkan memiliki fekuensi antara 8-13 Hz. Oleh karena itu gelombang yang ditampilkan di *Android* memiliki bentuk gelombang yang sangat jelek seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.28.



Gambar 4.28 (a) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 2

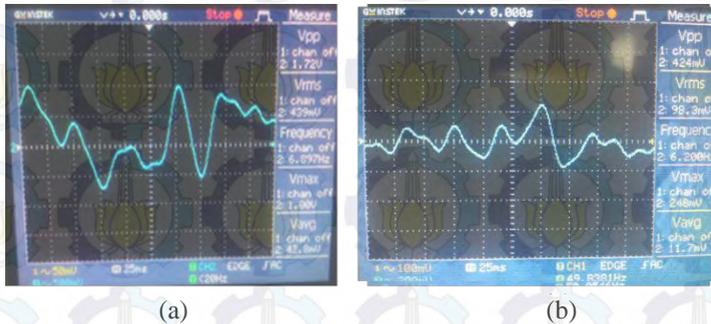
Berdasarkan bentuk gelombang dan data yang diperoleh, sesuai dengan Tabel 2.1 Frekuensi dan Amplitudo Gelombang Otak, Gelombang yang berhasil disadap dapat dikarakteristikan sebagai gelombang sinyal Alpha. (sinyal Alpha lebih dominan)

4.8.2 Pengujian Rangkaian dengan Pola Cz-C4



Gambar 4.29 Peletakan Elektroda dengan Pola Cz-C4-Ground

Pada pola peletakan Cz-C4, Cz berperan sebagai titik negatif, C4 sebagai titik positif, dan posisi di belakang telinga sebagai titik Ground tubuh seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.29. Sama halnya dengan pengujian sebelumnya, kedua objek diupayakan berada pada kondisi yang sama, yaitu dalam kondisi terbangun dan rileks sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 4.30



Gambar 4.30 (a) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2

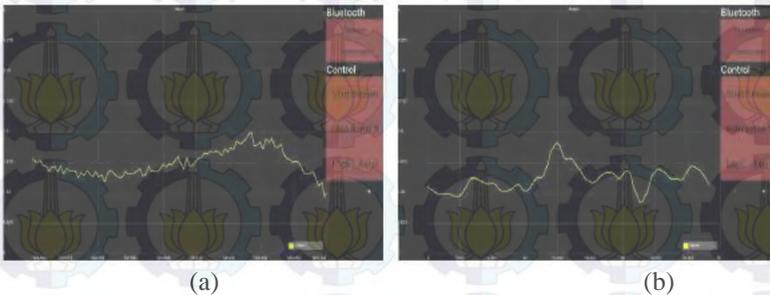
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian dengan Pola Cz-C4

Pembacaan Data	Objek 1	Objek 2	Jenis Sinyal
Frekuensi (Hz)	6.897	6.2	<i>Theta</i>
Vpp (mV)	1720	424	
Vmax (mV)	439	248	
Vpp Otak Sebelum Penguatan (μV)	17.56	9.92	

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan data berupa Tabel 4.10, yaitu gelombang otak pada objek 1 memiliki frekuensi 6.897 Hz dan pada objek 2 sebesar 6.2 Hz. Sedangkan amplitudo setelah dikuatkan sebesar ± 25000 kali, yaitu 439 mV pada objek 1 dan 248 mV pada objek 2. Menurut perhitungan, amplitudo yang dihasilkan otak sekitar 17.56 μV untuk objek pertama dan 9.92 μV untuk objek kedua. Berdasarkan besarnya data frekuensi dan amplitudo yang diperoleh, sinyal gelombang

Theta lebih dominan pada kedua objek. Gelombang Theta memiliki frekuensi sebesar 4-8Hz dan amplitude sekitar 10 μ V.

Kendala yang sama juga terjadi saat menampilkan gelombang sinyal otak pada *Android*. Karena *time sampling* antara program di arduino dan program di *Android* berbeda, bentuk gelombang sinyal otak yang ditampilkan di *Android* jauh berbeda dengan tampilan pada *oscilloscope*. Gelombang yang ingin ditampilkan di *Android* yaitu gelombang dengan frekuensi sekitar 4Hz-8Hz, sedangkan aplikasi *Android* hanya mampu menampilkan sinyal dalam frekuensi sekitar 2Hz, sehingga diperoleh tampilan seperti pada Gambar 4.31.

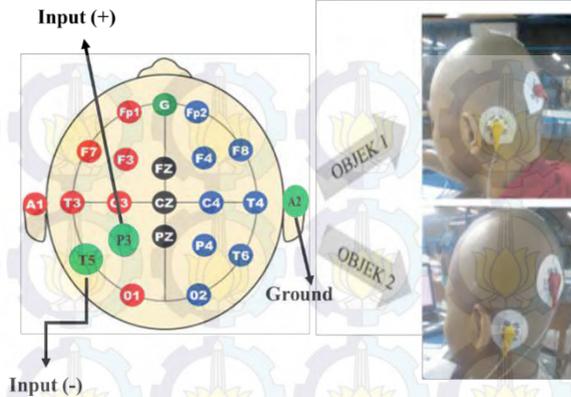


Gambar 4.31 (a) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 2

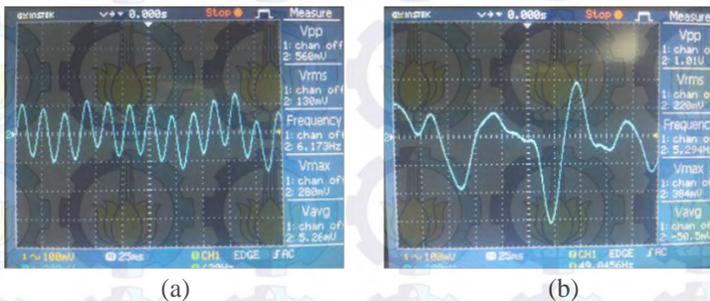
Dapat diambil kesimpulan bahwa berdasarkan besarnya data frekuensi dan amplitudo yang diperoleh, sinyal gelombang Theta lebih dominan pada kedua objek.

4.8.3 Pengujian Rangkaian dengan Pola T5-P3

Pada pengujian dengan pola penempatan T5-P3-Ground, objek dikondisikan dalam keadaan terbangun dan rileks. Titik positif tubuh diambil dari titik P3 dan titik T5 sebagai titik negatif tubuh, sedangkan untuk titik *ground* tubuh diambil dari titik dibawah daun telinga seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Peletakan Elektroda dengan Pola T5-P3-Ground



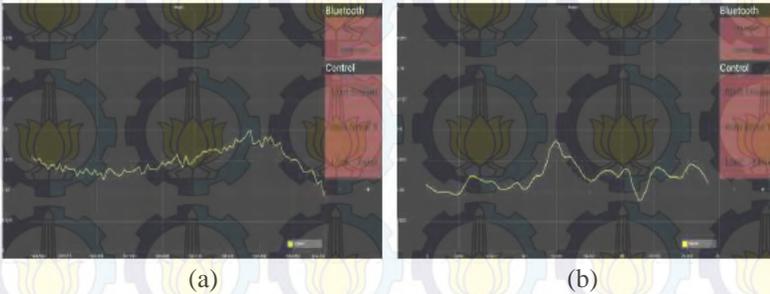
Gambar 4.33 Gelombang Sinyal Otak pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak pada Objek 2

Hasil pengujian rangkaian ditampilkan pada oscilloscope untuk membantu proses pembacaan data seperti Gambar 4.33. Dari hasil pengujian tersebut, didapatkan gelombang otak yang memiliki frekuensi sekitar 6.173 Hz pada objek pertama, dan 5.294 Hz pada objek kedua. Setelah dikuatkan sekitar 25.000 kali, didapatkan amplitudo sebesar 280 mV dari objek pertama dan 384 mV dari objek kedua. Menurut perhitungan, amplitudo yang dihasilkan otak sekitar $11.2\mu\text{V}$ untuk objek pertama dan $15.36\mu\text{V}$. Sinyal Theta memiliki kriteria frekuensi 4-8 Hz dan amplitudo sekitar $10\mu\text{V}$. Dari Tabel 4.11, frekuensi gelombang yang dihasilkan berada pada range frekuensi sinyal Theta, baik pada objek pertama maupun objek kedua.

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian dengan Pola T5-P3

Pembacaan Data	Objek 1	Objek 2	Jenis Sinyal
Frekuensi (Hz)	6.173	5.294	<i>Theta</i>
Vpp (mV)	560	1.01	
Vmax (mV)	280	384	
Vpp Otak Sebelum Penguatan (μ V)	11.2	15.36	

Pengujian selanjutnya yaitu mencoba mengirim sinyal yang telah disadap ke *Android* melalui *Bluetooth*. Karena *Android* hanya mampu menampilkan sinyal dengan frekuensi di bawah 2Hz, gelombang yang ditampilkan di *Android* memiliki bentuk gelombang yang sangat jelek seperti pada Gambar 4.34



Gambar 4.34 (a) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 1 (b) Gelombang Sinyal Otak di *Android* pada Objek 2

BAB V PENUTUP

Dari rangkaian *electroencephalograph* yang telah direalisasikan, didapatkan nilai presentase *error* dari setiap rangkaian. Untuk penguat diferensial AD620 memiliki presentase *error* tegangan keluaran sebesar 3.869823807%, penguat *non-inverting* dengan penguatan 11 kali diperoleh *error* tegangan keluaran sebesar 2.547731435 %, penguat *non-inverting* dengan penguatan 50 kali diperoleh *error* tegangan keluaran sebesar 1.168111828 %, sedangkan untuk lowpass filter analog, didapatkan frekuensi *cut-off* pada frekuensi 24 Hz. Artinya rangkaian ini dapat digunakan atau dilanjutkan untuk penelitian selanjutnya.

