

**RANCANG BANGUN INSTRUMEN PEREKAM DETAK JANTUNG  
MANUSIA BERBASIS *TRANSMISSION PHOTOPLETHYSMOGRAPH***

**SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun Oleh:

**KHARISMAJI KALASMORO**

**11306141029**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2019**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Instrumen Perekam Detak Jantung Manusia Berbasis *Transmission Photoplethysmograph***” disusun oleh Kharismaji Kalasmoro, NIM 11306141029 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 14 Januari 2019

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Sumarna", is written over a faint horizontal line.

Sumarna, M.Si., M.Eng.

NIP. 19610308 199101 1 0001

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul ” Rancang Bangun Instrumen Perekam Detak Jantung Manusia Berbasis *Transmission Photoplethysmograph*” yang disusun oleh Kharismaji Kalasmoro, NIM. 11306141029 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 18 Januari 2019 dan dinyatakan lulus.

### DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1. <u>Sumarna, M.Si, M.Eng</u> NIP. 19610308 199101 1 001	Ketua Penguji		21 Januari 2019
2. <u>Nur Kadarisman, M.Si</u> NIP. 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		22 Januari 2019
3. <u>Dyah Kurniawati A, M.Sc</u> NIP. 19830812 201404 2 001	Penguji Pendamping		21 Januari 2019

Yogyakarta, 22 Januari 2019

Dekan



Dr. Hartono M.Si.

NIP. 19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kharismaji Kalasmoro  
NIM : 11306141029  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul : Rancang Bangun Instrumen Perekam Detak Jantung  
Manusia Berbasis *Transmission Photoplethysmograph*.

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil penelitian dan karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata cara penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila pernyataan saya terbukti tidak benar, maka sepenuhnya adalah tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 14 Januari 2019

Yang menyatakan,



Kharismaji Kalasmoro

NIM 11306141029

## MOTTO

- *An object either remain at rest or continues to move at constant velocity, unless acted upon by a forced. “Isaac Newton”*
- *Life is like riding bycycle, to keep your balance, you must keep moving. “Albert Einstein”*
- *That’s one small step for man, is a giant leap for mankind. “Neil Amstrong”*
- *All our knowledge has its origin in our perception. “Leonardo Davinci”*

## PERSEMBAHAN

*Skripsi ini kupersembahkan kepada :*

- 1. Ayahku Drs. Sumanoro H. D. yang telah menemani hidupku selama ini*
- 2. Ibuku Almh. Dr. Tumini yang kuyakini selalu mendoakan segala hal yang terbaik untuk anak-anaknya meskipun engkau telah tiada*
- 3. Kakak dan adikku tercinta yang selalu mengisi warna dalam coretan kertas tentang hidupku*
- 4. Keluarga besar dari ayahku yang juga memberikan dorongan moral dan finansial*
- 5. Keluarga besar dari ibuku yang juga memberikan dorongan moral dan finansial*

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN INSTRUMEN PEREKAM DETAK JANTUNG MANUSIA BERBASIS *TRANSMISSION PHOTOPLETHYSMOGRAPH*

Oleh

Kharismaji Kalasmoro

11306141029

Penelitian ini bertujuan untuk 1) merancang-bangun instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* yang mampu menampilkan dan merekam sinyal detak jantung manusia, 2) membuat rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai dan efektif pada frekuensi 1-3 hertz untuk alat pemantau detak jantung berbasis *transmission photoplethysmograph*.

Instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* ini menggunakan metode penyinaran sinar inframerah pada ujung jari yang mana kemudian sinar tersebut melewati jaringan-jaringan yang ada pada ujung jari dan ditangkap oleh sensor fotodioda. Intensitas dari sinar inframerah yang melewati jaringan-jaringan yang ada pada ujung jari ini mengalami perubahan yang dikarenakan oleh pergerakan darah dalam pembuluh darah yang ada pada ujung jari. Intensitas sinar yang ditangkap oleh sensor fotodioda ini sangatlah kecil sehingga diperlukannya rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai dengan frekuensi detak jantung manusia agar sinyalnya dapat terlihat pada layar penampil sinyal. Pada penelitian ini rangkaian pengkondisi sinyal yang dibuat merupakan penguat yang efektif pada frekuensi 1-3 hertz yang mana ini sesuai dengan frekuensi detak jantung manusia. Sinyal dari sensor fotodioda yang telah melalui rangkaian pengkondisi sinyal inilah yang kemudian direkam menggunakan aplikasi *audacity* pada laptop.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa alat rancang-bangun instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* yang telah dibuat mampu menampilkan dan merekam sinyal detak jantung manusia dan rangkaian pengkondisi sinyal yang dibuat sesuai dan efektif pada frekuensi 1-3 hertz untuk alat pemantau detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph*.

**Kata kunci** : *photoplethysmograph, detak jantung*

## ABSTRACT

### DESIGN AND BUILD OF HUMAN HEART BEAT SIGNAL RECORDER USING TRANSMISSION PHOTOPLETHYSMOGRAPH METHOD

By

Kharismaji Kalasmoro

11306141029

*The purpose of this research is 1) to design and build of human heart beat signal recorder using transmission photoplethysmograph method that able to record and display the human heart beat signal, 2) to make a signal processing circuit that suitable and effective in frequency 1-3 hertz for heart beat signal monitor using transmission photoplethysmograph method.*

*This human heart beat signal recorder using transmission photoplethysmograph method is using a infrared ray on human fingertip and then detected by photodiode in the other side of human fingertip. The infrared ray intensity that going through the fingertip tissue fluctuated because of the blood movement by heart inside blood vessel in human fingertip. The infrared ray intensity that detected by photodiode is very small, therefore a signal processing circuit that suitable with the heart beat frequency is needed to amplify the heart beat signal so the signal can be displayed. In this research, the signal processing circuit that made by researcher is effective in frequency 1-3 hertz, that is suitable with human heart beat frequency. The signal from photodiode that has been through the signal processing is recorded by audacity app in laptop.*

*Based on the result of this research, it can be concluded that this design and build of human heart beat signal recorder using transmission photoplethysmograph method is able to record and display the human heart beat signal and the signal processing circuit that made by reasearcher is suitable and effective in frequency 1-3 hertz for heart beat monitor using transmission photoplethysmograph.*

**Keyword** : photoplethysmograph, heart beat

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir skripsinya yang berjudul “**Rancang Bangun Instrumen Perekam Detak Jantung Manusia Berbasis *Transmission Photoplethysmograph***” ini.

Penyusunan skripsi ini dibuat sebagai bukti pertanggungjawaban atas penelitian yang dilaksanakan penulis guna memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dari program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa pengerjaan skripsi ini tidak akan berjalan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Dr. Hartono, M.Si. dan seluruh staf atas fasilitas dan segala bantuannya untuk memperlancar tugas akhir.
2. Bapak Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si. yang telah membantu kelancaran dalam pembuatan surat keputusan pembimbing dan surat keputusan penguji.
3. Bapak Ketua Program Studi Fisika Drs. Nur Kadarisman, M.Si. yang telah membantu untuk kelancaran dalam pembuatan surat keputusan pembimbing dan surat keputusan penguji.
4. Bapak Dosen Pembimbing Skripsi Sumarna, M.Si. M.Eng. yang telah memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Ibu Dosen Pembimbing Akademik Rita Prasetyowati, M.Si yang telah memberi arahan sejak semester awal hingga akhirnya penulis dinyatakan lulus.
6. Dosen-Dosen Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY yang pernah mengajari saya selama kuliah.
7. Teman-teman grup elins 2013 yang juga turut membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
8. Teman-teman yang menemani saya selama perjuangan skripsi ini terutama Muiz, Bayu, Fiqi, Ade, Adita dan Iin.
9. Segala pihak yang membantu saya dalam penyelesaian tugas akhir.

Penyusun menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini belum sempurna dan masih banyak kekurangan di dalamnya. Segala bentuk kritik dan saran membangun akan sangat membantu untuk penelitian tentang tema ini. Pada akhirnya penyusun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, Januari 2019

Penulis,

Kharismaji Kalasmoro

NIM. 11306141029

## DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
SURAT PERNYATAAN .....	iv
MOTTO .....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>A. Latar Belakang Masalah .....</b>	<b>1</b>
<b>B. Identifikasi Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>C. Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>D. Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>E. Tujuan Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>F. Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II .....</b>	<b>5</b>
<b>A. Anatomi dan Fisiologi Jantung Manusia .....</b>	<b>5</b>
<b>B. Photoplethysmograph (PPG) .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Mode transmisi PPG .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Mode refleksi PPG.....</b>	<b>12</b>
<b>C. LED Inframerah dan Fotodioda .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Light Emitting Diode.....</b>	<b>13</b>

2. Fotodiode.....	15
D. Penguat Operasional (Op-Amp) .....	16
E. Filter Frekuensi .....	19
1. Filter pasif .....	19
2. Filter aktif.....	26
F. Diagram blok alat dan analisis simpul Op-Amp .....	27
<b>BAB III.....</b>	<b>30</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
B. Alat dan Bahan .....	30
C. Variabel Penelitian.....	31
D. Desain Rangkaian Alat .....	32
E. Langkah Kerja.....	32
1. Rancang bangun dan urutan penelitian .....	32
2. Karakterisasi komponen yang digunakan pada alat .....	34
3. Pengambilan data rekaman detak jantung manusia.....	38
F. Teknik Pengambilan Data .....	39
G. Diagram Alir Langkah Kerja.....	41
<b>BAB IV .....</b>	<b>42</b>
A. Hasil.....	42
1. Hasil karakterisasi sensor fotodiode.....	42
2. Hasil karakterisasi filter <i>high-pass</i> .....	44
3. Hasil karakterisasi filter aktif <i>low-pass</i> .....	46
4. Hasil karakterisasi rangkaian total.....	47
5. Hasil perekaman detak jantung manusia dalam kondisi istirahat dengan variasi umur, jenis kelamin, dan berat badan .....	50
6. Hasil perekaman detak jantung manusia dalam kondisi istirahat dibandingkan dengan kondisi setelah melakukan aktivitas fisik .....	55
B. Pembahasan .....	61

1. Pembahasan hasil karakterisasi sensor fotodiode .....	61
2. Pembahasan hasil karakterisasi filter <i>high-pass</i> .....	62
3. Pembahasan hasil karakterisasi filter aktif <i>low-pass</i> .....	62
4. Pembahasan hasil karakterisasi rangkaian total .....	63
5. Pembahasan hasil perekaman detak jantung manusia .....	63
<b>BAB V</b> .....	<b>65</b>
<b>A. Kesimpulan</b> .....	<b>65</b>
<b>B. Saran</b> .....	<b>65</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>68</b>

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Anatomi jantung manusia.....	5
Gambar 2. Posisi jantung dan paru-paru pada manusia .....	6
Gambar 3. Sistem peredaran darah .....	8
Gambar 4. Sinyal detak jantung dengan metode <i>Photoplethysmography</i> .....	11
Gambar 5. <i>Transmission Photoplethysmography Method</i> .....	11
Gambar 6. <i>Reflection Photoplethysmography Method</i> .....	12
Gambar 7. <i>Light Emitting Diode</i> .....	13
Gambar 8. Konstruksi sensor fotodiode.....	15
Gambar 9. Op-Amp.....	17
Gambar 10. Simbol Op-Amp .....	17
Gambar 11. Rangkaian filter pasif <i>low-pass</i> .....	20
Gambar 12. Kurva respon filter pasif <i>low-pass</i> .....	21
Gambar 13. Kurva respon ideal filter pasif <i>low-pass</i> .....	22
Gambar 14. Rangkaian filter pasif <i>high-pass</i> .....	22
Gambar 15. Kurva respon filter pasif <i>high-pass</i> .....	23
Gambar 16. Rangkaian filter pasif <i>band-pass</i> .....	23
Gambar 17. Kurva respon filter pasif <i>band-pass</i> .....	24
Gambar 18. Rangkaian filter pasif <i>band-stop</i> .....	25
Gambar 19. Kurva respon filter pasif <i>band-stop</i> .....	25
Gambar 20. Rangkaian dan kurva respon filter aktif orde pertama .....	26
Gambar 21. Rangkaian dan kurva respon filter aktif orde kedua .....	27

Gambar 22. Analisis simpul perumpamaan rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan .....	28
Gambar 23. Analisis simpul komponen rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan .....	29
Gambar 24. Desain rangkaian alat perekam detak jantung <i>transmission photoplethysmographyl</i> .....	32
Gambar 25. Rangkaian pengukuran tegangan sensor fotodiode .....	34
Gambar 26. Rangkaian pengukuran penguatan filter <i>high-pass</i> .....	35
Gambar 27. Rangkaian pengukuran filter aktif <i>low-pass</i> .....	37
Gambar 28. Desain pengukuran rangkaian total .....	38
Gambar 29. Grafik hubungan tegangan sensor fotodiode terhadap luxmeter.....	43
Gambar 30. Grafik karakterisasi filter <i>high-pass</i> .....	45
Gambar 31. Grafik karakterisasi filter aktif <i>low-pass</i> .....	47
Gambar 32. Grafik hasil karakterisasi rangkaian total.....	49
Gambar 33. Perbandingan penguatan rangkaian total secara teori dan praktek ....	49
Gambar 34. Rekaman detak jantung responden pertama.....	50
Gambar 35. Hasil transformasi Fourier rekaman responden pertama.....	50
Gambar 36. Rekaman detak jantung responden kedua .....	51
Gambar 37. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedua.....	51
Gambar 38. Rekaman detak jantung responden ketiga.....	52
Gambar 39. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketiga.....	52
Gambar 40. Rekaman detak jantung responden keempat .....	53
Gambar 41. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keempat.....	53

Gambar 42. Rekaman detak jantung responden kelima.....	54
Gambar 43. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kelima.....	54
Gambar 44. Rekaman detak jantung responden keenam kondisi istirahat.....	55
Gambar 45. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keenam kondisi istirahat.....	56
Gambar 46. Rekaman detak jantung responden keenam kondisi setelah beraktifitas.....	56
Gambar 47. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keenam kondisi setelah beraktifitas.....	57
Gambar 48. Rekaman detak jantung responden ketujuh kondisi istirahat.....	57
Gambar 49. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketujuh kondisi istirahat.....	58
Gambar 50. Rekaman detak jantung responden ketujuh kondisi setelah beraktifitas.....	58
Gambar 51. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketujuh kondisi setelah beraktifitas.....	59
Gambar 52. Rekaman detak jantung responden kedelapan kondisi istirahat.....	60
Gambar 53. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedelapan kondisi istirahat.....	60
Gambar 54. Rekaman detak jantung responden kedelapan kondisi setelah beraktifitas.....	61
Gambar 55. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedelapan kondisi setelah berkatifitas.....	61

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Hasil karakterisasi sensor fotodiode terhadap luxmeter .....	42
Tabel 2. Hasil karakterisasi filter <i>high-pass</i> .....	44
Tabel 3. Hasil karakterisasi filter aktif <i>low-pass</i> .....	46
Tabel 4. Hasil karakterisasi rangkaian total .....	48
Tabel 5. Data responden 1.....	50
Tabel 6. Data responden 2.....	51
Tabel 7. Data responden 3.....	52
Tabel 8. Data responden 4.....	53
Tabel 9. Data responden 5.....	54
Tabel 10. Data responden 6.....	55
Tabel 11. Data responden 7.....	57
Tabel 12. Data responden 8.....	59
Tabel 13. Frekuensi detak jantung responden dan detak jantung per menitnya ...	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang Masalah

Jantung merupakan salah satu organ penting di dalam tubuh manusia yang berperan dalam sistem peredaran darah, terletak di rongga dada sebelah kiri. Jantung merupakan organ berotot yang memompa darah lewat pembuluh darah oleh kontraksi berirama yang berulang. Jika jantung mengalami kelainan, maka akan berpengaruh besar pada kondisi kesehatan tubuh.

Berdasarkan *World Health Organisation (WHO)* pada tahun 2015 tentang 10 penyakit penyebab kematian, penyakit jantung koroner merupakan peringkat pertama sebagai penyakit penyebab kematian di dunia dan penyakit *stroke* pada peringkat kedua sebagai penyakit penyebab kematian di dunia. Pada tahun 2015 diperkirakan sebanyak 8,7 juta orang meninggal disebabkan oleh penyakit jantung koroner sedang untuk penyakit *stroke* diperkirakan 6,2 juta orang meninggal karenanya.

Berdasarkan laporan WHO ini yang menunjukkan bahwa penyakit penyebab kematian pertama dan kedua merupakan penyakit yang disebabkan oleh terjadinya kelainan pada jantung penderita, maka perlunya alat untuk memantau detak jantung pun harus menjadi salah satu perhatian,

Detak jantung dapat dipantau secara langsung ataupun tidak langsung. Pemantauan detak jantung secara langsung dapat dilakukan dengan pemantauan pada jantung itu sendiri atau pada bagian dada sebelah kiri, sedang untuk secara

tidak langsung dapat dilakukan dengan pemantauan pada bagian anggota tubuh memanfaatkan gerakan aliran darah pada tubuh.

Pada umumnya alat yang digunakan untuk memantau detak jantung pada rumah sakit di Indonesia menggunakan *electrocardiograph* (ECG) yang harga sensornya masih relatif mahal. Selain ECG penggunaan fotodioda dengan metode *photoplethysmograph* (PPG) pun juga sudah mulai umum digunakan sebagai sensor untuk memantau detak jantung pasien di rumah sakit. Namun alat-alat ini hanya bisa digunakan di dalam rumah sakit atau puskesmas yang memiliki peralatan medis yang lengkap. Untuk penggunaan di dalam rumah pribadi tiap-tiap orang masih susah ditemukan.

Dengan adanya kemajuan teknologi, maka kita dapat memantau detak jantung lebih mudah dengan menggunakan teknologi yang ada di sekitar kita dengan harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan harga peralatan medis yang digunakan pada rumah sakit seperti ECG. Penggunaan fotodioda akan membantu kita dalam mengetahui bagaimana detak jantung kita dengan harga terjangkau.

Penelitian menggunakan sensor fotodioda dengan metode *photoplethysmograph* ini memiliki kelebihan yaitu dapat melakukan pemantauan kondisi detak jantung di rumah pribadi. Alat pemantau detak jantung dengan *photoplethysmograph* ini juga dapat dilakukan setiap saat karena alat ini sangat mudah digunakan, hanya melalui ujung jari maka detak jantungpun dapat dipantau.

## **2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan dapat diidentifikasi beberapa masalahnya sebagai berikut :

- a. Penyakit jantung merupakan penyakit penyebab kematian tertinggi di dunia.
- b. Alat pemantau detak jantung dengan metode *electrocardiograph* relatif mahal dan biasanya hanya ada di rumah sakit.
- c. Desain rangkaian alat pemantau detak jantung dengan metode *photoplethysmograph* umumnya kurang sederhana dan belum bisa diubah-ubah penguatannya.

## **3. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini cakupan permasalahan akan dibatasi pada :

- a. Rancang bangun instrumen perekam detak jantung dengan menggunakan fotodioda dan pemancar inframerah dengan metode *transmission photoplethysmograph*.
- b. Merekam dan mencari frekuensi detak jantung responden.
- c. Hasil data rekaman detak jantung responden tidak dianalisis secara medis.

## **4. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam pembuatan instrumen perekam detak jantung ini adalah sebagai berikut:

- 1) Apakah rancang-bangun instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* yang telah dibuat mampu menampilkan dan merekam sinyal detak jantung manusia?
- 2) Apakah rangkaian pengkondisi sinyal yang dibuat sesuai dan efektif pada frekuensi kerja detak jantung 1-3 hertz untuk alat pemantauan detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph*?

## **5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Merancang-bangun instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* yang mampu menampilkan dan merekam sinyal detak jantung manusia.
- 2) Membuat rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai dan efektif pada frekuensi 1-3 hertz untuk alat pemantau detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph*.

## **6. Manfaat Penelitian**

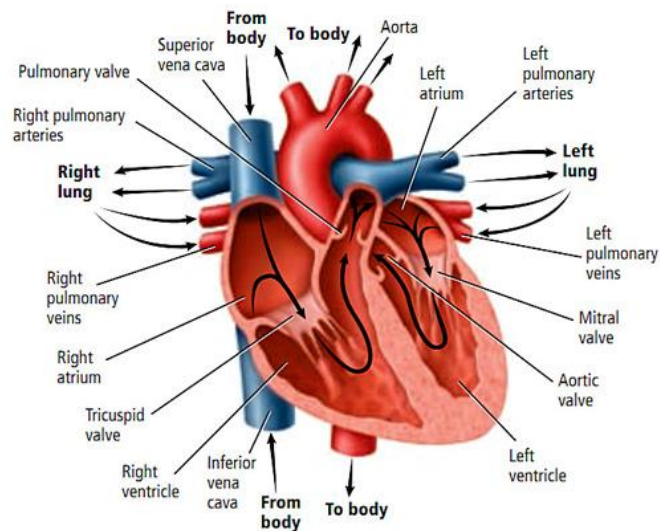
Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan akan adanya manfaat sebagai berikut :

- 1) Bisa menjadi alat pembanding dengan alat pemantau detak jantung lainnya.
- 2) Bisa dijadikan alat pemantau detak jantung untuk penggunaan pribadi.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

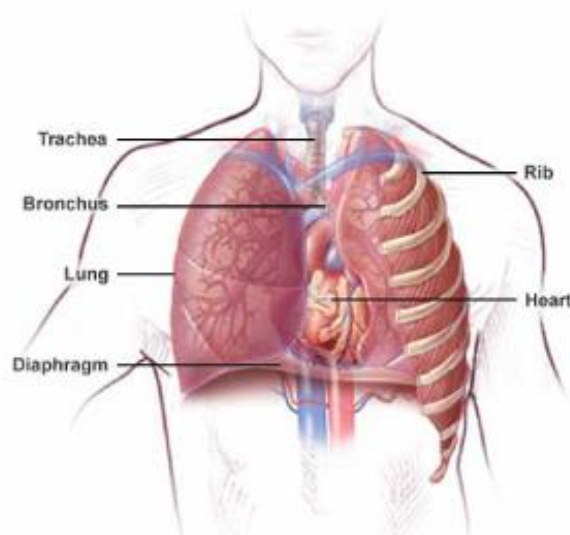
#### 1. Anatomi dan Fisiologi Jantung Manusia



Gambar 1. Anatomi jantung manusia (sumber : <https://infosehatbugar.com>)

Jantung terbagi oleh sebuah septum (sekat) menjadi dua belah, yaitu kiri dan kanan. Sesudah lahir tidak ada hubungan antara kedua belahan ini. Setiap belahan kemudian dibagi lagi dalam dua ruang, yang atas disebut atrium, dan yang bawah disebut ventrikel. Maka di kiri terdapat 1 atrium dan 1 ventrikel, dan

di kanan juga 1 atrium dan 1 ventrikel. Di setiap sisi ada hubungan antara atrium dan ventrikel melalui lubang atrio-ventrikuler dan pada setiap lubang tersebut terdapat katub yang kanan bernama katup trikuspidalis dan yang kiri katup mitral atau katup bikuspidalis. Katup atrio-ventrikuler mengizinkan darah mengalir hanya ke satu jurusan, yaitu dari atrium ke ventrikel; dan menghindarkan darah mengalir kembali dari ventrikel ke atrium. Katup trikuspidalis terdiri atas tiga kelopak atau kusa ; katup mitral terdiri atas dua kelopak (Evelyn C. Pearce, 2011).



Gambar 2. Posisi jantung dan paru-paru pada manusia (sumber : <http://gudangmedis.blogspot.co.id>)

Jantung difiksasi pada tempatnya agar tidak mudah berpindah tempat. Penyokong jantung utama adalah paru-paru yang menekan jantung dari samping diafragma menyokong dari bawah, pembuluh darah besar yang keluar dan masuk jantung sehingga jantung tidak mudah berpindah (Drs. H. Syaifudin, 2012).

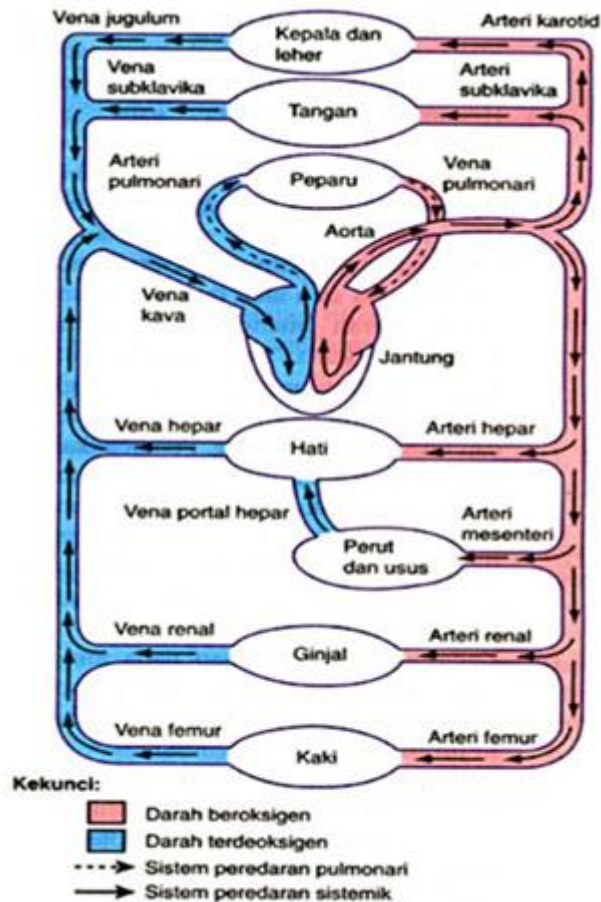
Jantung adalah sebuah pompa dan kejadian-kejadian yang terjadi dalam jantung selama peredaran darah disebut siklus jantung. Gerakan jantung terdiri

atas dua jenis, yaitu kontraksi atau sistole, dan pengenduran atau diastole (Evelyn C. Pearce, 2011).

Periode pekerjaan jantung (Drs. H. Syaifudin, 2012) :

- 1) Periode sistole (periode kontraksi) : Suatu keadaan jantung bagian ventrikel dalam keadaan menguncup, katup bikuspidalis dan katup trikuspidalis dalam keadaan tertutup. Valvula semilunaris aorta dan valvula semilunaris arteri pulmonalis terbuka, sehingga darah dari ventrikel dekstra mengalir ke arteri pulmonalis masuk ke dalam paru kiri dan kanan. Darah dari ventrikel sinistra mengalir ke aorta selanjutnya beredar ke seluruh tubuh.
- 2) Periode diastole (periode dilatasi) : Suatu keadaan ketika jantung mengembang. Katup bikuspidalis dan trikuspidalis dalam keadaan terbuka sehingga darah dari atrium sinistra masuk ke ventrikel sinistra dan darah dari atrium dekstra masuk ke ventrikel dekstra. Selanjutnya darah yang datang dari paru kiri dan kanan melalui vena pulmonalis masuk ke atrium sinistra dan darah dari seluruh tubuh melalui vena kava superior dan vena kava inferior masuk ke atrium dekstra.
- 3) Periode istirahat, yaitu waktu antara periode diastole dan periode sistole, ketika jantung berhenti 1/10 detik.

Jantung adalah organ utama sirkulasi darah. Aliran darah dari ventrikel kiri melalui arteri, arteriola, dan kapiler kembali ke atrium kanan melalui vena disebut peredaran darah besar atau sirkulasi sistemik. Aliran dari ventrikel kanan, melalui paru-paru, ke atrium kiri adalah peredaran darah kecil atau sirkulasi pulmonal.



Gambar 3. Sistem peredaran darah (Sumber : <http://smart-pustaka.blogspot.co.id>)

Selama gerakan jantung dapat terdengar dua macam suara yang disebabkan katup-katup yang menutup secara pasif. Bunyi pertama disebabkan menutupnya katup atrio-ventrikuler, dan kontraksi ventrikel. Bunyi kedua karena menutupnya katup aortik dan pulmoner sesudah kontraksi ventrikel. Bunyi yang pertama adalah panjang dan rata; yang kedua pendek dan tajam. Demikianlah, yang pertama terdengar seperti “lub” dan yang kedua seperti “duk”. Dalam keadaan normal jantung tidak membuat bunyi lain, tetapi bila arus darah cepat atau bila ada kelainan pada katup atau salah satu ruangnya, maka dapat terjadi bunyi lain, biasanya disebut “bising”.

Detak arteri adalah suatu gelombang yang teraba pada arteri bila darah dipompa keluar jantung. Detak ini mudah diraba di tempat arteri melintasi sebuah tulang yang dekat permukaan, misalnya : arteri radialis di sebelah depan pergelangan tangan, arteri temporalis di atas tulang temporal, atau arteri dorsalis pedis di belokan mata kaki. Detak yang teraba bukan darah yang dipompa jantung masuk ke dalam aorta melainkan gelombang tekanan yang dialihkan dari aorta dan merambat lebih cepat daripada darah itu sendiri.

Frekuensi detak jantung dalam keadaan sehat berbeda-beda, dipengaruhi faktor-faktor fisik dan kejiwaan tiap-tiap orang. Irama dan detak sesuai dengan siklus jantung. Pada umumnya frekuensi detak jantung manusia normal adalah 60-100 detakan per menit. Kalau jumlah detak ada 70, berarti siklus jantung juga terjadi 70 kali dalam semenit (Evelyn C. Pearce, 2011).

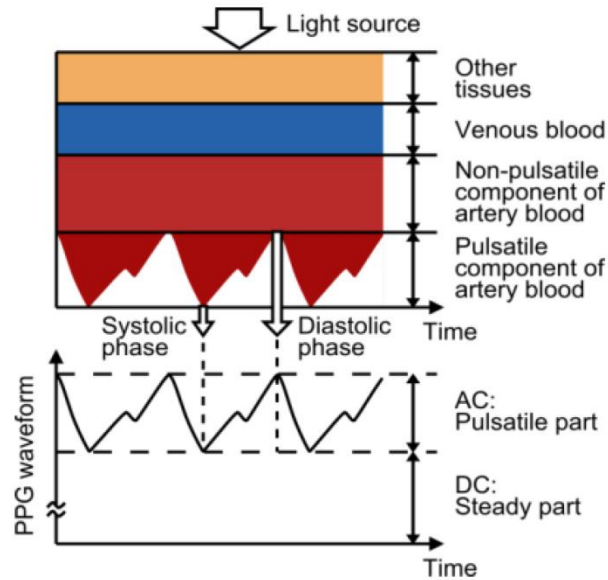
## **2. Photoplethysmograph (PPG)**

*Photoplethysmograph* (PPG) adalah metode non-invasif untuk mendeteksi gelombang detak kardiovaskuler, yang dihasilkan secara quasi-periodik oleh jantung yang disebarkan ke seluruh tubuh. Interaksi kompleks antara jantung dan jaringan pembuluh darah merupakan prinsip dasar dari mekanisme yang menghasilkan sinyal PPG.

Kata *Photoplethysmography* (PPG) merupakan kata berasal dari bahasa Yunani yaitu “*plethysmos*” yang artinya meningkat, “*plethys*” yang artinya massa. Dasar dari teknologi ini adalah deteksi dari gelombang detak kardiovaskular yang dinamis yang dihasilkan oleh jantung ketika dia mengalir ke seluruh tubuh.