Ketika keluaran dari *zero-span* dihubungkan pada masukan *Arduino* (pinA5) dan *ground* rangkaian dihubungkan ke *ground Arduino*, sinyal otak yang ditampilkan terkadang memiliki bentuk gelombang lurus (bernilai nol). *Electroncephalograph* ini hanya mampu menampilkan sinyal otak yang dominan pada saat itu saja, belum mampu menampilkan level dari masing – masing sinyal *alpha*, *beta*, *tetha* dan *delta* secara bersamaan pada kondisi tertentu. Aplikasi android yang telah dibuat masih belum bisa menampilkan bentuk sinyal otak yang asli, karena adanya perbedaan *time sampling* antara *Arduino* dan *Android*.

Dengan adanya beberapa kendala yang terjadi, untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan elektroda khusus untuk EEG, agar sinyal yang didapat lebih bagus dan lebih fleksibel. Pada aplikasi android, perlu diperbaiki agar antara arduino dan android memiliki *time sampling* yang sama, sehingga bisa menampilkan bentuk gelombang yang bagus/ hampir sama dengan sinyal masukannya. Agar mampu menampilkan masing – masing sinyal secara bersamaan, sinyal otak yang telah disadap sebaiknya di proses lebih lanjut lagi menggunakan suatu metode khusus agar gelombang yang dihasilkan dapat dipecah dan dianalisa lebih lanjut lagi.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Coughlin, Robert F., dan Driscoll, Frederick F., “Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier” ,Erlangga, Jakarta, 1983
- [2] Amri, M.C., dan Adil, R.M.T. , “Rancang Bangun Modul Eeg Untuk Pengklasifikasian Keadaan Stress Dengan FIR”, *Tugas Akhir*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2011.
- [3] Bryan, S.M., “Pembuatan Aplikasi Penerima Data Eeg Tiga Kanal”, *Tugas Akhir*, Universitas Telkom Indonesia, Bandung, 2014.
- [4] Hapsoro, D., dan Adil, R. M.T. , “Desain Tutup Kepala Dengan Pemanfaatan Logam Cu Sebagai Aplikasi Untuk Menentukan Lokasi Sinyal Otak Saat Beraktifitas”, Tugas Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2011.
- [5] Pujitrestani, A.,” Analisis Spektrum Gelombang Otak Berbasis Fast Fourier Transform (Fft) Pada Studi Kasus Keadaan Normal Dan Epilepsi”, *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2013.
- [6] Putera,O.A.K., dan Faradisa, I.S. , “Rancang Bangun *Electroencephalograph* (EEG) Sebagai Perekam Dan Pendeteksi Sinyal Biolistrik Otak Yang Terintegrasi Dengan PC Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 “,*Tugas Akhir*, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, 2011 (ISSN: 2086-8944)
- [7] Rusli, J.W., Siwindarto, P., dan Nurussa’adah, “Desain Alat Instrumentasi Medis *Electroencephalograph* (EEG)”, Jurnal Seminar Hasil.
- [8] Teplan, M., “*Fundamentals Of Eeg Measurement*”, *Measurement Science Review, Slovak Academy Of Science*, Slovakia, 2002.
- [9] Thatcher, R., “Validity and reliability of quantitative EEG (QEEG)” *Journal of Neurotherapy*, 14 (2): 122-152. 2009.
- [10] Ujayantilal, S.Hardik.,” Interfacing of AT Command based HC-05 Serial Bluetooth Module”, Gujarat Technological University, Ahmedabad, India, 2014

- [11] Glenn, Elert,. “Frequency of Brain Waves”
<http://hypertextbook.com/facts/2004/SamanthaCharles.shtml>
(diakses tanggal 17 Februari 2016)
- [12] _____, “Arduino Board Due”
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue> (diakses pada
23 Februari 2016)
- [13] Lynas,Hezier,. “Human Brainwaves Mapping”
[http://www.psych.westminster.edu/psybio/BN/Labs/
Brainwaves.htm](http://www.psych.westminster.edu/psybio/BN/Labs/Brainwaves.htm) (diakses tanggal 17 Februari 2016)
- [14] Gayakwad Ramakant, *Op-Amps and Linear Integrated
Circuit*, Prentice Hall, New Jersey, 2000
- [15] Rizzo, Eric,,”Android Development Info”
<http://www.eclipse.org/forum/index.php> (diakses tanggal 28
Februari 2016)

LAMPIRAN A

A.1. Listing Program pada Arduino

```
float
xkm1=0,xkm2=0,xkm3=0,xkm4=0,ykm1=0,ykm2=0,ykm3=0,ykm4=0,
yk,xk,a;
void setup() {
  Serial.begin(230400);
  analogReadResolution(12);
  analogWriteResolution(12);
}

void loop() {
  a = analogRead(A7);
  xk=a/4096*3.3;
  if(Serial.available(>0){ //menunggu adanya koneksi
    yk= 2.625*ykm1 - 2.317*ykm2 + 0.6863*ykm3 + 0.0006935*xk +
    0.002081*xkm1 + 0.002081*xkm2 + 0.0006935*xkm3;
    Serial.println(yk);
    delay(20);
    analogWrite(DAC1,yk);
    ykm3=ykm2;
    ykm2=ykm1;
    ykm1=yk;
    xkm3=xkm2;
    xkm2=xkm1;
    xkm1=xk;
  }
}
```



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN B

B.1 DATASHEET AD620



Low Cost Low Power
Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

Easy to use

- Gain set with one external resistor
(Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)

- 50 μ V max. input offset voltage
- 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max. input offset drift
- 1.0 nA max. input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio ($G = 10$)

Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth ($G = 100$)
- 15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

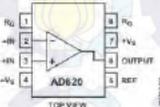


Figure 1. 8-Lead PDIP (A), CERDIP (Q), and SOIC (S) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max. and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max. is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max. is made possible by the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one-in-amp per channel.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Supply Voltage	± 18 V
Internal Power Dissipation ¹	650 mW
Input Voltage (Common-Mode)	$\pm V_S$
Differential Input Voltage	25 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range (Q)	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range (N, R)	-65°C to $+125^{\circ}\text{C}$
Operating Temperature Range	
AD620 (A, B)	-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
AD620 (S)	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$
Lead Temperature Range (Soldering 10 seconds)	300 $^{\circ}$ C

AD620

THEORY OF OPERATION

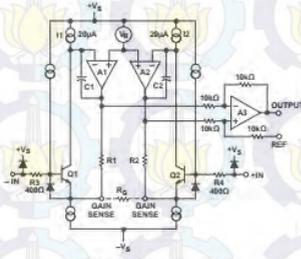


Figure 36. Simplified Schematic of AD620

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain accurately (to 0.15% at $G = 100$) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 36), yet offer 10 \times lower input bias current thanks to SuperBeta processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1 and Q2, thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor R_G . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by $G = (R1 + R2)/R_G + 1$. The unity-gain subtractor, A3, removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of R_G also determines the transconductance of the preamp stages. As R_G is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by C1 and C2 and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of 9 nV/√Hz, determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of 24.7 k Ω , allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1}$$

Medical ECG

The low current noise of the AD620 allows its use in ECG monitors (Figure 39) where high source resistances of 1 M Ω or higher are not uncommon. The AD620's low power, low supply voltage requirements, and space-saving 8-lead mini-DIP and SOIC package offerings make it an excellent choice for battery-powered data recorders.

Furthermore, the low bias currents and low current noise, coupled with the low voltage noise of the AD620, improve the dynamic range for better performance.

The value of capacitor C1 is chosen to maintain stability of the right leg drive loop. Proper safeguards, such as isolation, must be added to this circuit to protect the patient from possible harm.

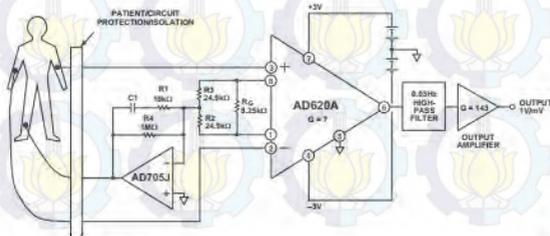
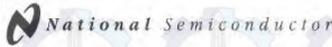


Figure 39. A Medical ECG Monitor Circuit

B.2. DATASHEET OP07



December 1994

OP-07 Low Offset, Low Drift Operational Amplifier

General Description

The OP-07 has very low input offset voltage which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current and high open-loop gain. The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain applications.

The wide input voltage range of $\pm 13\text{V}$ minimum combined with high CMRR of 110 dB and high input impedance provide high accuracy in the non-inverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained even at high closed-loop gains.

Stability of offsets and gain with time or variation in temperature is excellent.

The OP-07 is available in TO-99 metal can, ceramic or molded DIP.

For improved specifications, see the LM607.