Pertama kali dikembangkan oleh Hertzman. PPG digunakan untuk mendeskripsikan deteksi dari metode fotoelektrik dari gelombang detak kardiovaskuler ini dan umumnya disebut *blood volume pulse* di Amerika Serikat, gelombang detak kardiovaskuler dihasilkan oleh pembuluh darah *peripheral* yang tereksitasi elastis secara alami oleh kontraksi jantung yang quasi-periodik. Jantung memicu tekanan gelombang detak yang menyebar melalui arteri menuju pembuluh darah yang lebih dalam. *Probe* stasioner pada kulit dapat mendeteksi perubahan volume darah secara dinamis terhadap waktu yang disebabkan gelombang kardiovaskular, menghasilkan perubahan intensitas cahaya yang sama dalam penyerapan optik dari jaringan kulit yang diperiksa. Jaringan *peripheral* mempunyai peningkatan volume darah selama sistole (kontraksi dari ventrikel jantung) sehingga mengurangi transmisi cahaya yang melalui pembuluh darah. Perubahan optik ini dapat dideteksi secara kualitatif dengan menggunakan sebuah sensor cahaya dan peralatan pengkondisian sinyal (Vincent Peter Crabtree, 2003).

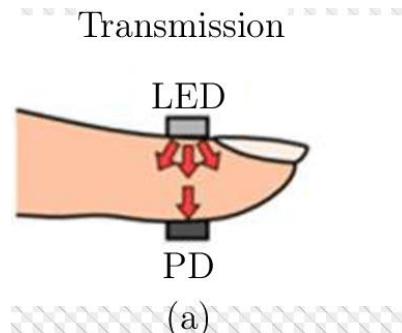
Pada umumnya sinyal yang didapatkan dari metode *photoplethysmograph* ini memiliki bentuk seperti pada gambar 4 di bawah.



Gambar 4. Sinyal detak jantung dengan metode *Photoplethysmography* (Sumber : <https://www.mdpi.com>)

Metode PPG ini memiliki dua buah mode yaitu mode transmisi PPG dan mode refleksi PPG (Vincent Peter Crabtree,2003).

#### 1. Mode transmisi PPG

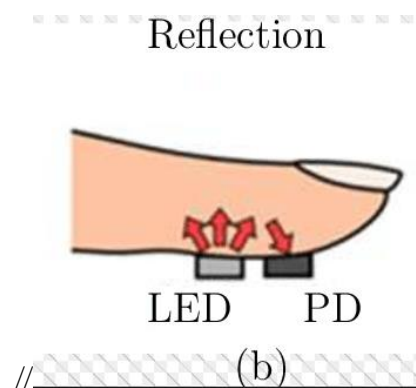


Gambar 5. *Transmission Photoplethysmography Method* (sumber : <https://www.mdpi.com>)

Mode transmisi PPG ini memiliki titik-titik yang terbatas dimana jaringan yang di monitor relatif transparan yang mengijinkan cahaya lewat dan terdeteksi oleh sensor cahaya. Umumnya pada ujung jari dan daun telinga.

Kelebihan menggunakan mode transmisi PPG ini adalah rangkaian pengkondisi sinyal biasanya lebih sederhana untuk *probe* mode transmisi. *Probe* mode transmisi umumnya menerangi volume jaringan yang besar berakibat pada komponen sinyal pulsatile yang dikembalikan juga besar karena cahaya dimodulasi saat melewati seluruh jaringan pulsatile. Kekurangan dari *probe* mode transmisi adalah peningkatan kepekaan terhadap perubahan gerak disebabkan oleh perubahan di bidang pandang *probe* atau pergerakan jaringan.

## 2. Mode refleksi PPG



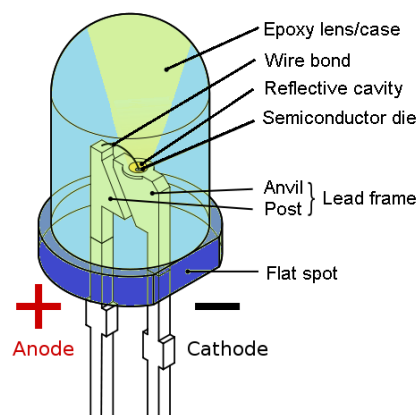
Gambar 6. *Reflection Photoplethysmography Method* (sumber : <https://www.mdpi.com>)

Dalam mode refleksi PPG baik sumber dan detektor biasanya diposisikan secara bersebelahan pada permukaan kontak kulit. Dalam kasus mode refleksi PPG, yang bertanggung jawab menjadi sinyal PPG yang terdeteksi bukan cahaya yang ditransmisikan melainkan cahaya yang terhamburkan kembali. PPG mode ini memungkinkan pemantauan pada titik-titik seperti di dahi, dada, dan anggota tubuh lainnya. Hal ini merupakan kelebihan dari mode

refleksi PPG namun kelemahannya adalah sinyal yang diterima melalui cahaya yang terhamburkan kembali oleh cahaya sumber relatif sedikit sehingga sinyal cukup sulit untuk terdeteksi oleh sensor cahaya oleh karena itu dibutuhkan pengkondisian sinyal yang lebih baik.

### 3. LED Inframerah dan Fotodiode

#### 1. Light Emitting Diode



Gambar 7. *Light Emitting Diode* (sumber : <https://www.highgrove.net>)

*Light emitting diode* (dioda pemancar cahaya) yang lebih dikenal dengan kependekannya yaitu LED, menghasilkan cahaya ketika arus mengalir melewatinya. Pada awalnya LED-LED hanya dibuat dengan warna merah, namun sekarang warna-warna jingga, kuning, hijau, biru, dan putih juga tersedia di pasaran. Terdapat pula LED-LED inframerah yang menghasilkan sinar inframerah alih-alih cahaya tampak.

Sebuah LED yang umum memiliki kemasan berbentuk kubah yang terbuat dari bahan plastik dan ada pinggirannya yang menonjol (rim) pada bagian

bawah kubah. Terdapat dua buah kaki terminal di bagian bawah kubah. Biasanya, meskipun tidak selalu demikian, kaki katoda lebih pendek dari kaki anoda. Cara lain untuk membedakan kaki katoda dengan kaki anoda adalah dengan memperhatikan bagian rim (apabila LED yang bersangkutan memang memilikinya). Rim dibuat berbentuk datar pada sisi yang berdekatan dengan kaki katoda (Owen Bishop, 2004).

Dioda pemancar cahaya (LED) adalah perangkat *pn-junction* khas yang digunakan di bawah bias maju yang memancarkan cahaya yang tidak koheren ketika arus melewati persimpangan semikonduktor. Ketika pembawa muatan minoritas bergabung kembali secara radiatif dengan pembawa muatan mayoritas, foton dipancarkan. Ini adalah proses pembangkitan cahaya dasar dalam semikonduktor.

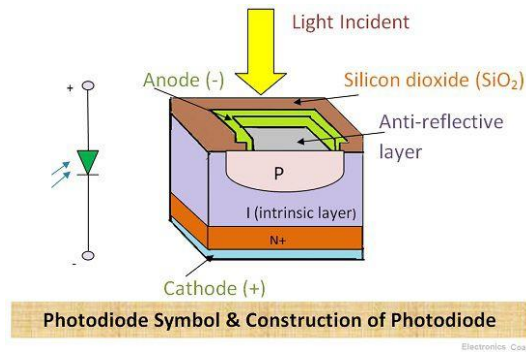
Tergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan dalam lapisan pemancar cahaya (lapisan aktif), panjang gelombang cahaya yang dipancarkan dapat berada di mana saja dalam rentang dari yang terlihat hingga inframerah (Irina Stateikina, 2002).

LED konvensional terbuat dari berbagai macam bahan material semikonduktor anorganik. LED yang memancarkan sinar inframerah dengan panjang gelombang di atas 760 nm terbuat dari bahan Gallium Arsenide (GaAs) atau Aluminium Gallium Arsenide (AlGaAs).

Radiasi inframerah merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih panjang dibandingkan dengan cahaya tampak

dan tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Inframerah terbentang dari 700 nm hingga 1 mm.

## 2. Fotodioda



Gambar 8. Konstruksi sensor fotodioda (sumber : <https://electronicscoach.com>)

Fotodioda adalah perangkat *pn-junction* optoelektronik khas yang digunakan di bawah bias balik. Mekanisme operasi fotodioda didasarkan pada sifat listrik dan optik dari *pn-junction* dan material semikonduktor. Penyerapan cahaya fotodioda adalah kebalikan dari proses emisi terstimulasi dan spontan, dan panjang gelombang operasi pada dasarnya tergantung pada energi celah pita material.

Bahan yang paling banyak digunakan dalam fotodioda adalah semikonduktor dasar seperti Si dan Ge, dan III-V dan II-VI senyawa semikonduktor seperti GaAs, InP dan CdTe. Photodioda terdiri dari Si yang terutama digunakan dalam elektronik konsumen, sedangkan yang terdiri dari Ge dan InGaAs (P) / InP digunakan dalam sistem komunikasi serat optik. Dalam rentang panjang gelombang yang lebih panjang, InAs dan InSb juga digunakan sebagai bahan fotodioda (Irina Stateikina, 2002).

Fotodioda adalah alat semikonduktor yang mengubah cahaya menjadi arus listrik. Arus listrik dihasilkan ketika foton diterima oleh fotodioda. Material penyusun fotodioda sangat mempengaruhi karakteristik fotodioda itu sendiri. Material yang umum digunakan untuk produksi fotodioda adalah

Silicon → 190 nm – 1100 nm

Germanium → 400 nm – 1700 nm

Indium gallium aresnide → 800 nm – 2600 nm

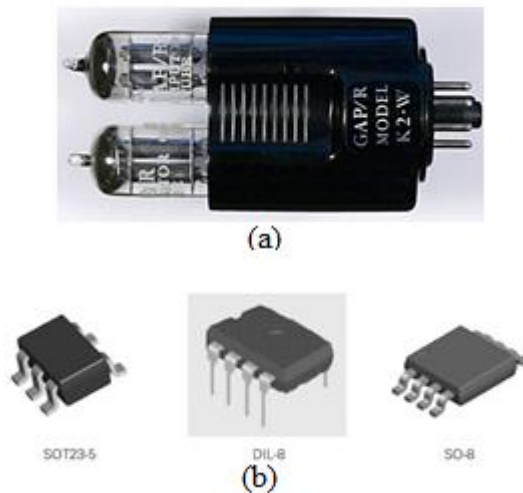
Lead(II) sulfide → <1000 nm – 3500 nm

Mercury cadmium telluride → 400 nm – 14000 nm

Karena rentangnya yang paling rendah, fotodioda berbahan silicon lebih banyak digunakan.

### **3. Penguat Operasional (Op-Amp)**

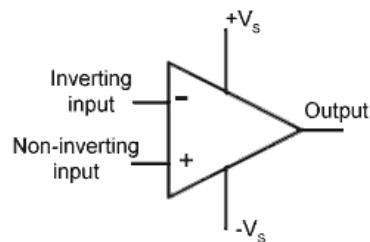
Penguat operasional pertama kali dibuat pada tahun 1940-an dengan menggunakan tabung-tabung hampa yang berfungsi untuk menjalankan operasi-operasi matematika seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, pendiferensiasian, serta pengintegrasian secara listrik yang memungkinkan diperolehnya solusi dari persamaan-persamaan diferensial dengan menggunakan komputer-komputer analog generasi awal.



Gambar 9. Op-Amp a) generasi awal b) modern (sumber : <https://www.pinterest.com>)

Op-amp modern difabrikasi dengan menggunakan teknik-teknik rangkaian terintegrasi (IC) yang membuat op-amp ini memiliki ukuran yang jauh lebih kecil, memiliki kehandalan yang lebih tinggi, serta mengkonsumsi daya lebih sedikit, dibanding dengan op-amp tempo dulu (William H. Hayt, Jr; 2005).

Istilah “penguat operasional” menggambarkan pentingnya rangkaian penguat yang dapat membentuk dasar penguat audio dan video, filter, *buffer*, *line drivers*, penguat instrumentasi, komparator, osilator, dan banyak rangkaian analog lainnya. Penguat operasional biasanya disebut sebagai op-amp. Meskipun rangkaian op-amp dapat didesain dari komponen diskrit, itu biasanya hampir selalu digunakan dalam bentuk sebuah rangkaian terpadu (IC).



Gambar 10. Simbol Op-Amp (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Op-amp memiliki simbol yang sederhana yang memiliki dua masukan dan satu keluaran, kedua masukan itu adalah masukan pembalik (-) dan masukan tidak membalik (+). Op-amp juga memiliki dua sambungan untuk catu daya, satu untuk sambungan positif dan satunya untuk sambungan negatif. Banyak rangkaian op-amp memiliki sambungan tengah yang terhubung dengan bumi, meskipun op-amp itu sendiri tidak memiliki sambungan tengah secara spesifik.

Op-amp adalah penguat DC dengan penguatan yang tinggi (penguatan biasanya  $>100.000$ ; atau  $>100$  dB). Dengan kopling kapasitif, op-amp banyak digunakan pada rangkaian penguat AC. Tegangan keluaran hanyalah perbedaan tegangan antara masukan pembalik dan masukan tidak membalik, dikalikan dengan nilai penguatan. Dengan demikian, op-amp adalah penguat diferensial. Jika masukan pembalik memiliki potensial yang lebih tinggi maka tegangan keluaran akan semakin negatif. Sedang jika masukan tidak membalik memiliki potensial yang lebih tinggi maka tegangan keluaran semakin positif. Karena penguatannya yang sangat tinggi, tegangan diferensial antar terminal masukan biasanya sangat kecil.

Op-amp harus memiliki umpan balik agar bisa melakukan fungsinya secara benar. Kebanyakan desain menggunakan umpan balik negatif untuk mengendalikan penguatan dan untuk memberikan operasi yang linear. Umpan balik negatif didapatkan dari komponen seperti resistor yang terhubung dengan keluaran op-amp dan masukan pembalik op-amp. Untuk rangkaian non-linear seperti komparator dan osilator biasanya menggunakan umpan balik positif

dengan menggunakan komponen yang terhubung antara keluaran op-amp dan masukan tidak membalik.

Karakteristik dari sebuah op-amp ideal akan membentuk basis untuk dua ketentuan fundamentalnya yakni:

- a. Tidak ada arus yang mengalir pada kedua terminal masukannya.
- b. Tidak ada selisih tegangan di antara kedua terminal masukannya.

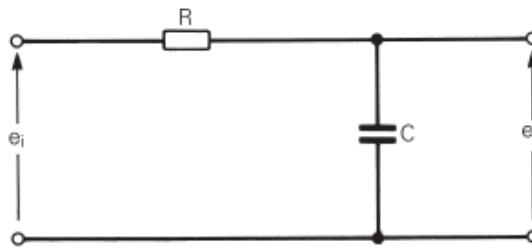
#### **4. Filter Frekuensi**

Filter frekuensi merupakan jaringan listrik yang telah di desain untuk melewatkan arus bolak-balik yang dihasilkan oleh frekuensi yang telah ditentukan dan mem-block atau melemahkan frekuensi yang lain. Ada dua jenis filter secara umum yaitu filter pasif dan filter aktif. Tipe filter pasif merupakan tipe yang sederhana terdiri dari resistor, kapasitor dan induktor, sedangkan tipe filter aktif merupakan tipe dengan menggunakan penambahan komponen aktif , biasanya dalam bentuk penguat operasional. Kedua jenis filter ini dibagi menjadi empat kelas berdasarkan kegunaannya. Kelas-kelas tersebut adalah filter *low-pass*, filter *high-pass*, filter *band-pass* dan filter *band-stop* (George Clayton and Steve Winder, 2003).

##### **1. Filter pasif**

###### **1. Filter *low-pass***

Rangkaian sederhana dari kapasitor dan resistor untuk filter *low-pass* ditunjukkan pada gambar 11 di bawah.



Gambar 11. Rangkaian filter pasif *low-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

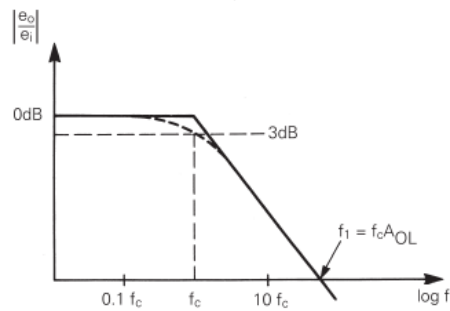
Pada dasarnya ini adalah pembagi tegangan yang terdiri dari resistor yang dihubung seri dengan kapasitor. Tegangan keluaran  $e_o$  diambil dari kapasitor dan bergantung pada tegangan masukan  $e_i$  dengan persamaan :

$$e_o = -\frac{jX}{R-jX_c} e_i \quad (1)$$

Dengan memanipulasi aljabar persamaan dengan bilangan kompleks ini didapatkan bahwa amplitudo  $e_o$  adalah

$$|e_o| = \frac{e_i X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \quad (2)$$

Meskipun  $e_i$  dapat dipertahankan konstan pada rentang frekuensi masukan, amplitudo  $e_o$  berkurang seiring dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini dikarenakan reaktansi dari kapasitor,  $X_c = 1/2\pi fC$ , bervariasi sesuai dengan kebalikan dari frekuensi,  $f$ , dan cenderung memiliki nilai tinggi tak berhingga pada frekuensi nol, dan menuju nilai nol pada frekuensi tinggi tak berhingga. Maka keluaran pada rangkaian ini akan nol pada fekuensi yang sangat tinggi. Gambar 12 di bawah ini menunjukkan kurva respon yang khas untuk rangkaian filter *low-pass* ini.



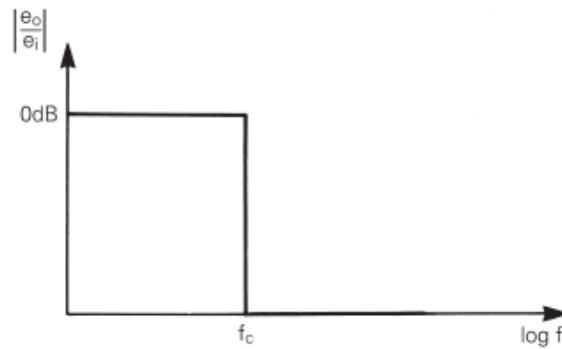
Gambar 12. Kurva respon filter pasif *low-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Frekuensi  $f_c$  dikenal sebagai frekuensi *cut-off* dan diambil sebagai frekuensi dimana reaktansi dari kapasitor memiliki besaran yang sama dengan resistansi pada rangkaian, dan juga,  $f_c$  adalah frekuensi dimana tegangan keluaran turun menjadi  $1/\sqrt{2}$  kali ( $\approx 0,707$  kali) dari nilai DC untuk memberikan setengah dari daya keluaran DC. Perhitungan sederhana berdasarkan fakta ini menunjukkan bahwa frekuensi *cut-off* diberikan oleh persamaan

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

Untuk frekuensi di bawah  $f_c$  penguatan rangkaian ini terlihat cukup konstan sedangkan untuk frekuensi yang lebih tinggi dari  $f_c$  penguatannya mulai melemah hingga sangat rendah sehingga sinyal ini efektif diblokir. Rangkaian ini dikenal sebagai filter *low-pass* yang memiliki *bandwidth* membentang dari DC ke  $f_c$ . Karena respon rangkaian ini bergantung pada frekuensi sesuai dengan orde pertama secara matematika maka filter ini juga dikenal sebagai filter orde pertama.

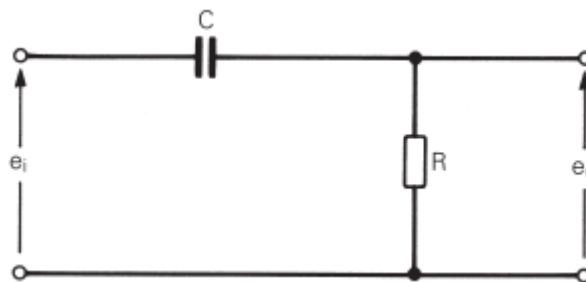
Pada filter frekuensi *low-pass* yang ideal memiliki kurva respon frekuensi atau fungsi transfer yang menunjukkan bahwa tidak ada kehilangan penguatan pada frekuensi di bawah  $f_c$  dan memiliki keluaran nol pada frekuensi di atas  $f_c$ . Sesuai pada gambar 13 di bawah.



Gambar 13. Kurva respon ideal filter pasif *low-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

## 2. Filter *high-pass*

Untuk merangkai filter *high-pass* pasif cukup dengan komponen resistor dan kapasitor yang membentuk rangkaian yang terbalik dengan filter *low-pass* sesuai dengan gambar 14 di bawah.

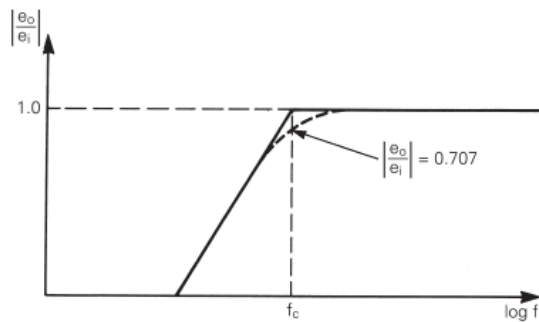


Gambar 14. Rangkaian filter pasif *high-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Frekuensi *cut-off* filter ini pun juga sama dengan filter *low-pass* yaitu

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

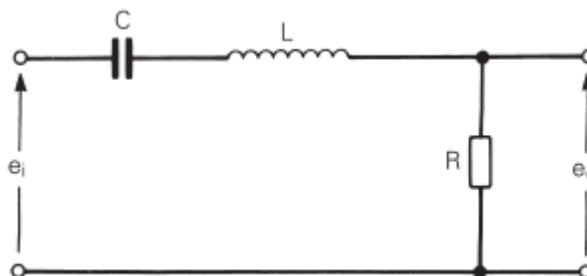
Pada masukan frekuensi rendah kapasitor memiliki reaktansi yang tinggi dan secara efektif menolak semua tegangan masukan. Namun ketika frekuensi masukan mulai meningkat maka kapasitor semakin menurunkan reaktansinya, dan mengijinkan kenaikan tegangan masukan untuk melewati resistor dan muncul pada keluaran rangkaian. Untuk frekuensi di atas  $f_c$  tegangan keluaran rangkaian ini terlihat cukup konstan dibandingkan dengan tegangan masukan sedangkan untuk frekuensi yang lebih rendah dari  $f_c$  tegangan keluaran mulai melemah hingga sangat rendah sehingga sinyal ini efektif diblokir. Sesuai pada gambar 15 di bawah.



Gambar 15. Kurva respon filter pasif *high-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

### 3. Filter *band-pass*

Sebuah filter *band-pass* orde dua dapat dibuat dengan menggunakan rangkaian seri LRC dengan bentuk sesuai pada gambar 16 di bawah.

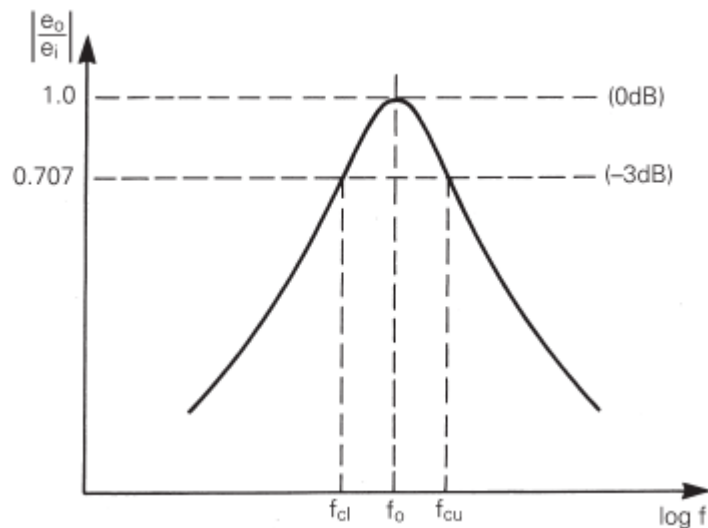


Gambar 16. Rangkaian filter pasif *band-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Ketika pada frekuensi masukan rendah reaktansi kapasitor mendominasi dan rangkaian berperilaku sebagai kapasitor seri sederhana dengan meningkatkan respon dari DC. Namun ketika sinyal frekuensi masukan berada pada resonansi rangkaian, maka kurva respon akan berada di puncaknya pada :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

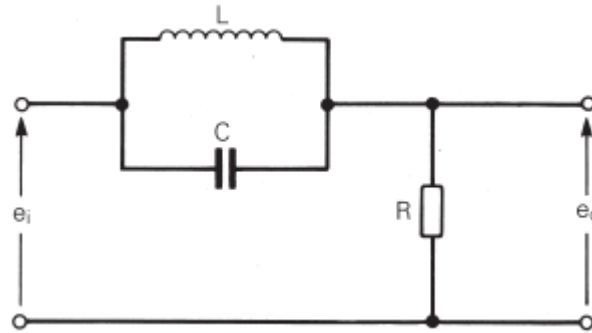
Ketika frekuensi resonansi terlewati, reaktansi induktif menjadi semakin dominan dan respon turun tetapi tidak jatuh jauh dibandingkan dengan peningkatan respon dari frekuensi rendah. Dengan demikian, ada dua frekuensi dimana responnya 3 dB di bawah dan di atas frekuensi puncak dan biasanya disebut frekuensi *cut-off* bawah,  $f_{cl}$  dan frekuensi *cut-off* atas,  $f_{cu}$ . Hubungan antara frekuensi pusat dengan frekuensi *cut-off* bawah dan frekuensi *cut-off* atas adalah  $f_o = \sqrt{f_{cu} \cdot f_{cl}}$



Gambar 17. Kurva respon filter pasif *band-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

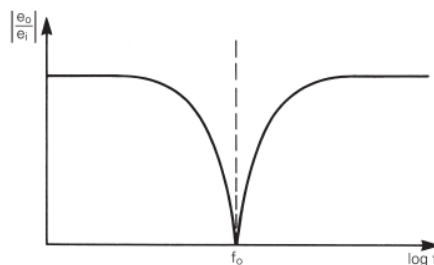
#### 4. Filter *band-stop*

Sebuah filter *band-stop* orde dua dapat dibuat menggunakan rangkaian paralel dari kapasitor dan induktor yang kemudian di seri dengan resistor dengan rangkaian seperti pada gambar 18 di bawah.



Gambar 18. Rangkaian filter pasif *band-stop* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Pada frekuensi masukan yang rendah, rangkaian secara efektif merupakan susunan filter *low-pass* yang terdiri dari induktor dan resistor. Frekuensi resonansi dari rangkaian ini ditentukan oleh  $f_o = 1/2\pi\sqrt{LC}$ , yang mana paralel dari induktor dan kapasitor memiliki impedansi tinggi tak berhingga dan menyebabkan keluaran rangkaian adalah nol. Ketika frekuensi resonansi terlewati, reaktansi induktif berlanjut dan meningkat sedangkan reaktansi kapasitor menurun, menyebabkan rangkaian seolah-olah hanya terdiri dari kapasitor dan resistor seperti pada susunan filter *high-pass*.

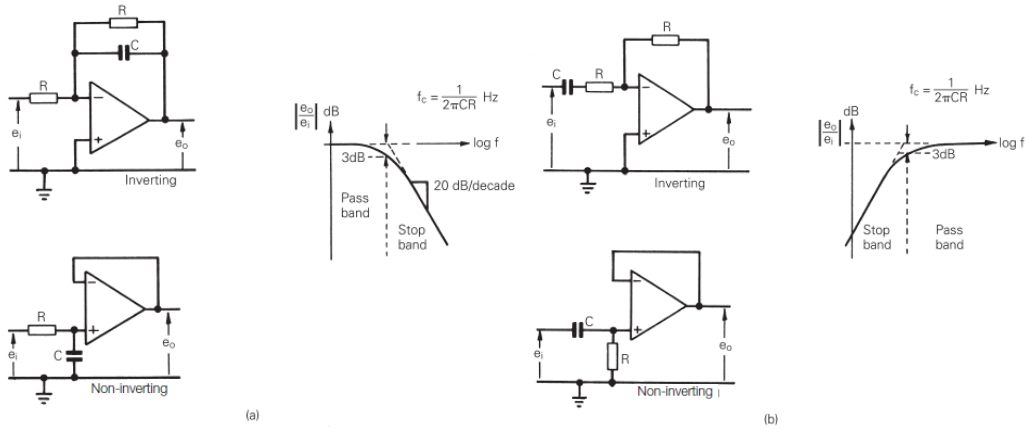


Gambar 19. Kurva respon filter pasif *band-stop* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

5. Filter aktif

1. Filter *high-pass* dan *low-pass* orde pertama

Contoh rangkaian filter aktif *high-pass* dan *low-pass* orde pertama yang sederhana ditunjukkan pada gambar 20 di bawah.

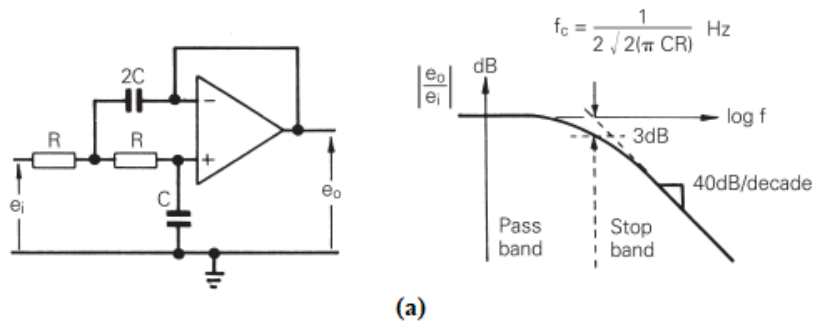


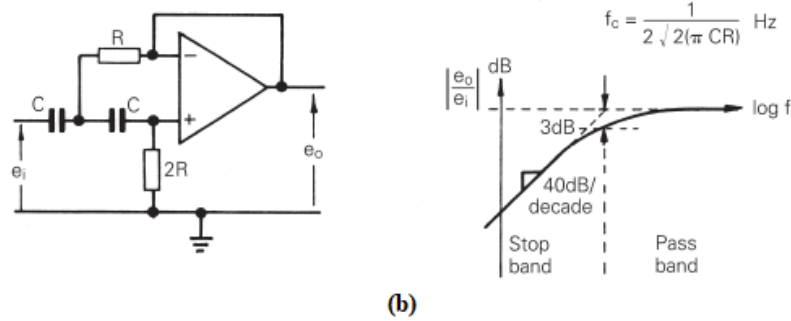
Gambar 20. Rangkaian dan kurva respon filter aktif orde pertama a) *low-pass*; b) *high-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

Seperti yang diharapkan, rangkaian selektif frekuensi dari komponen resistor dan kapasitor menentukan respon frekuensi. Dengan frekuensi *cut-off* adalah  $f_c = 1/2\pi CR$  dimana besarnya respon filter adalah *3dB* kurang dari *pass-band*.

2. Filter *high-pass* dan *low-pass* orde dua

Contoh rangkaian filter aktif *high-pass* dan *low-pass* orde dua yang sederhana ditunjukkan pada gambar 21 di bawah.

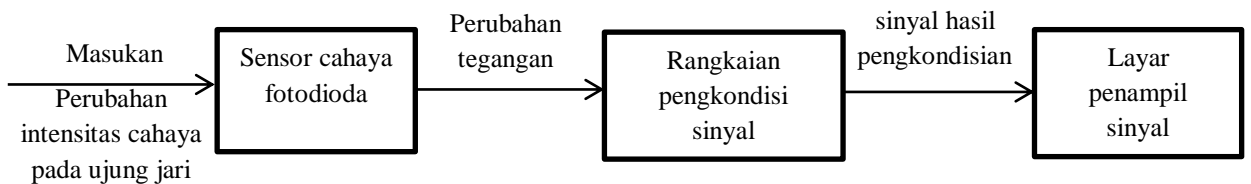




Gambar 21. Rangkaian dan kurva respon filter aktif orde kedua a) *low-pass*, b) *high-pass* (sumber : George Clayton and Steve Winder, 2003)

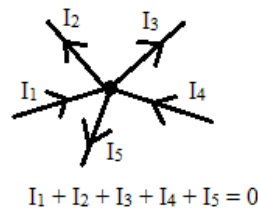
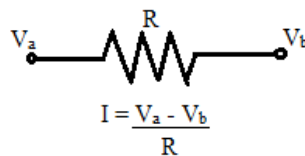
### 3. Diagram blok alat dan analisis simpul Op-Amp

#### 1. Diagram blok alat



#### 2. Teknik analisis simpul op-amp

1. Arus yang masuk ke Op-Amp diabaikan (hambatan masukan Op-Amp sangat besar).
2. Masukan pembalik (V-) dan tidak-membalik (V+) ada pada tanah maya.
3. Menggunakan teknik simpul / Kirchoff Current Law, dimana  $\sum I_{simpul} = 0$ .