Features

- Low V_{OS} 75 μV Max
- Low V_{OS} Drift 0.6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Max
- Ultra-Stable vs Time 1.0 $\mu\text{V}/\text{Month}$ Max
- Low Noise 0.6 $\mu\text{Vp-p}$ Max
- Wide Input Voltage Range $\pm 14\text{V}$
- Wide Supply Voltage Range $\pm 18\text{V}$
- Fits 725/108A/308A, 741, AD510 Sockets
- Replaces the $\mu\text{A}714$

Applications

- Strain Gauge Amplifiers
- Thermocouple Amplifiers
- Precision Reference Buffer
- Analog Computing Functions

Connection Diagram

Dual-In-Line Package



See NS Package Number N08E

TLH/10590-1

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

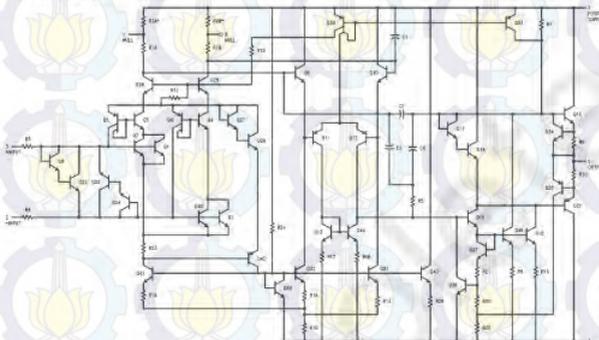
Supply Voltage	$\pm 22\text{V}$
Internal Power Dissipation (Note 5)	500 mW
Differential Input Voltage	$\pm 30\text{V}$
Input Voltage (Note 6)	$\pm 22\text{V}$
Output Short-Circuit Duration	Continuous

Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 60 sec.)	260°C
Junction Temperature	-65°C to $+150^\circ\text{C}$

Operating Temperature Range

OP-07E, OP-07C, OP-07D 0°C to $+70^\circ\text{C}$

Simplified Schematic



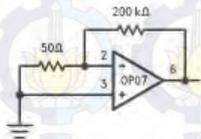
*R2A and R2B are electronically trimmed on chip at the factory for minimum offset voltage.

TLH/10590-5

OP-07 Low Offset, Low Drift Operational Amplifier

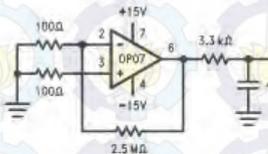
Test Circuits

Offset Voltage Test Circuit



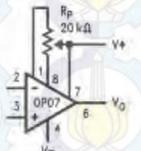
TL/H/10550-4

Low Frequency Noise Test Circuit



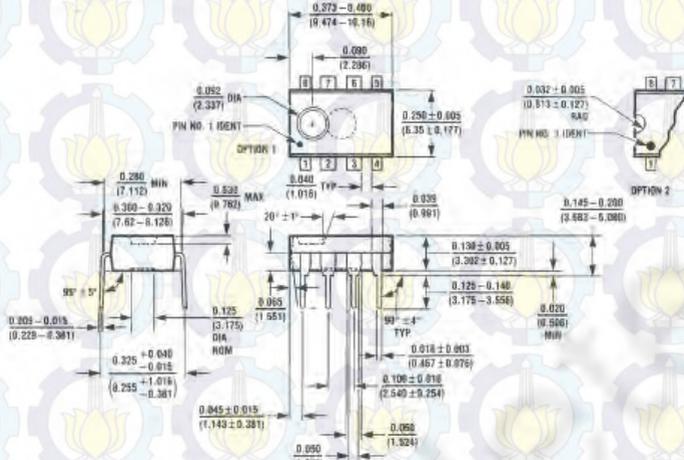
TL/H/10550-5

Optional Offset Nulling Circuit



TL/H/10550-6

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Order Number OP-07EP, OP-07CP or OP-07DP
NS Package Number N08E

B.3. DATASHEET LF347



LF147, LF347-N

www.ti.com

SNO6B11D—MAY 1999—REVISED MARCH 2013

LF147/LF347 Wide Bandwidth Quad JFET Input Operational Amplifiers

Check for Samples: LF147, LF347-N

FEATURES

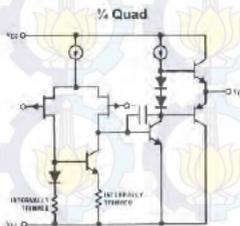
- Internally Trimmed Offset Voltage: 5 mV max
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Current: 0.01 pA/√Hz
- Wide Gain Bandwidth: 4 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 7.2 mA
- High Input Impedance: $10^{12} \Omega$
- Low Total Harmonic Distortion: $\leq 0.02\%$
- Low 1/f Noise Corner: 50 Hz
- Fast Settling Time to 0.01%: 2 μs

DESCRIPTION

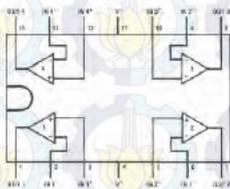
The LF147 is a low cost, high speed quad JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF147 is pin compatible with the standard LM148. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LF148 and LM124 designs.

The LF147 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift.

Simplified Schematic



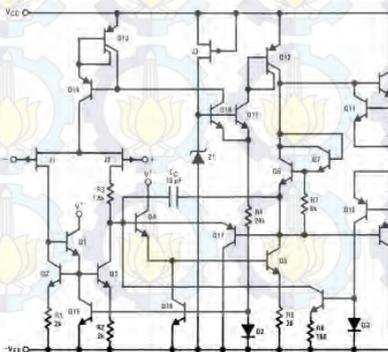
Connection Diagram



LF147 available as per JM38510/11905.

Figure 1. 14-Pin PDIP / CDIP / SOIC
Top View
See Package Number J0014A, D0014A or
NFF0014A

Detailed Schematic



Absolute Maximum Ratings ⁽¹⁾⁽²⁾

		LF147	LF347B/LF347
Supply Voltage		±22V	±18V
Differential Input Voltage		±38V	±30V
Input Voltage Range ⁽³⁾		±19V	±15V
Output Short Circuit Duration ⁽⁴⁾		Continuous	Continuous
Power Dissipation ^{(5) (6)}		900 mW	1000 mW
T _J max		150°C	150°C
θ _{JA}	CDIP (J) Package		70°C/W
	PDIP (NFF) Package		75°C/W
	SOIC Narrow (D)		100°C/W
	SOIC Wide (D)		85°C/W
Operating Temperature Range		See ⁽⁷⁾	See ⁽⁷⁾
Storage Temperature Range		-65°C ≤ T _A ≤ 150°C	
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)		260°C	260°C
Soldering Information	PDIP / CDIP	Soldering (10 seconds)	260°C
	SOIC Package	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
		Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Tolerance ⁽⁸⁾			900V

DC Electrical Characteristics ⁽¹⁾⁽²⁾

Symbol	Parameter	Conditions	LF147			LF347B			LF347			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S =10 kΩ, T _A =25°C Over Temperature		1	5		3	5		5	10	mV mV
ΔV _{OS} /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R _S =10 kΩ		10			10			10		μV/°C
I _{OS}	Input Offset Current	T _A =25°C, ^{(2) (3)} Over Temperature		25	100		25	100		25	100	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _A =25°C, ^{(2) (3)} Over Temperature		50	200		50	200		50	200	pA nA
R _{IN}	Input Resistance	T _A =25°C		10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		Ω

DC Electrical Characteristics ⁽¹⁾⁽²⁾ (continued)

Symbol	Parameter	Conditions	LF147			LF347B			LF347			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S =±15V, T _A =25°C V _O =10V, R _L =2 kΩ	50	100		50	100		25	100		V/mV
		Over Temperature	25			25			15			V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S =±15V, R _L =10 kΩ	±12	±13.5		±12	±13.5		±12	±13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S =±15V	±11	+15 -12		±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S ≤10 kΩ	80	100		80	100		70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	See ⁽⁴⁾	80	100		80	100		70	100		dB
I _S	Supply Current		7.2	11		7.2	11		7.2	11		mA

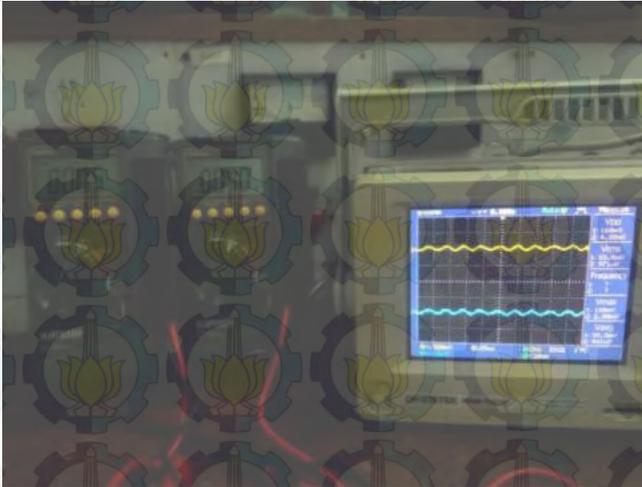
AC Electrical Characteristics ⁽¹⁾⁽²⁾

Symbol	Parameter	Conditions	LF147			LF347B			LF347			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T _A =25°C, f=1 Hz–20 kHz (Input Referred)		-120			-120			-120		dB
SR	Slew Rate	V _S =±15V, T _A =25°C	8	13		8	13		8	13		V/μs
GBW	Gain-Bandwidth Product	V _S =±15V, T _A =25°C	2.2	4		2.2	4		2.2	4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A =25°C, R _S =100Ω, f=1000 Hz		20			20			20		nV / √Hz
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _A =25°C, f=1000 Hz		0.01			0.01			0.01		pA / √Hz
THD	Total Harmonic Distortion	A _V =+10, R _L =10k, V _O =20 Vp-p, BW=20 Hz–20 kHz		<0.0 2			<0.0 2			<0.0 2		%