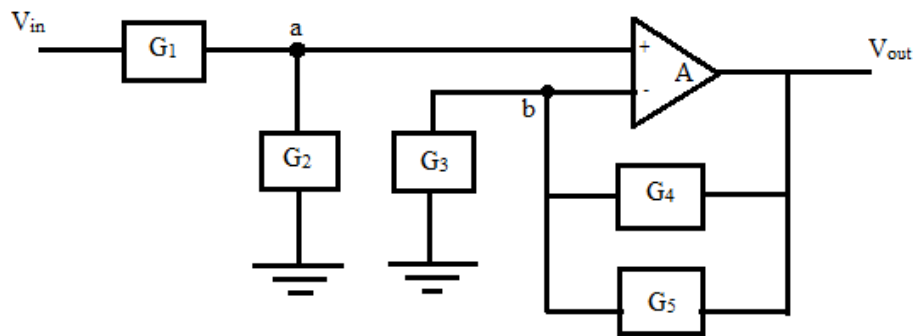


4. Jika komponen pendukung Op-Amp meliputi R,L, dan C, maka komponen itu diperlakukan sebagai impedansi (Z) untuk resistansi dan sebagai admitansi (G) untuk konduktansi.

Jika  $Z$ , maka untuk resistif  $X_r = R$ ; untuk induktif  $X_L = \omega L$ ; untuk kapasitif  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ .

Jika  $G$ , maka untuk resistif  $G_R = \frac{1}{R}$ ; untuk induktif  $G_L = \frac{1}{i\omega L}$ ; untuk kapasitif  $G_C = i\omega C$ .

Maka untuk rangkaian pengkondisi sinyal yang peneliti gunakan akan diumpamakan seperti pada gambar 22 di bawah.



Gambar 22. Analisis simpul perumpamaan rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan

$$V_{out} = A (V_a - V_b) \quad (6)$$

Jika,  $A = \infty$

$\frac{V_{out}}{A} = (V_a - V_b) = 0$ , maka  $V_a = V_b$  atau juga disebut tanah maya.

Simpul a :

$$(V_a - V_{in})G_1 + (V_a - 0)G_2 = 0$$

$$V_a G_1 - V_{in} G_1 + V_a G_2 = 0$$

$$V_a (G_1 + G_2) - V_{in} G_1 = 0$$

$$V_a = \frac{G_1}{G_1 + G_2} V_{in} \quad (7)$$

Simpul b :

$$(V_b - 0)G_3 + (V_b - V_{out})G_4 + (V_b - V_{out})G_5 = 0$$

$$V_b G_3 + V_b G_4 - V_{out} G_4 + V_b G_5 - V_{out} G_5 = 0$$

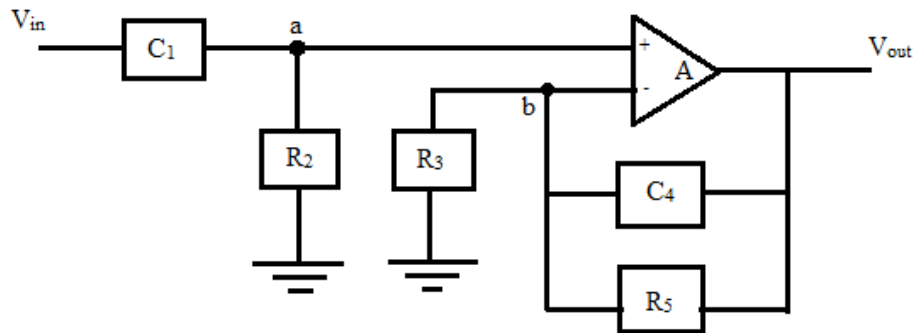
$$V_b (G_3 + G_4 + G_5) - V_{out} (G_4 + G_5) = 0$$

$$V_b = \frac{G_4 + G_5}{G_3 + G_4 + G_5} V_{out} \quad (8)$$

Karena  $V_a = V_b$  , maka

$$V_{out} \left( \frac{G_4 + G_5}{G_3 + G_4 + G_5} \right) = \left( \frac{G_1}{G_1 + G_2} \right) V_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{G_1 G_3 + G_1 G_4 + G_1 G_5}{G_4 G_1 + G_4 G_2 + G_5 G_1 + G_5 G_2} \quad (9)$$



Gambar 23. Analisis simpul komponen rangkaian pengkondisi sinyal yang digunakan

Dengan memasukkan perumpamaan dari G dengan komponen yang digunakan, maka :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{i\omega C_1}{R_3} - \omega C_4 C_1 + \frac{i\omega C_1}{R_5}}{-\omega^2 C_4 C_1 + \frac{i\omega C_4}{R_2} + \frac{i\omega C_4}{R_5} + \frac{1}{R_5 R_2}} \quad (10)$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **1. Waktu dan Tempat Penelitian**

##### 1. Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Desember 2018

##### 2. Tempat Penelitian

- a. Pembuatan rangkaian alat perekam detak jantung manusia ini dilakukan di kediaman peneliti yaitu di Notoyudan Gt II/1303 Rt.83 Rw.23, Pringgokusuma, Gedong Tengen, Yogyakarta.
- b. Pengambilan data karakterisasi dari komponen-komponen yang digunakan pada rangkaian alat perekam detak jantung manusia ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Lantai 3 dan Laboratorium Spektroskopi Lantai 2, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta (FMIPA UNY).
- c. Pengambilan data rekaman detak jantung dilakukan di kediaman peneliti, di kampus FMIPA UNY dan di tempat responden berada.

#### **2. Alat dan Bahan**

##### a. Alat yang digunakan

- 1) CRO (*Cathode Ray Oscilloscop*)
- 2) AFG (*Audio Frequency Generator*)
- 3) *Power Supply*
- 4) Multimeter

- 5) Laptop
- 6) Solder
- 7) Penghisap tenol
- 8) *Micro nipper*
- 9) Luxmeter

b. Bahan yang digunakan

- 1) Resistor
- 2) Kapasitor
- 3) LED inframerah
- 4) Fotodioda
- 5) IC LM 358 + socket
- 6) PCB IC
- 7) Kabel kawat dan serabut
- 8) Baterai kotak 9v + socket
- 9) Kabel audio + jack audio

### 3. Variabel Penelitian

a. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah respon frekuensi alat yang telah dibuat dengan penguatan yang terfokus pada frekuensi 1-3 hertz.

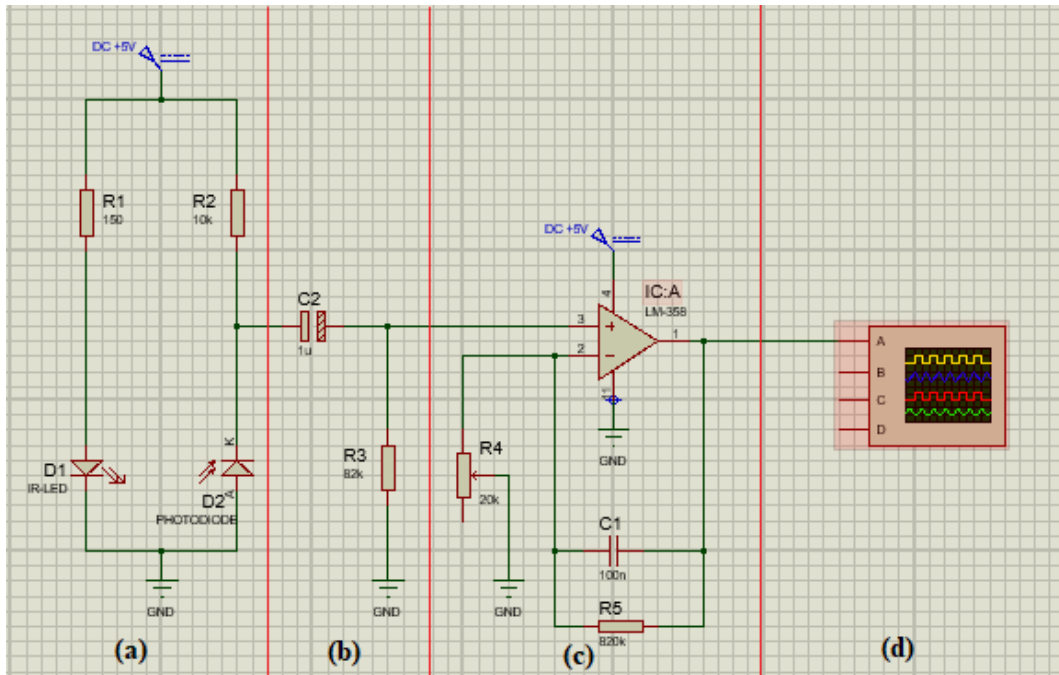
b. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah frekuensi dan jumlah detak jantung per menit responden yang berbeda-beda

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah intensitas pemaparan sinar inframerah di ujung jari telunjuk responden pada alat pemantau detak jantung manusia berbasis *Transmission Photoplethysmograph*.

4. Desain Rangkaian Alat



Gambar 24. Desain rangkaian alat perekam detak jantung *transmission photoplethysmography* a) sinyal masukan dari ujung jari yang dipancarkan dari LED inframerah dan ditangkap oleh sensor fotodiode, b) rangkaian filter *high-pass*, c) rangkaian filter *low-pass*, d) osiloskop sebagai penampil sinyal

5. Langkah Kerja

1. Rancang bangun dan urutan penelitian

Pada tahap ini penyusun memfokuskan pengerjaan alat sesuai dengan desain rangkaian alat seperti pada gambar 24.

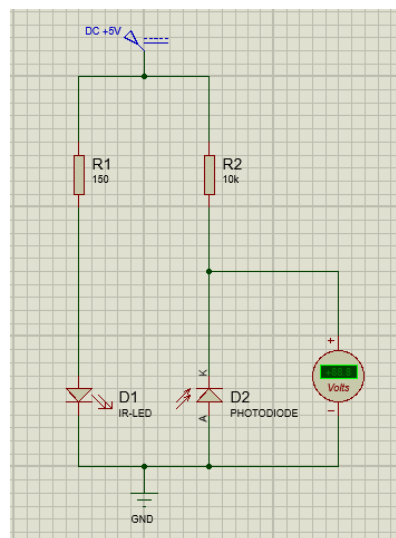
- 1) Tahap pertama perancangan alat ini adalah perancangan tempat dimana LED inframerah dan fotodiode dapat berhadapan-hadapan pada tempat untuk menjepit ujung jari.
- 2) Tahap kedua perancangan alat ini adalah pembuatan rangkaian pada PCB agar dapat menjadi satu rangkaian utuh yang digunakan untuk mengolah sinyal yang didapatkan dari fotodiode.
- 3) Tahap ketiga adalah penyambungan tempat untuk menjepit ujung jari dan rangkaian alat pengkondisi sinyal dari fotodiode.
- 4) Tahap keempat adalah pengujian dari alat yang sudah dirancang pada ujung jari manusia dengan menggunakan osiloskop sebagai penampil sinyal.
- 5) Tahap kelima adalah jika sinyal detak jantung pada manusia ini muncul pada layar penampil sinyal osiloskop maka alat akan ditambahkan kabel audio dan jack audionya agar sinyal dapat disalurkan ke dalam laptop yang memiliki aplikasi perekam sinyal audio.
- 6) Karena sinyal detak jantung yang diinginkan sudah berhasil diperoleh maka tahap berikutnya merupakan tahap karakterisasi komponen-komponen penyusun alat.
- 7) Setelah melakukan karakterisasi komponen penyusun alat maka langkah selanjutnya adalah pengujian alat kepada beberapa responden dengan variasi berupa umur, berat badan/bentuk badan, dan jenis kelamin dari beberapa responden.

2. Karakterisasi komponen yang digunakan pada alat

Pada rangkaian alat yang digunakan untuk merekam detak jantung manusia ini terdiri dari bermacam-macam komponen. Pada proses ini peneliti melakukan karakterisasi terhadap komponen-komponen pembentuk alat ini.

1. Karakterisasi tegangan fotodioda terhadap perubahan intensitas cahaya pada luxmeter

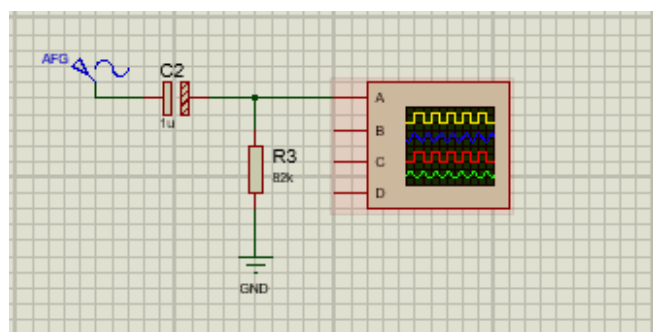
1. Merangkai fotodioda yang dihubungkan sebagai rangkaian pembagi tegangan dengan resistor 10 k $\Omega$  dan dihubungkan dengan sumber tegangan DC sebesar 5 V seperti pada desain gambar 25 di bawah.



Gambar 25. Rangkaian pengukuran tegangan sensor fotodioda

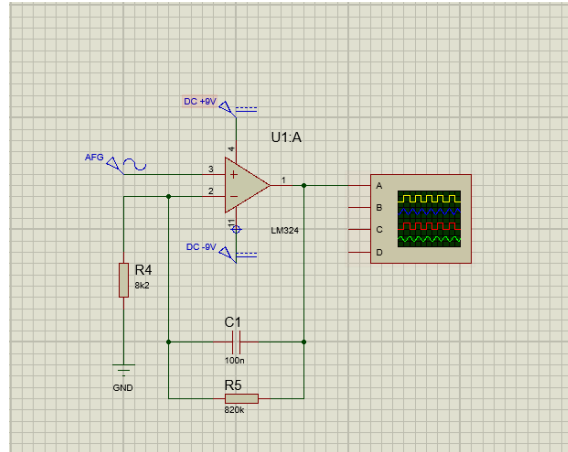
2. Meletakkan posisi sensor fotodioda dan luxmeter pada posisi bersebelahan dengan tinggi yang sama.
3. Merangkai LED dengan potensiometer agar intensitas cahaya yang dihasilkan LED dapat diatur dengan potensiometer yang dihubungkan dengan sumber tegangan 5 V.

4. Meletakkan posisi LED pada ujung seberang dari sensor fotodioda dan luxmeter dengan jarak 20 cm dengan ketinggian yang sama dengan sensor fotodioda dan luxmeter.
  5. Melakukan pengukuran dan mencatat intensitas cahaya pada sensor fotodioda dalam bentuk tegangan menggunakan multimeter digital dan intensitas cahaya pada luxmeter dari posisi LED paling terang hingga menuju paling redup yang dikarenakan perubahan resistansi pada potensiometer.
  6. Melakukan pembuatan hasil pengamatan berupa grafik hubungan intensitas cahaya pada sensor fotodioda terhadap intensitas cahaya pada luxmeter.
2. Karakterisasi filter pasif *high-pass*
    - A. Merangkai sebuah rangkaian dengan menggunakan kapasitor dan resistor yang kemudian menjadi sebuah rangkaian filter pasif *high-pass* dengan frekuensi *cut-off*  $\approx 1,94$  Hz.
    - B. Rangkaian ini kemudian dihubungkan dengan audio frekuensi generator dan *ground* seperti pada gambar 26 di bawah.



Gambar 26. Rangkaian pengukuran penguatan filter *high-pass*

- C. Melakukan pengukuran dengan menggunakan osiloskop yang mana *probe* untuk CH1 dihubungkan pada audio frekuensi generator dan *probe* untuk CH2 dihubungkan pada titik di antara kapasitor dan resistor.
  - D. Mencatat hasil besarnya tegangan keluaran terhadap tegangan masukan yang muncul pada osiloskop untuk *probe* CH1 dan *probe* CH2 untuk setiap perubahan frekuensi pada audio frekuensi generator.
  - E. Melakukan pembuatan hasil pengamatan berupa grafik hubungan antara perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan terhadap frekuensi.
3. Karakterisasi filter aktif *low-pass*
- A. Merangkai rangkaian filter aktif *low-pass* dengan frekuensi *cut-off*  $\approx 1,94$  Hz dan penguatan sebesar 101 kali. Rangkaian ini terdiri dari sebuah penguat operasional, tiga buah resistor dan sebuah kapasitor yang dihubungkan dengan dua buah baterai kotak 9 V dan sebuah audio frekuensi generator seperti gambar 27 di bawah.

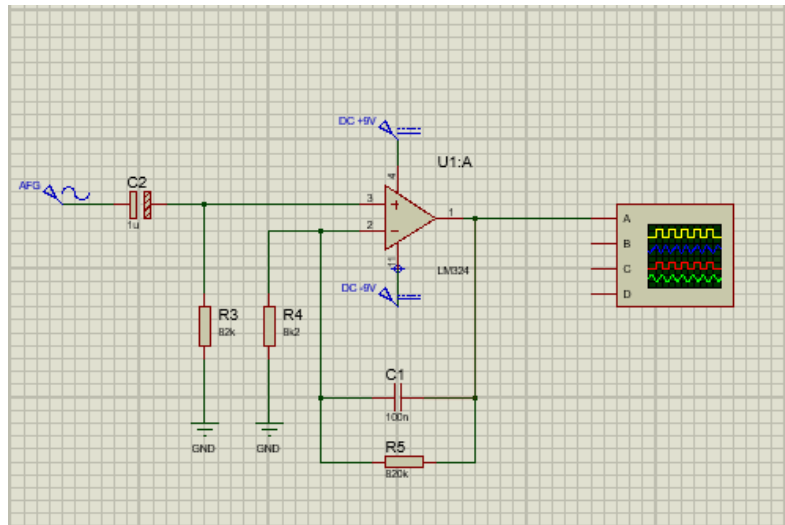


Gambar 27. Rangkaian pengukuran filter aktif *low-pass*

- B. Melakukan pengukuran tegangan keluaran terhadap tegangan masukan dengan menggunakan osiloskop yang mana *probe* untuk CH1 dihubungkan pada audio frekuensi generator dan *probe* untuk CH2 dihubungkan pada keluaran dari penguat.
  - C. Mencatat hasil besarnya tegangan yang muncul pada osiloskop untuk *probe* CH1 dan *probe* CH2 untuk setiap perubahan frekuensi pada audio frekuensi generator.
  - D. Melakukan pembuatan hasil pengamatan berupa grafik hubungan antara penguatan tegangan terhadap frekuensi.
4. Karakterisasi rangkaian total

Rangkaian total ini adalah rangkaian dari filter pasif *high-pass* dan filter aktif *low-pass* yang disatukan agar didapatkan sebuah rangkaian yang menghasilkan filter dengan penguatan yang terfokus untuk frekuensi yang sudah ditentukan atau biasa disebut filter *band-pass*.

1. Merangkai rangkaian total ini sesuai seperti pada gambar 28 di bawah.



Gambar 28. Desain pengukuran rangkaian total

2. Melakukan pengukuran dengan menggunakan osiloskop yang mana *probe* untuk CH1 dihubungkan pada audio frekuensi generator dan *probe* untuk CH2 dihubungkan pada keluaran dari rangkaian penguat total.
  3. Mencatat hasil besarnya tegangan yang muncul pada osiloskop untuk *probe* CH1 dan *probe* CH2 untuk setiap perubahan frekuensi pada audio frekuensi generator.
  4. Melakukan pembuatan hasil pengamatan berupa grafik hubungan antara penguatan tegangan terhadap frekuensi.
3. Pengambilan data rekaman detak jantung manusia

Pengambilan data rekaman detak jantung manusia ini adalah tahap pengaplikasian alat yang telah dibuat. Alat ini dihubungkan dengan laptop menggunakan jack audio agar laptop dapat merekam sinyal detak jantung

manusia dengan menggunakan ujung jari telunjuk tiap-tiap responden. Pada pengambilan data rekaman detak jantung manusia ini memiliki 2 tahap, yaitu :

1. Merekam detak jantung dalam kondisi normal atau istirahat dengan variasi umur, berat badan, dan jenis kelamin.
2. Merekam detak jantung dalam kondisi normal atau istirahat dan ketika setelah melakukan aktifitas fisik lalu membandingkannya. Kondisi setelah melakukan aktifitas fisik adalah aktifitas melakukan lompat tali selama 2 menit tanpa berhenti.

Setelah melakukan perekaman kondisi detak jantung ini kemudian data hasil rekaman tersebut dapat diolah pada *matlab* untuk mendapatkan frekuensi detak jantungnya atau detak jantung per menitnya.

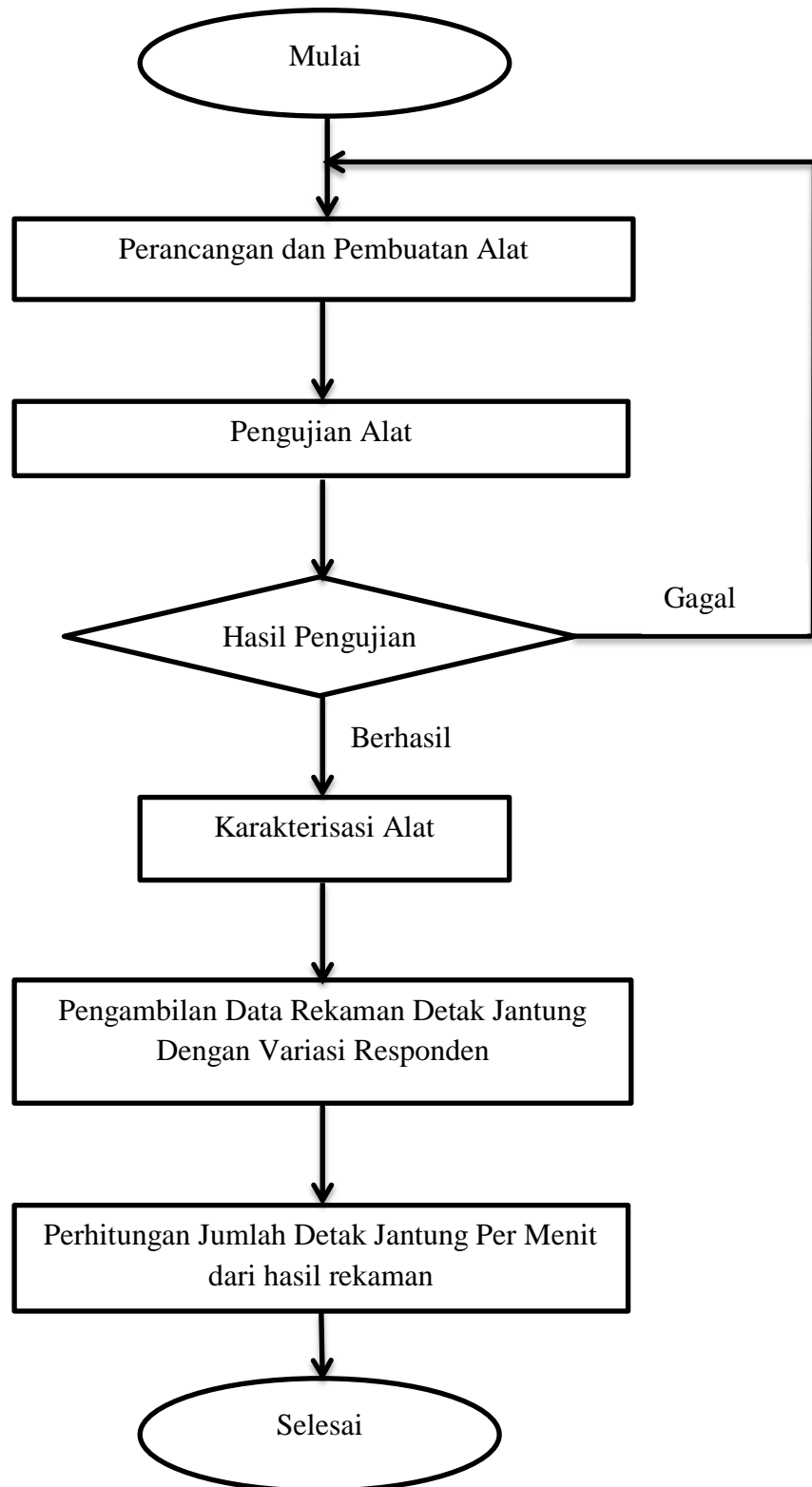
#### **4. Teknik Pengambilan Data**

Urutan teknik pengambilan data pada penelitian ini ketika alat sudah berhasil dibuat adalah :

1. Menguji hubungan tegangan pada sensor fotodioda sebagai pembagi tegangan terhadap luxmeter untuk tiap-tiap perubahan intensitas cahaya.
2. Menguji rangkaian filter pasif *high-pass* untuk tiap-tiap perubahan frekuensi terhadap penguatan tegangan atau perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan.
3. Menguji rangkaian filter aktif *low-pass* untuk tiap-tiap perubahan frekuensi terhadap penguatan tegangan atau perbandingan tegangan keluar terhadap tegangan masukan.

4. Menguji rangkaian total untuk tiap-tiap perubahan frekuensi terhadap penguatan tegangan atau perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan.
5. Merekam detak jantung responden dalam kondisi istirahat dengan variasi umur, jenis kelamin, dan berat badan. Kemudian mengolah hasil rekaman agar diketahui frekuensi detak jantungnya atau detak jantung per menitnya.
6. Merekam detak jantung responden ketika kondisi istirahat dan ketika setelah melakukan aktifitas fisik. Kemudian mengolah hasil rekaman agar diketahui frekuensi detak jantungnya atau detak jantung per menitnya.

## 5. Diagram Alir Langkah Kerja



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil

##### 1. Hasil karakterisasi sensor fotodioda

Pengujian untuk mengetahui karakterisasi dari sensor fotodioda terhadap luxmeter ini adalah dengan cara merangkaikan sensor fotodioda dengan resistor R2 sebesar 10 k $\Omega$  seperti pada gambar 25 agar rangkaian ini bisa berperan sebagai sebuah rangkaian pembagi tegangan dan diberikan tegangan sumber DC sebesar 5 V. Dengan dirangkaiannya sensor fotodioda dan resistor yang kemudian diberikan tegangan sumber DC 5 V maka bisa didapatkan besarnya tegangan yang melewati sensor fotodioda yang berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang masuk pada sensor fotodioda tersebut.

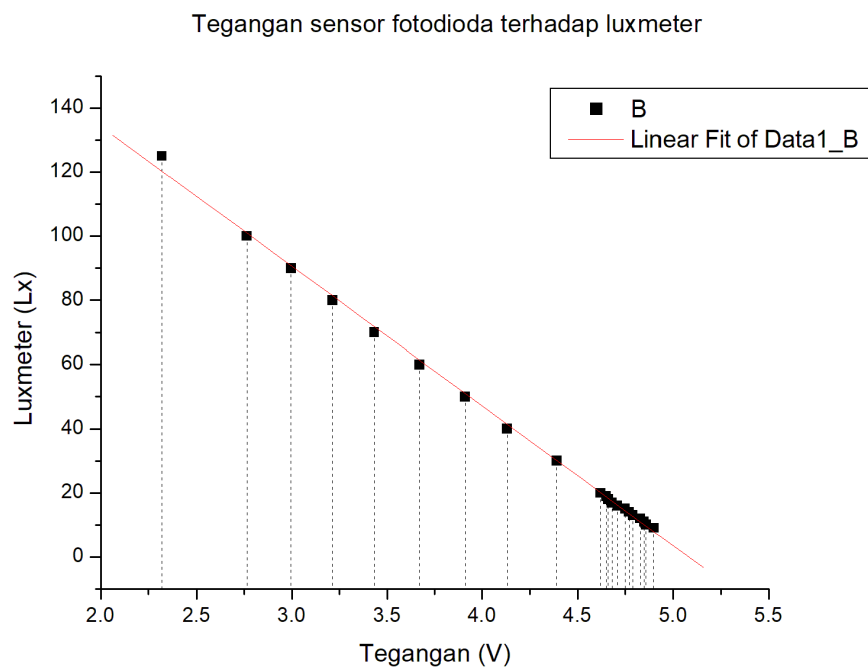
Proses pengujian linearitas sensor fotodioda terhadap luxmeter ini merupakan perbandingan antara intensitas cahaya yang diterima oleh sensor fotodioda dalam satuan tegangan terhadap luxmeter dalam satuan lux. Berikut ini adalah hasil pengujian linearitas sensor fotodioda terhadap luxmeter.

Tabel 1. Hasil karakterisasi sensor fotodioda

No	Fotodioda (Volt)	Luxmeter (Lux)
1	4.9	9
2	4.86	10
3	4.85	11
4	4.83	12
5	4.79	13
6	4.77	14
7	4.75	15

8	4.71	16
9	4.68	17
10	4.66	18
11	4.65	19
12	4.62	20
13	4.39	30
14	4.13	40
15	3.91	50
16	3.67	60
17	3.433	70
18	3.213	80
19	2.996	90
20	2.765	100
21	2.321	125

Berdasarkan data pada tabel di atas maka diperoleh grafik hubungan tegangan pada sensor fotodiode terhadap intensitas cahaya pada luxmeter seperti pada gambar 29 di bawah.



Gambar 29. Grafik hubungan tegangan sensor fotodiode terhadap luxmeter

Dengan persamaan linearitas sebagai berikut.

[11/10/2018 13:18 "/Graph1" (2458432)]  
 Linear Regression for Data1\_B:  
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	230.09133	1.78324
B	-43.57226	0.40032

R	SD	N	P
-0.9992	1.4325	21	<0.0001

## 2. Hasil karakterisasi filter *high-pass*

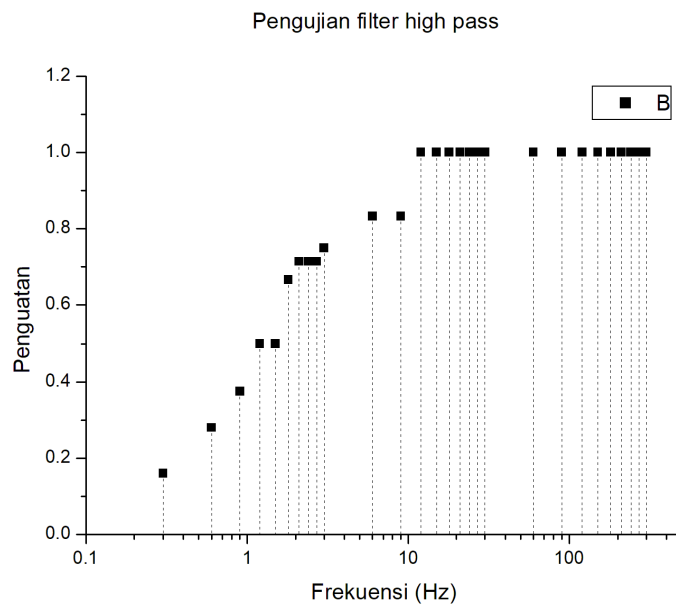
Pengujian karakterisasi filter *high-pass* ini terdiri dari resistor dan kapasitor yang dirangkai menjadi sebuah rangkaian filter *high-pass* seperti pada gambar 26 yang mana nilai resistor R3 sebesar 82 k $\Omega$  dan kapasitor C2 sebesar 1  $\mu$ F. Berdasarkan nilai resistansi dan kapasitor yang digunakan maka dapat diketahui secara teoritis bahwa filter ini memiliki frekuensi *cut-off* pada frekuensi  $\approx 1,94$ . Rangkaian ini kemudian diberikan masukan dari AFG dan mencatat perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan terhadap perubahan frekuensi pada AFG menggunakan CRO. Berikut ini adalah hasil pengujian filter *high-pass*.