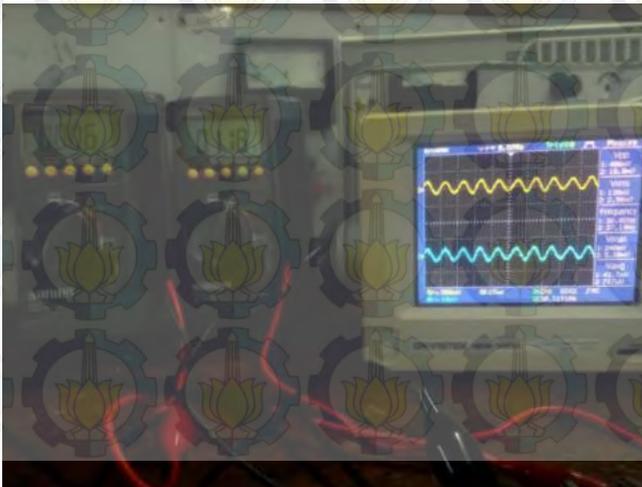
LAMPIRAN C PENGUJIAN ALAT

C.1. PENUJIAN RANGKAIAN PENGUAT DIFERENSIAL

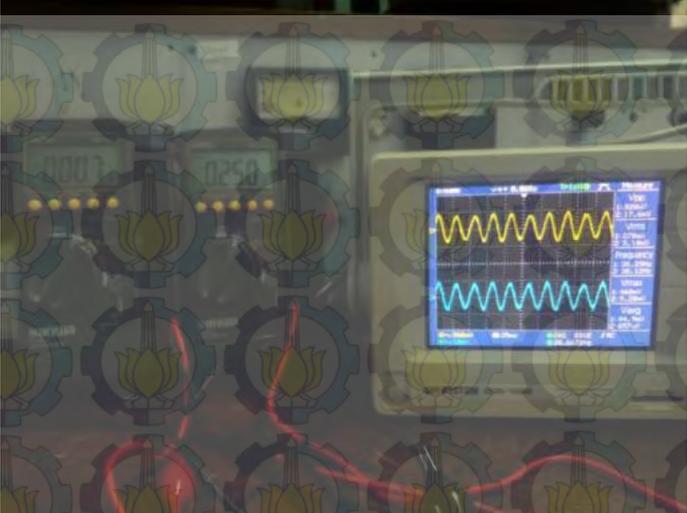
a. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 5 mV



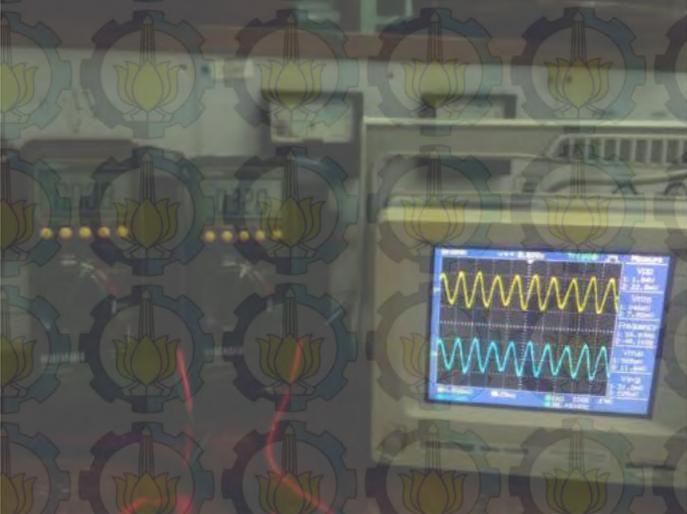
b. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 6 mV



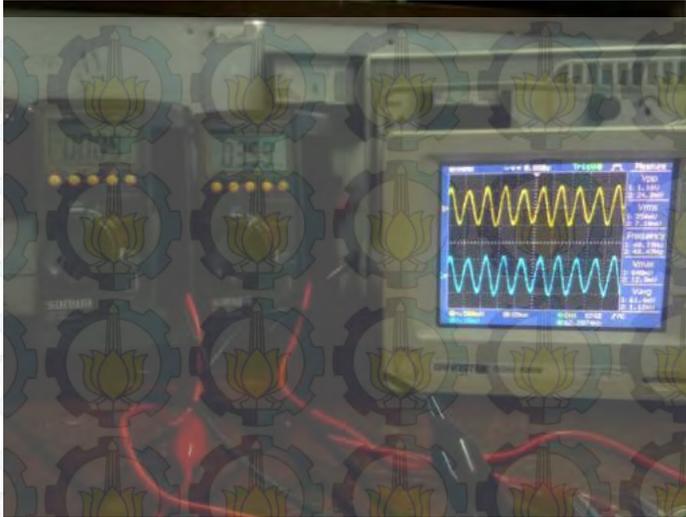
c. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 7 mV



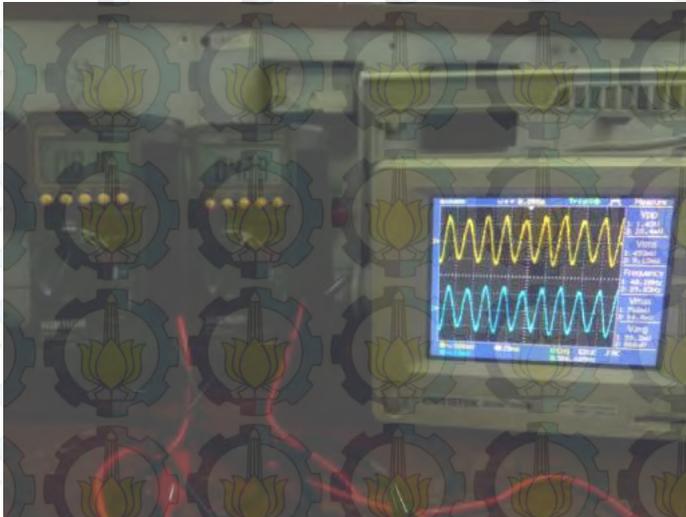
d. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 8 mV



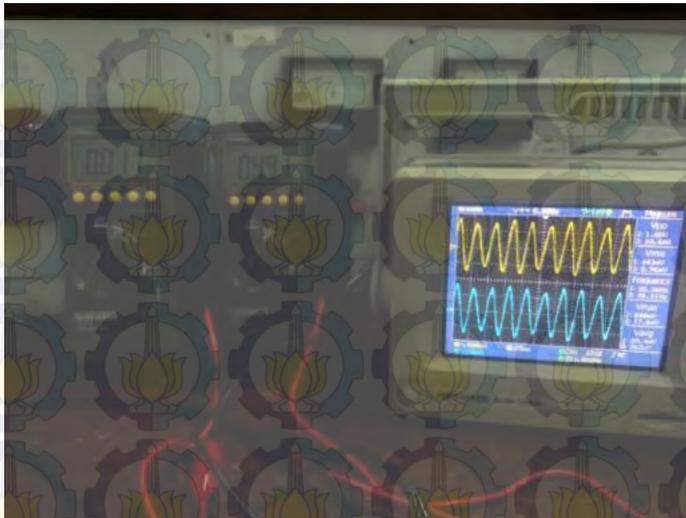
e. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 9 mV



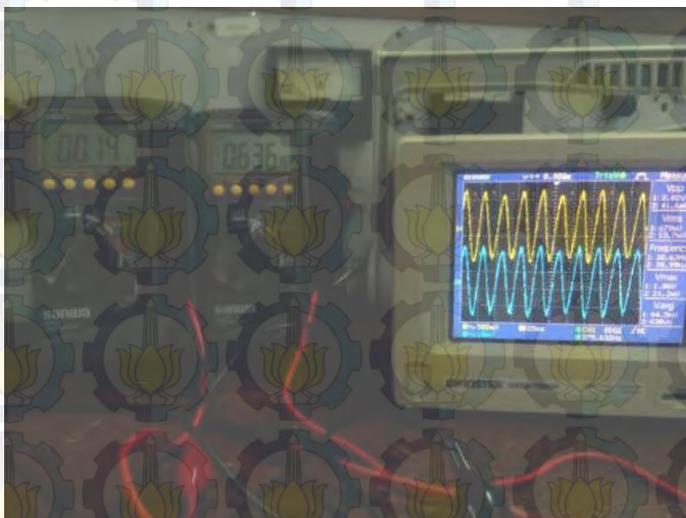
f. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 10 mV



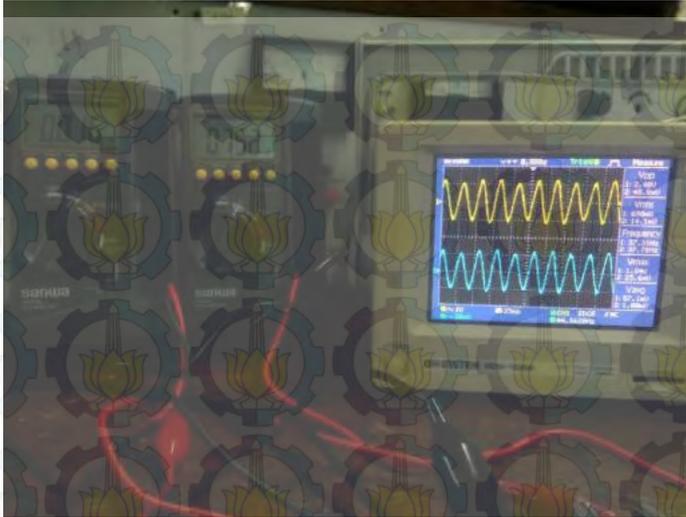
- g. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 11 mV



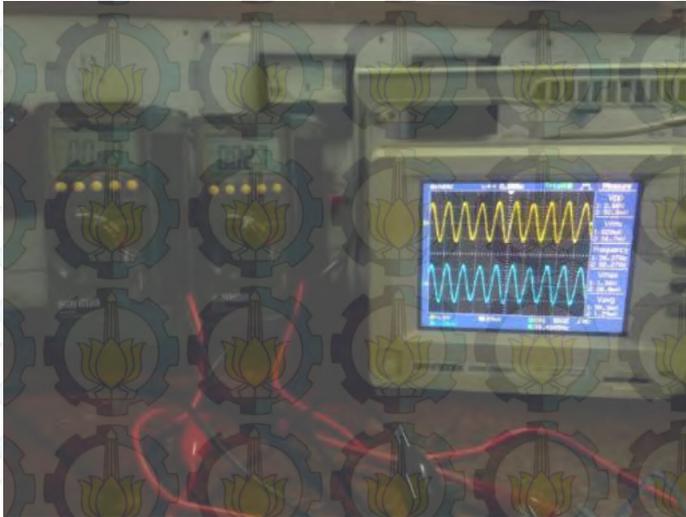
- h. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 14 mV



i. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 16 mV

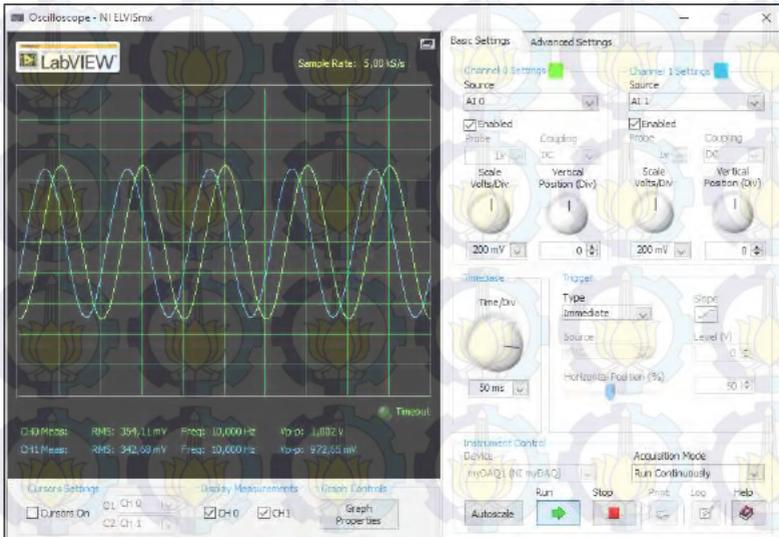


j. Penujian Rangkaian Penguat Diferensial dengan masukan 18 mV

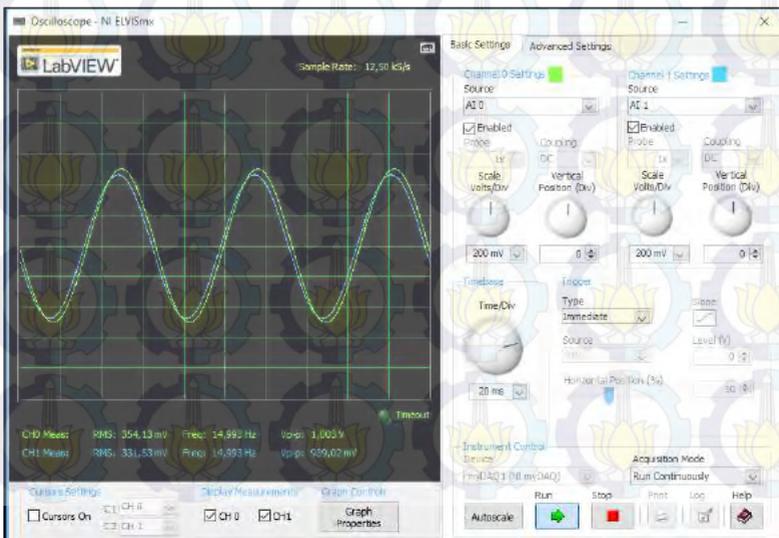


C.2. PENGUJIAN FILTER ANALOG

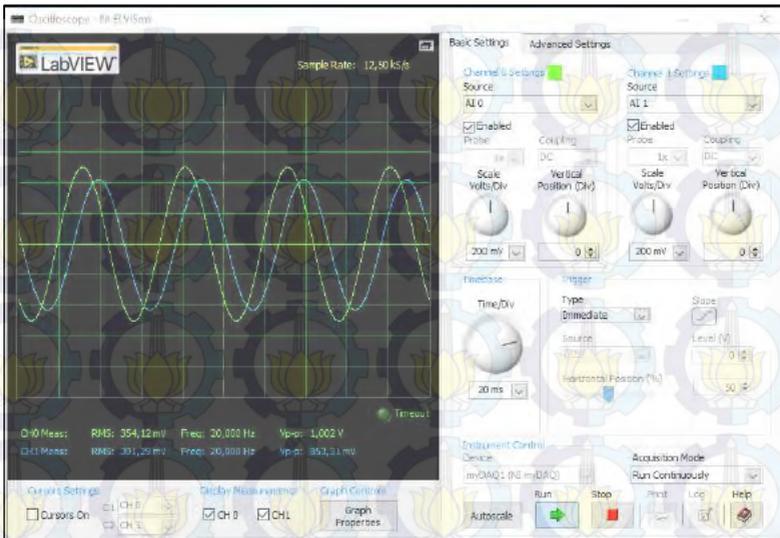
a. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 10 Hz



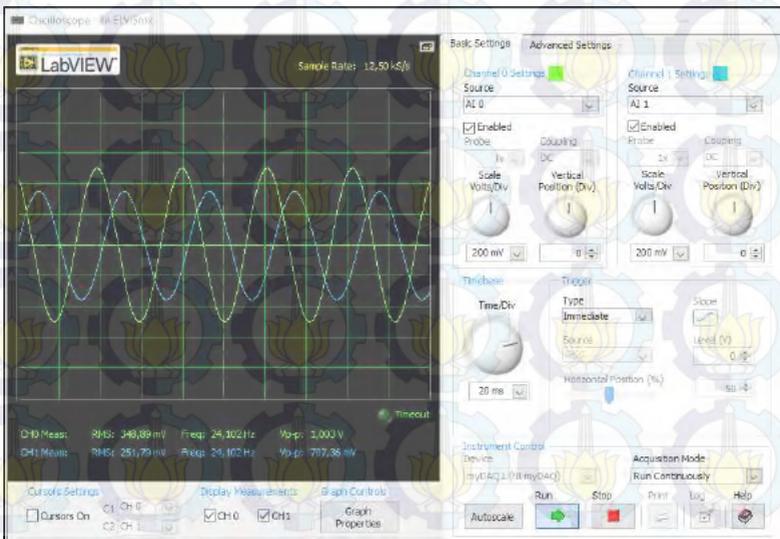
b. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 15 Hz



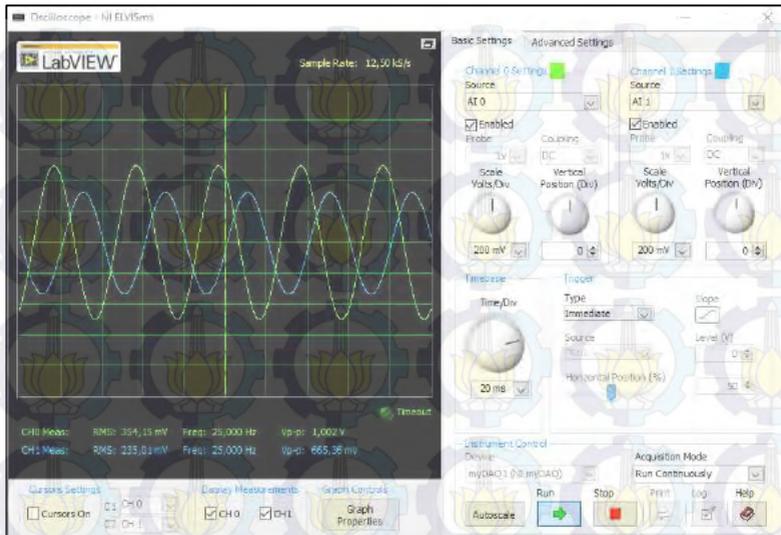
c. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 20 Hz



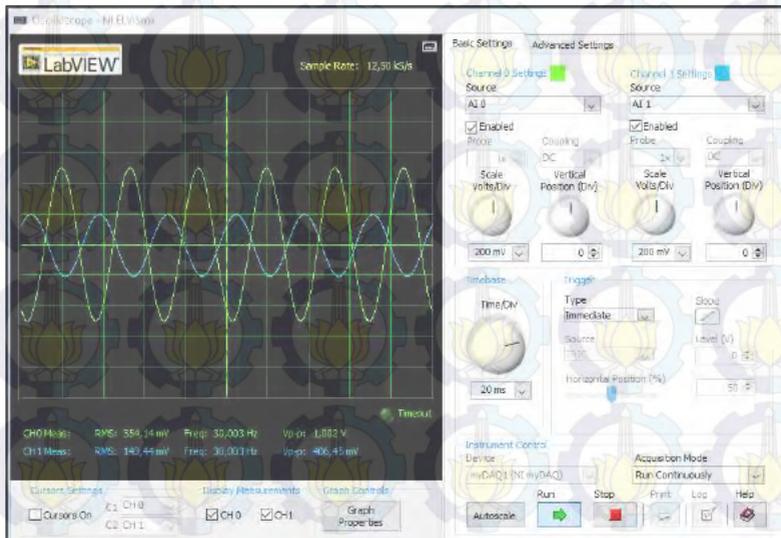
d. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 24 Hz



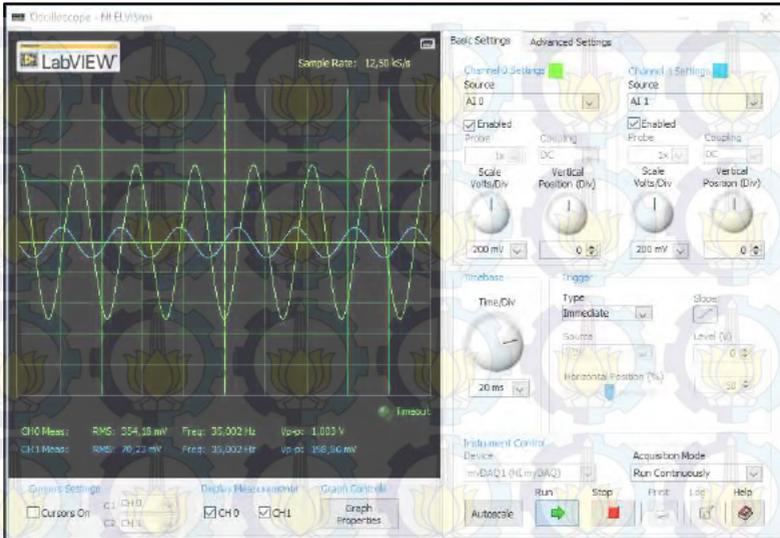
e. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 25 Hz