Tabel 2. Hasil karakterisasi filter *high-pass*

No	Frekuensi (Hz)	Penguatan
1	0.3	0.16
2	0.6	0.28
3	0.9	0.375
4	1.2	0.5
5	1.5	0.5
6	1.8	0.666667
7	2.1	0.714286
8	2.4	0.714286
9	2.7	0.714286
10	3	0.75

11	6	0.833333
12	9	0.833333
13	12	1
14	15	1
15	18	1
16	21	1
17	24	1
18	27	1
19	30	1
20	60	1
21	90	1
22	120	1
23	150	1
24	180	1
25	210	1
26	240	1
27	270	1
28	300	1

Berdasar data pada tabel di atas maka diperoleh grafik hubungan antara frekuensi terhadap penguatan seperti pada gambar 29 di bawah ini.



Gambar 30. Grafik karakterisasi filter *high-pass*

### 3. Hasil karakterisasi filter aktif *low-pass*

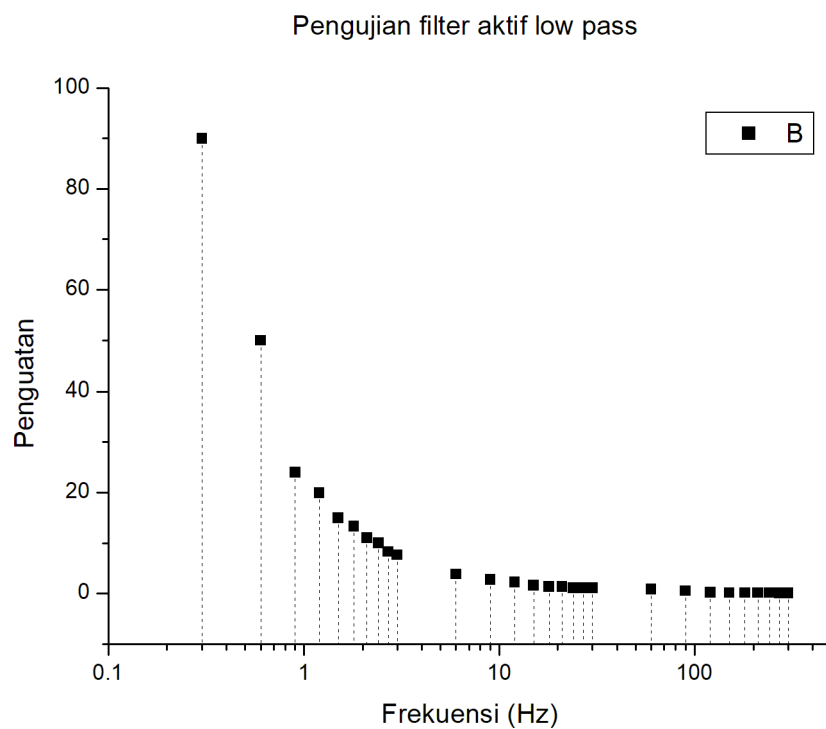
Pengujian karakterisasi filter aktif *low-pass* ini terdiri dari sebuah penguat operasional, 2 buah resistor dan sebuah kapasitor sehingga menjadi sebuah rangkaian filter aktif *low-pass* seperti pada gambar 27 yang mana nilai resistor R4 sebesar 8,2 k $\Omega$ , resistor R5 sebesar 820 k $\Omega$  dan kapasitor C1 sebesar 100 nF. Berdasarkan nilai resistansi dan kapasitor yang digunakan maka dapat diketahui secara teoritis bahwa filter ini memiliki frekuensi *cut-off* pada frekuensi  $\approx 1,94$  dan penguatan sebesar 101 kali. Rangkaian ini kemudian diberikan masukan dari AFG dan mencatat penguatannya terhadap perubahan frekuensi pada AFG menggunakan CRO. Berikut ini adalah hasil pengujian filter aktif *low-pass*.

Tabel 3. Hasil karakterisasi filter aktif *low-pass*

No	Frekuensi (Hz)	Penguatan
1	0.3	90
2	0.6	50
3	0.9	24
4	1.2	20
5	1.5	15
6	1.8	13.33333
7	2.1	11
8	2.4	10
9	2.7	8.333333
10	3	7.692308
11	6	3.888889
12	9	2.777778
13	12	2.222222
14	15	1.666667
15	18	1.388889
16	21	1.388889
17	24	1.111111
18	27	1.111111
19	30	1.111111
20	60	0.888889

21	90	0.555556
22	120	0.222222
23	150	0.166667
24	180	0.166667
25	210	0.166667
26	240	0.166667
27	270	0.138889
28	300	0.138889

Berdasar data pada tabel di atas maka diperoleh grafik hubungan antara frekuensi terhadap penguatan seperti pada gambar 30 di bawah ini.



Gambar 31. Grafik karakterisasi filter aktif *low-pass*

#### 4. Hasil karakterisasi rangkaian total

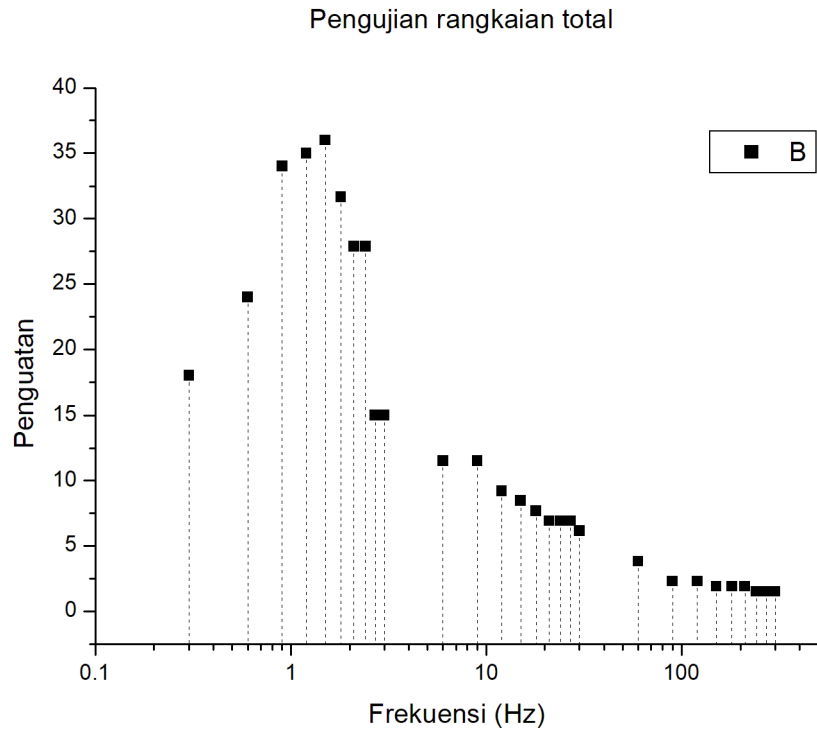
Pengujian karakterisasi rangkaian total ini merupakan pengujian pada rangkaian filter pasif *high-pass* dan filter aktif *low-pass* yang dijadikan satu menjadi rangkaian total seperti pada gambar 28. Rangkaian total ini kemudian

diberikan masukan dari AFG dan mencatat penguatannya terhadap perubahan frekuensi pada AFG menggunakan CRO. Berikut ini adalah hasil pengujian rangkaian total.

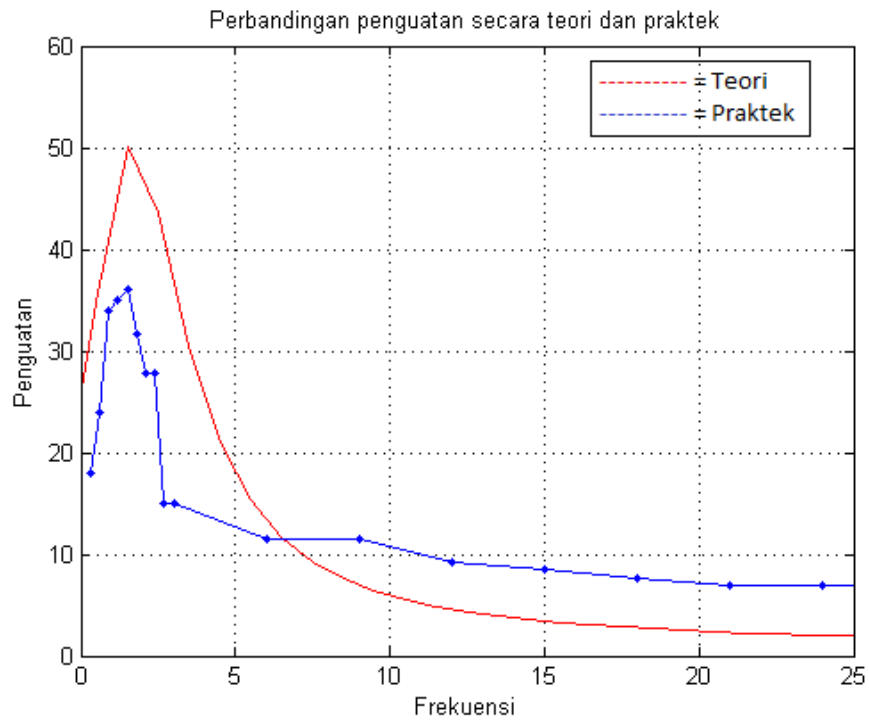
Tabel 4. Hasil karakterisasi rangkaian total

No	Frekuensi (Hz)	Penguatan
1	0.3	18
2	0.6	24
3	0.9	34
4	1.2	35
5	1.5	36
6	1.8	31.66667
7	2.1	27.85714
8	2.4	27.85714
9	2.7	15
10	3	15
11	6	11.53846
12	9	11.53846
13	12	9.230769
14	15	8.461538
15	18	7.692308
16	21	6.923077
17	24	6.923077
18	27	6.923077
19	30	6.153846
20	60	3.846154
21	90	2.307692
22	120	2.307692
23	150	1.923077
24	180	1.923077
25	210	1.923077
26	240	1.538462
27	270	1.538462
28	300	1.538462

Berdasar data pada tabel di atas maka diperoleh grafik hubungan antara frekuensi terhadap penguatan seperti pada gambar 31 di bawah ini.



Gambar 32. Grafik hasil karakterisasi rangkaian total



Gambar 33. Perbandingan penguatan rangkaian total secara teori dan praktek

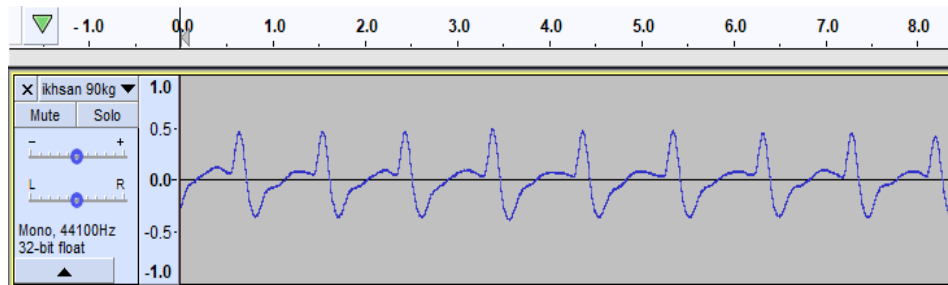
5. Hasil perekaman detak jantung manusia dalam kondisi istirahat **dengan variasi umur, jenis kelamin, dan berat badan**

a. **Responden 1**

Tabel 5. Data responden 1

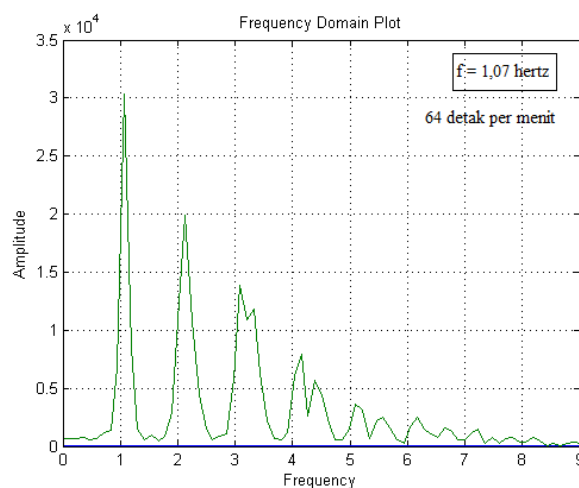
Nama	Ikhsan
Umur	22 tahun
Tinggi/berat badan	174 cm/90 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

Gambar 34 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden pertama dalam kondisi istirahat.



Gambar 34. Rekaman detak jantung responden pertama

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



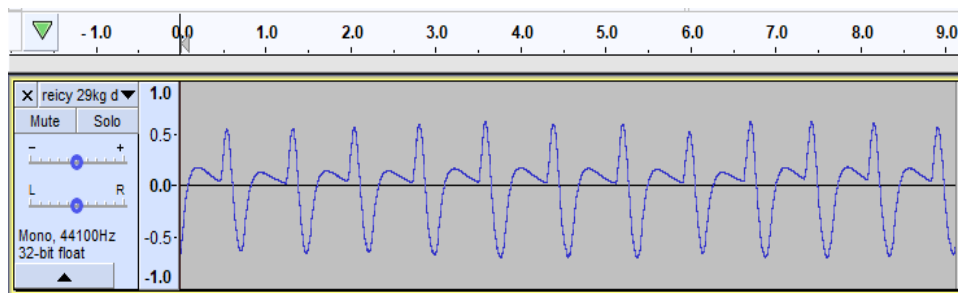
Gambar 35. Hasil transformasi Fourier rekaman responden pertama

## b. Responden 2

Tabel 6. Data responden 2

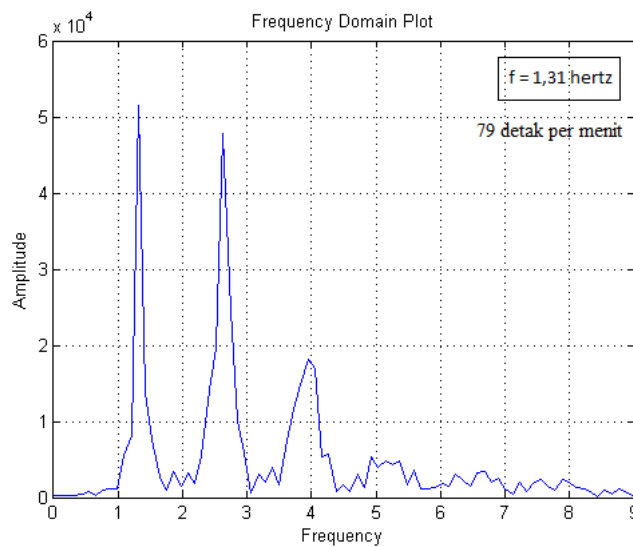
Nama	Reicy
Umur	11 tahun
Tinggi/berat badan	133 cm/29 kg
Jenis kelamin	Perempuan

Gambar 36 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden kedua dalam kondisi istirahat.