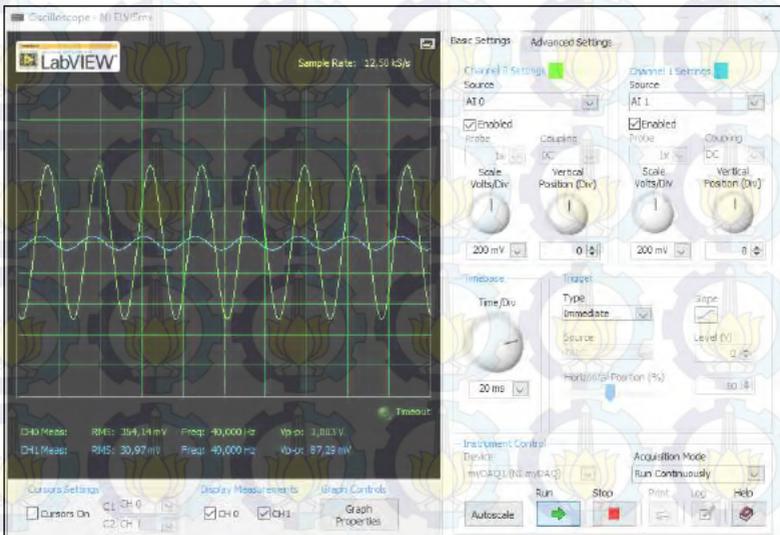
f. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 30 Hz



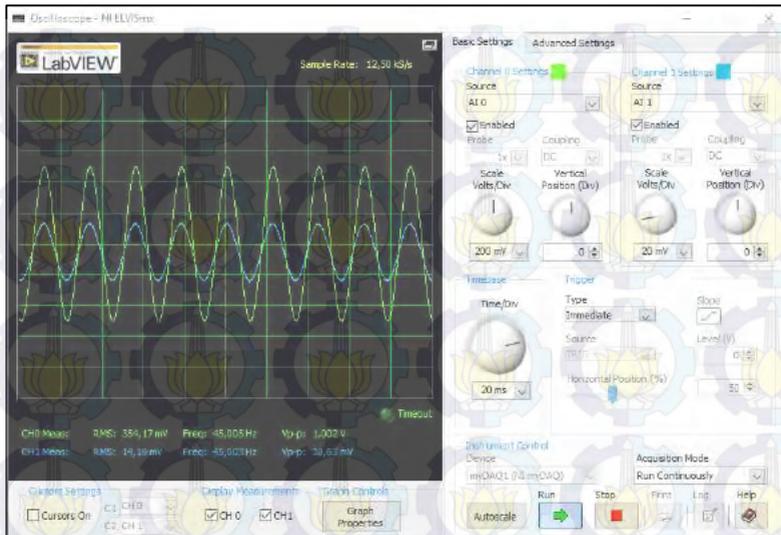
g. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 35 Hz



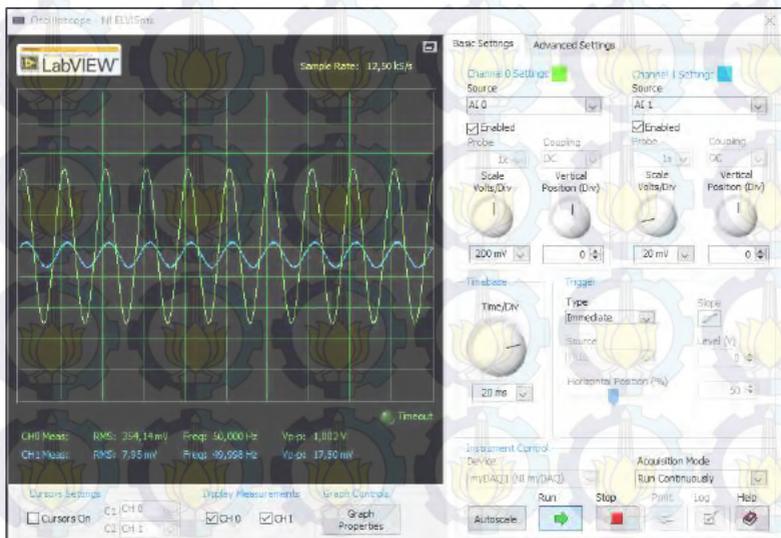
h. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 40 Hz



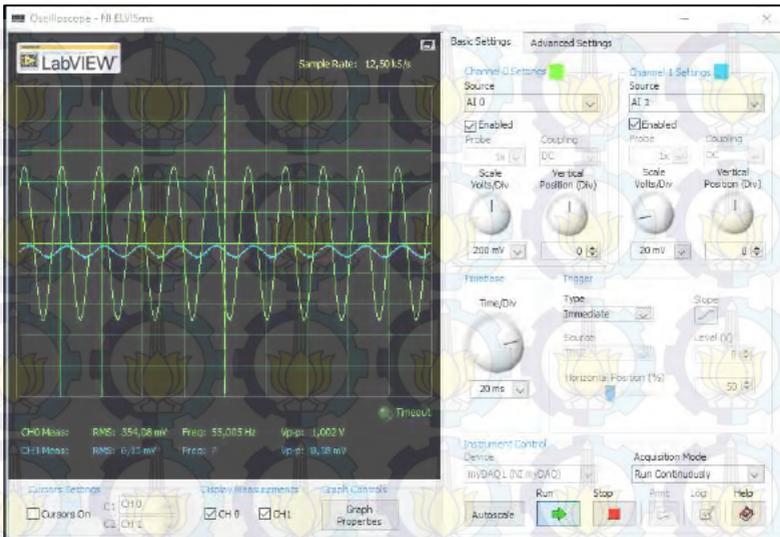
i. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 45 Hz



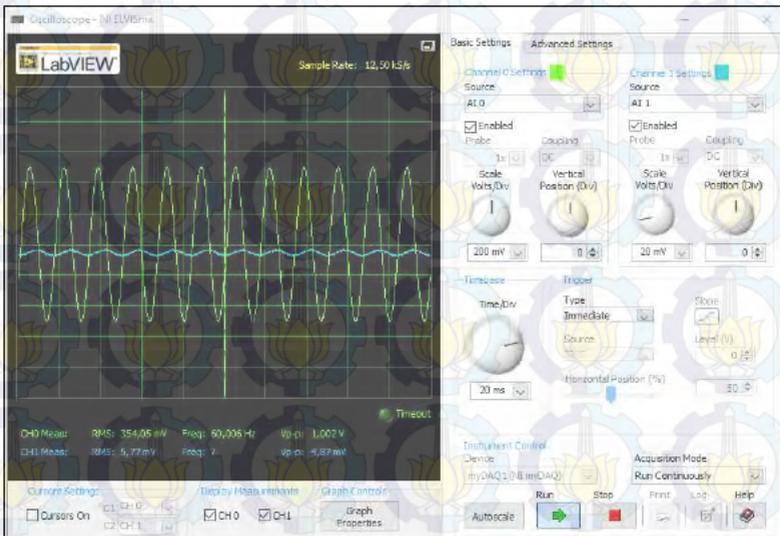
j. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 50 Hz



k. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 55 Hz

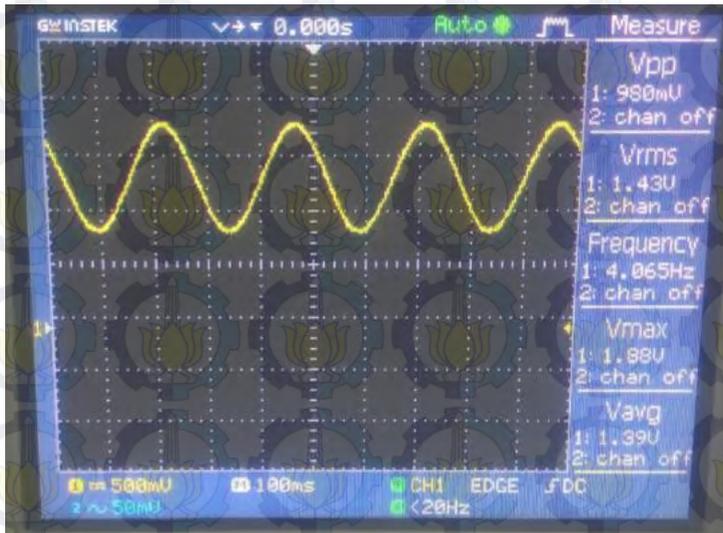


l. Pengujian Filter Analog Dengan Frekuensi Masukan 60 Hz

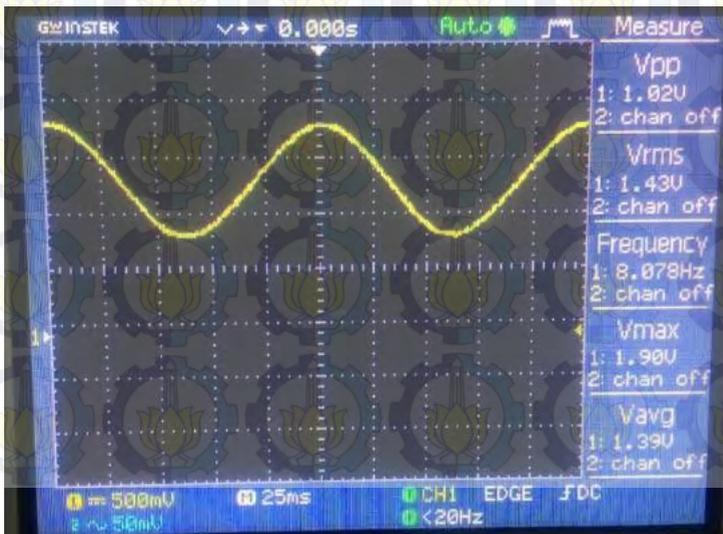


C.3. PENGUJIAN FILTER DIGITAL

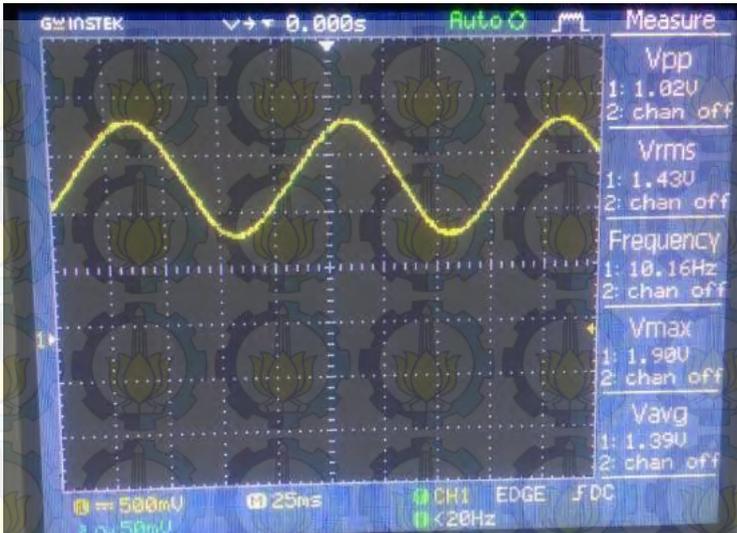
a. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 4 Hz



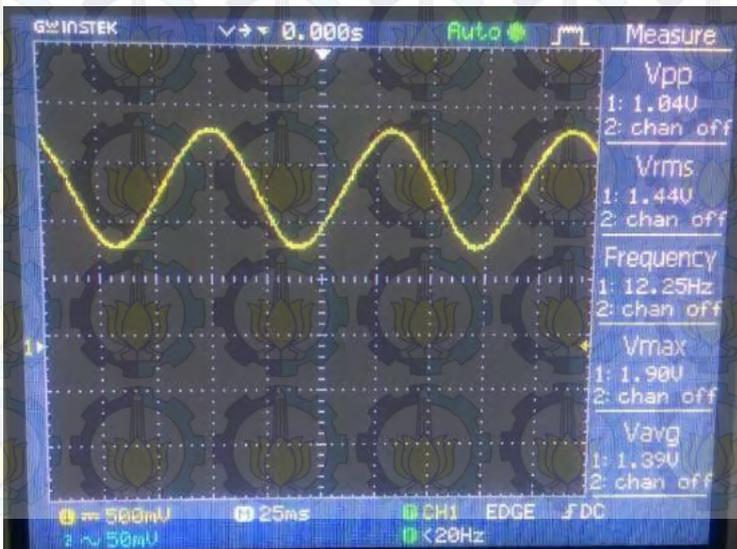
b. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 8 Hz



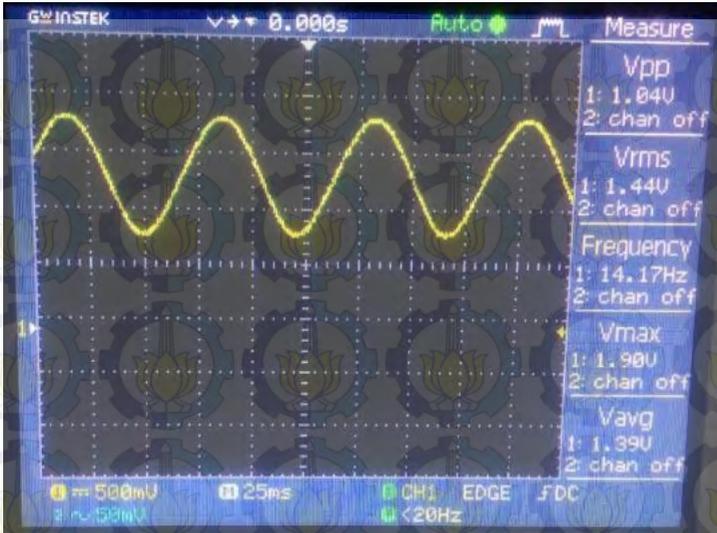
c. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 10 Hz



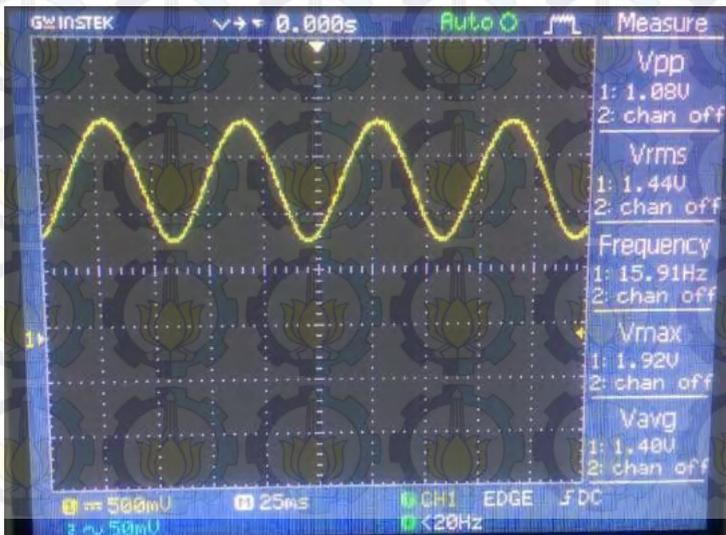
d. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 12 Hz



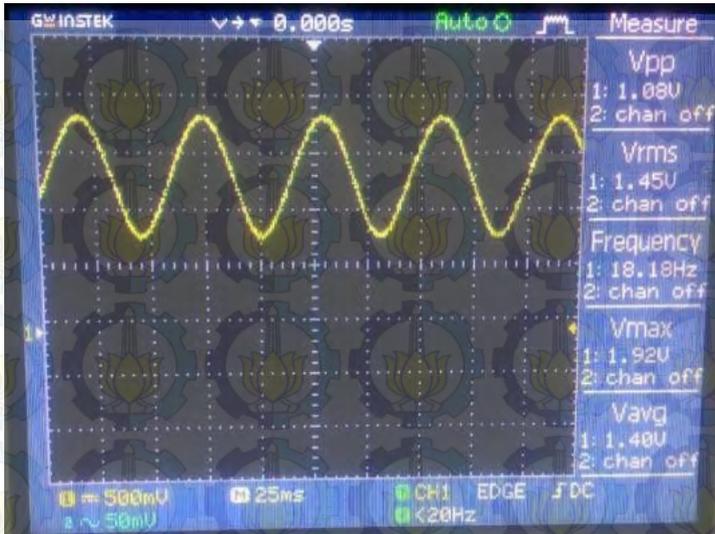
e. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 14 Hz



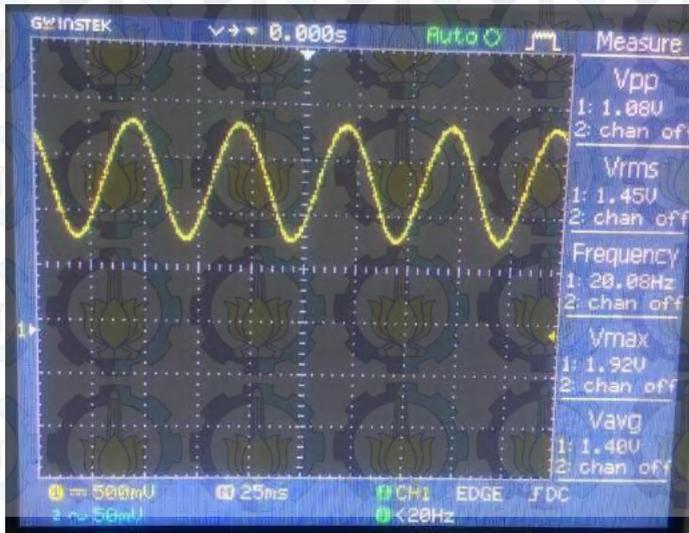
f. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 16 Hz



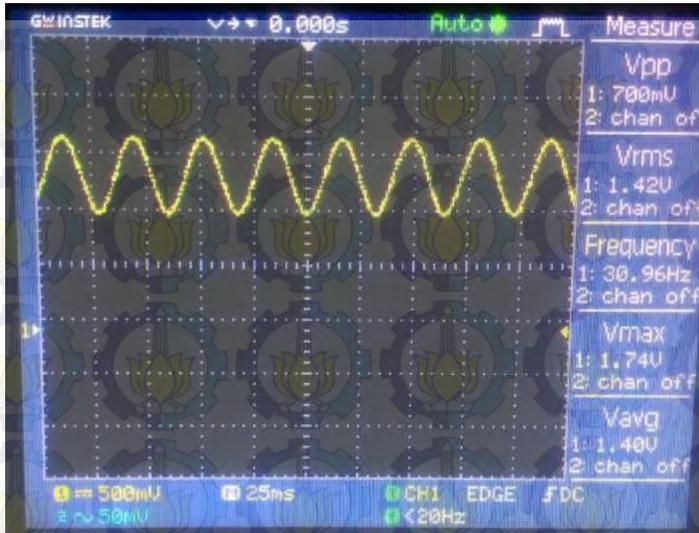
g. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 18 Hz



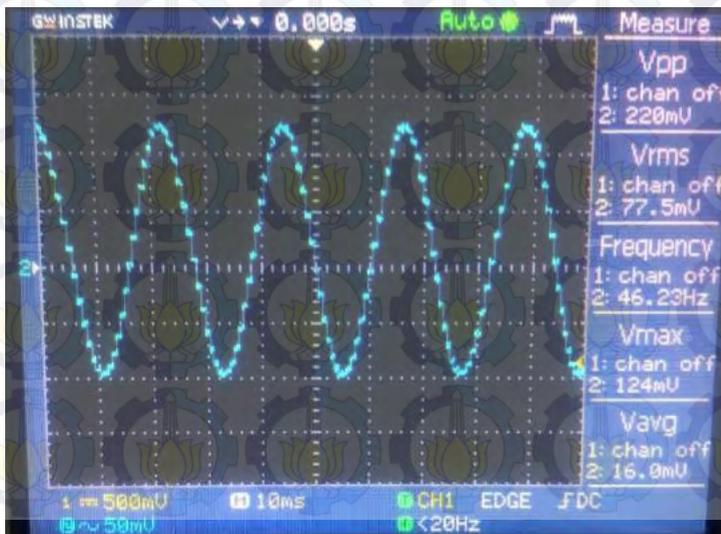
h. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 30 Hz



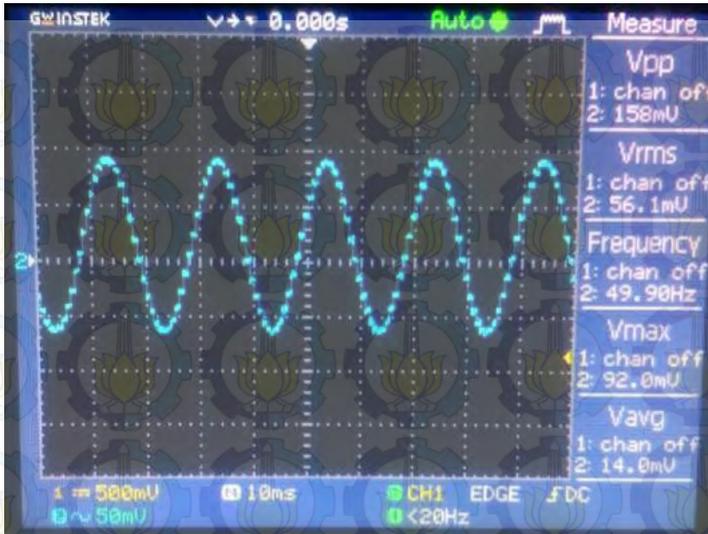
i. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 30 Hz



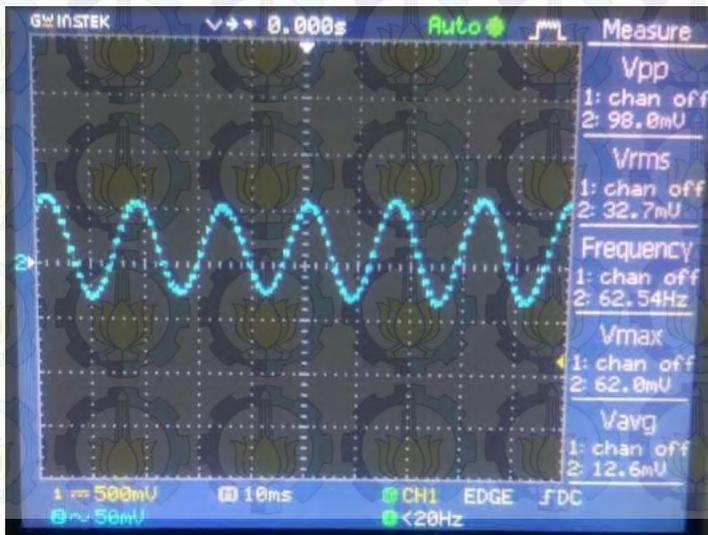
j. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 46 Hz



k. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 50 Hz

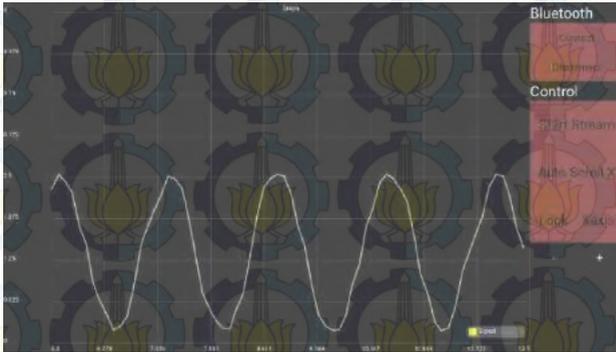


l. Pengujian Filter Digital Dengan Frekuensi Masukan 62 Hz

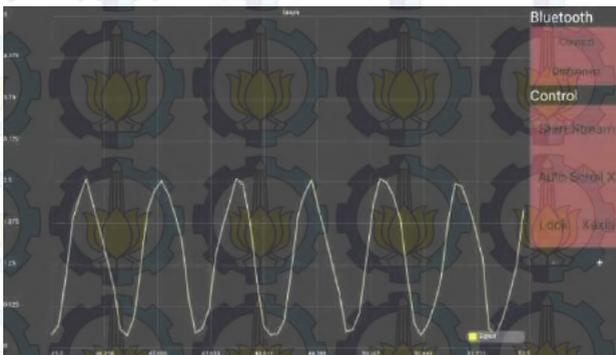


C.4. PENGUJIAN APLIKASI ANDROID

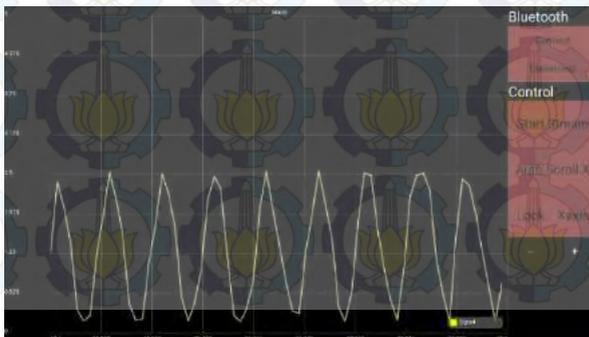
a. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 2 Hz



b. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 3 Hz



c. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 4 Hz



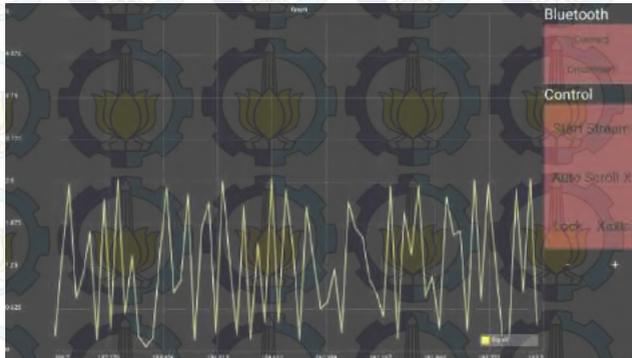
d. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 5 Hz



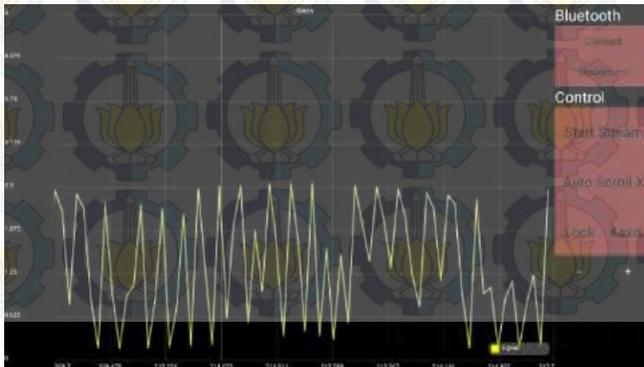
g. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 10 Hz



h. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 15 Hz



i. Pengujian Aplikasi Android Dengan Frekuensi Masukan 20 Hz



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Raden Ajeng Mumtaz S.
TTL : Gresik, 17 Maret 1995
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : JL. Sultan Abdurrahman V
no 7, Sumenep
Telp/HP : 085730355533
E-mail :
mumtaz.sakinah17@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SDN Pangarangan 1 Sumenep
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 1 Sumenep
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 1 Sumenep
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro Komputer Kontrol - FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT CNC Controller Indonesia

PENGALAMAN ORGANISASI

1. Pemandu Kompas FTI ITS
2. Asisten Laboratorium Elektronika Dasar BB102 D3 Teknik Elektro ITS 2015-2016



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Septian Maulana Hidayad
TTL : Pamekasan, 07 September
1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Desa Montok, Kec.
Larangan, Kab. Pamekasan
Telp/HP : 081249474047
E-mail : salbhut@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SDN Montok I
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 2 Larangan
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 3 Pamekasan
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro, Program Studi
Teknik Elektro Komputer Kontrol - FTI Institut
Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. Oriental Abadi Indonesia

PENGALAMAN ORGANISASI

1. Staff Departemen Riset dan Teknologi HIMAD3TEKTRO
2014-2015
2. Kepala Departemen Riset dan Teknologi HIMAD3TEKTRO
2015-2016
3. Koordinator Asisten Laboratorium Elektronika Dasar BB102 D3
Teknik Elektro ITS 2015-2016