Gambar 36. Rekaman detak jantung responden kedua

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



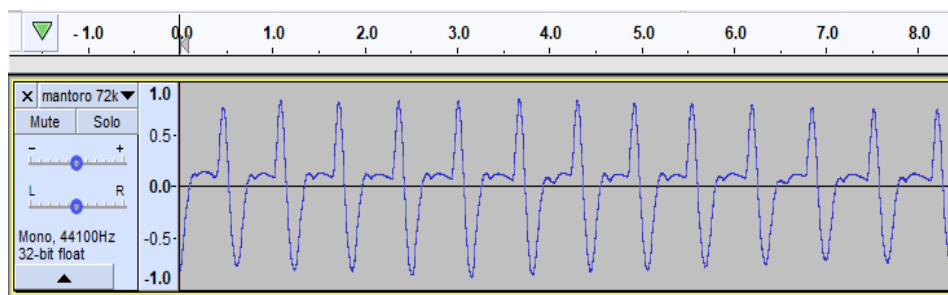
Gambar 37. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedua

### c. Responden 3

Tabel 7. Data responden 3

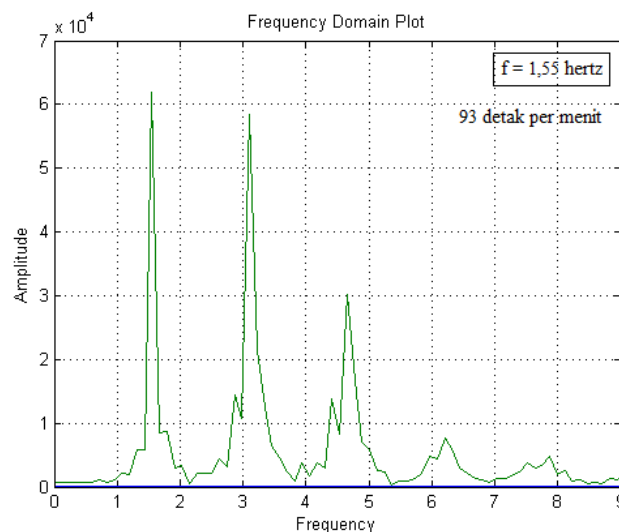
Nama	Mantoro
Umur	64 tahun
Tinggi/berat badan	163 cm/72 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

Gambar 38 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden ketiga dalam kondisi istirahat.



Gambar 38. Rekaman detak jantung responden ketiga

Berikut ini adalah hasil pengondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



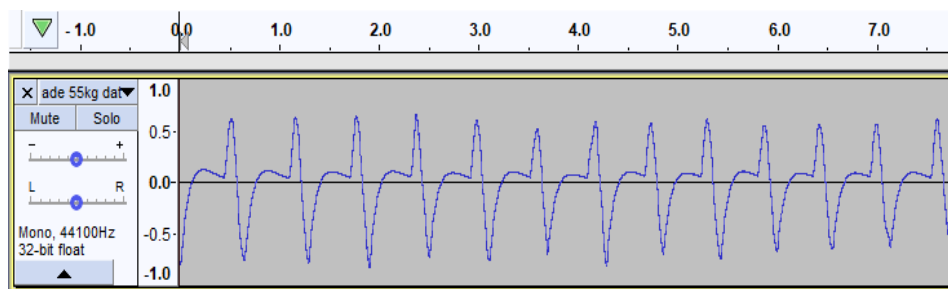
Gambar 39. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketiga

#### d. Responden 4

Tabel 8. Data responden 4

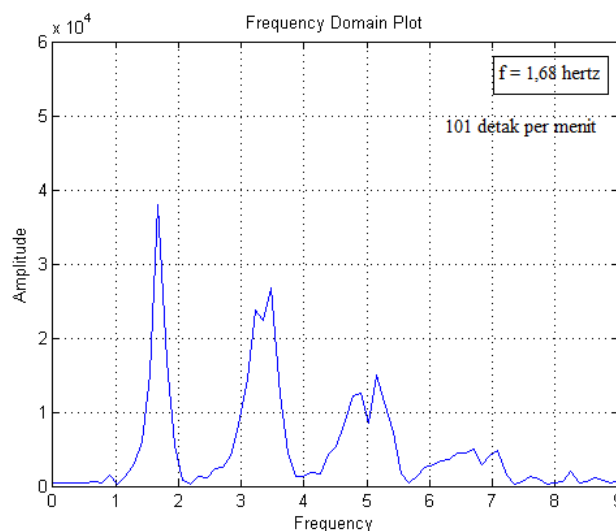
Nama	Ade
Umur	23 tahun
Tinggi/berat badan	164 cm/55 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

Gambar 40 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden keempat dalam kondisi istirahat.



Gambar 40. Rekaman detak jantung responden keempat

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



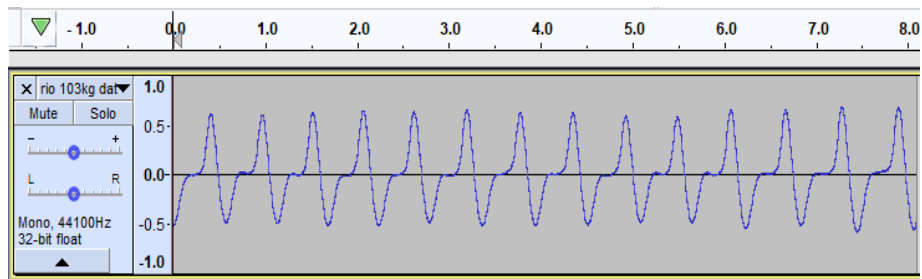
Gambar 41. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keempat

e. Responden 5

Tabel 9. Data responden 5

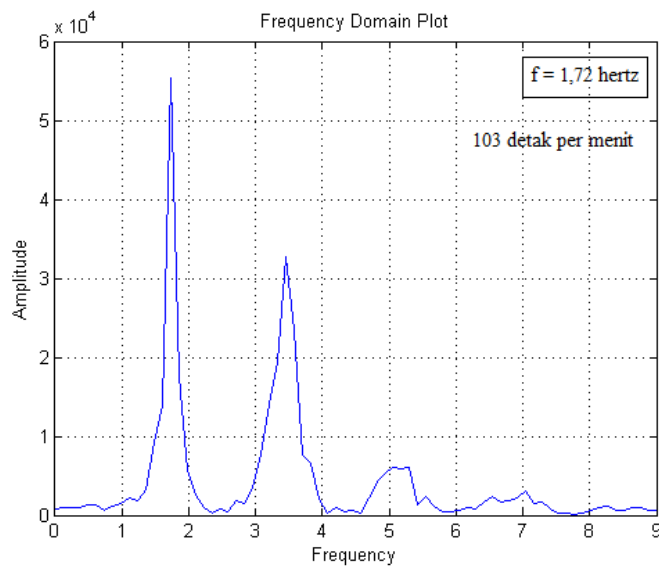
Nama	Rio
Umur	20 tahun
Tinggi/berat badan	168 cm/103 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

Gambar 42 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden kelima dalam kondisi istirahat.



Gambar 42. Rekaman detak jantung responden kelima

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 43. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kelima

## 6. Hasil perekaman detak jantung manusia dalam kondisi istirahat dibandingkan dengan kondisi setelah melakukan aktivitas fisik

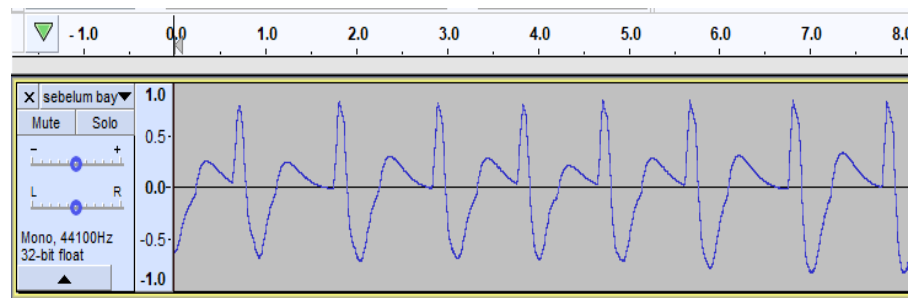
### A. Responden 6

Tabel 10. Data responden 6

Nama	Bayu
Umur	23 tahun
Tinggi/berat badan	170 cm/65 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

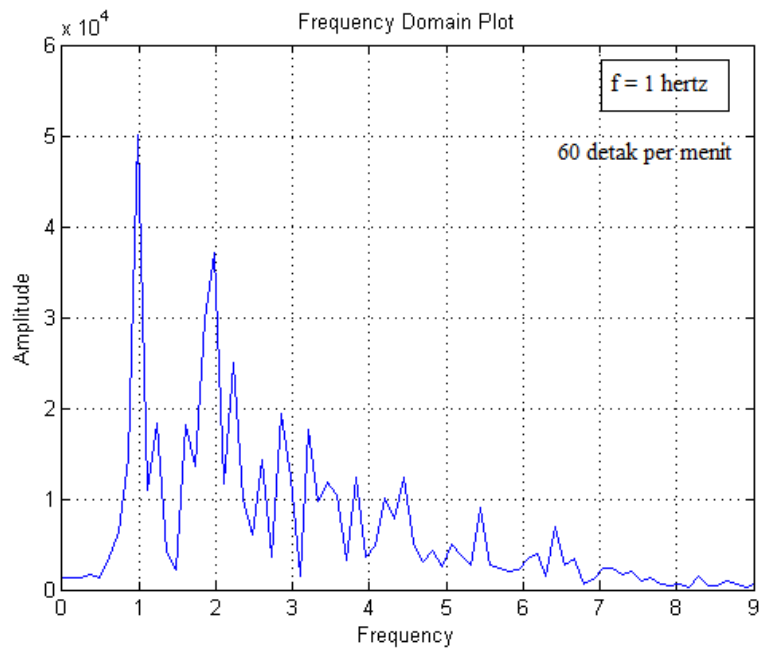
#### 1. Kondisi istirahat

Gambar 44 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden keenam dalam kondisi istirahat.



Gambar 44. Rekaman detak jantung responden keenam kondisi istirahat

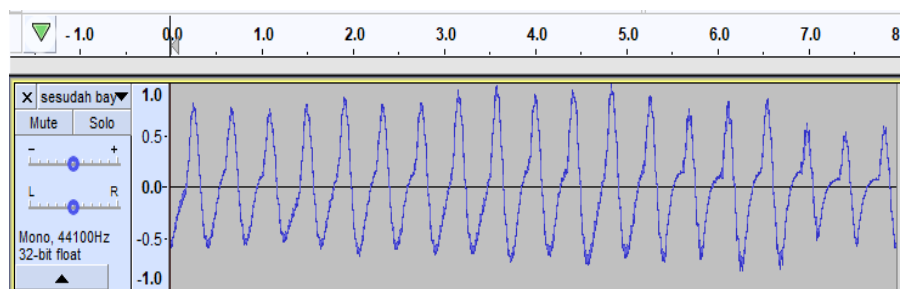
Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 45. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keenam kondisi istirahat

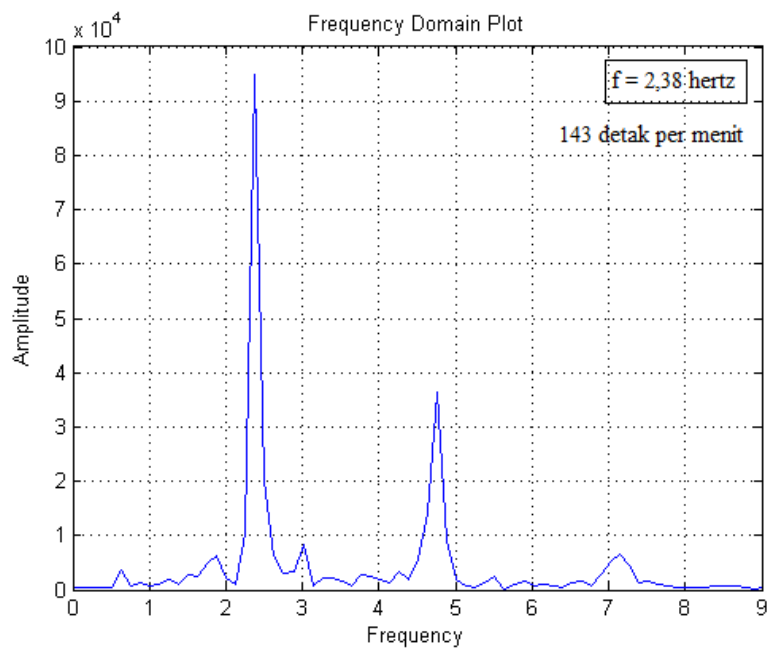
2. Kondisi setelah beraktifitas

Gambar 46 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden keenam dalam kondisi setelah beraktifitas yaitu aktifitas lompat tali atau *skipping* selama 2 menit tanpa henti.



Gambar 46. Rekaman detak jantung responden keenam kondisi setelah beraktifitas

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 47. Hasil transformasi Fourier rekaman responden keenam kondisi setelah beraktifitas

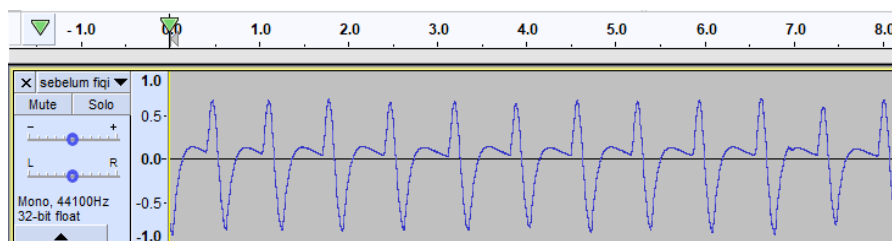
## B. Responden 7

Tabel 11. Data responden 7

Nama	Fiqi
Umur	23 tahun
Tinggi/berat badan	168 cm/76 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

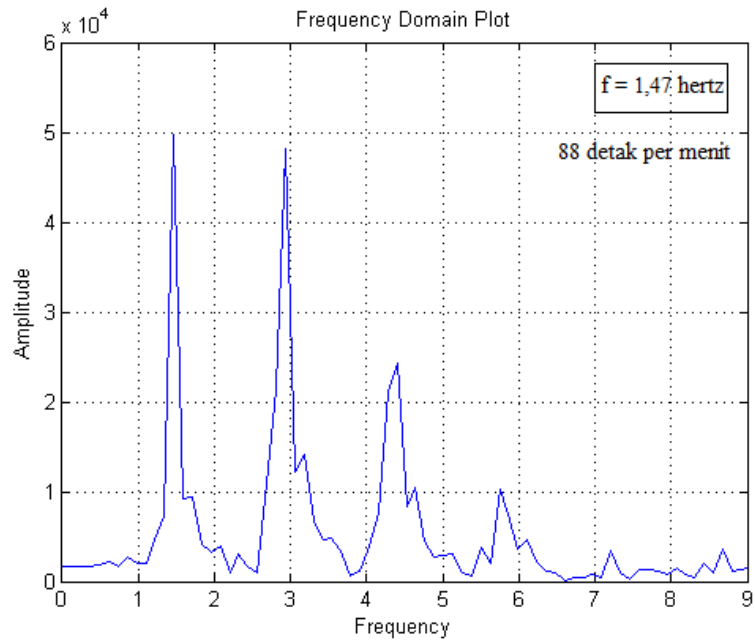
### A. Kondisi istirahat

Gambar 48 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden ketujuh dalam kondisi istirahat.



Gambar 48. Rekaman detak jantung responden ketujuh kondisi istirahat

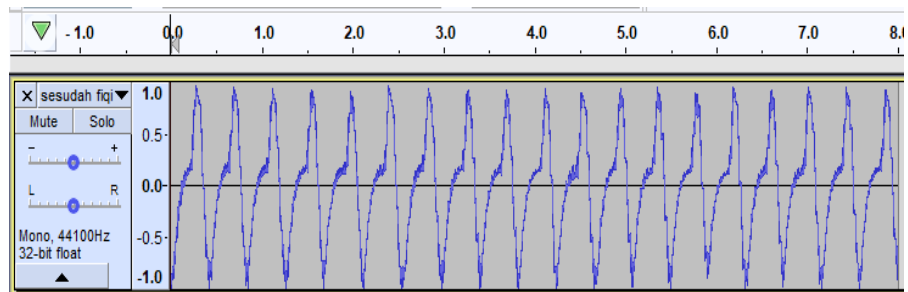
Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 49. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketujuh kondisi istirahat

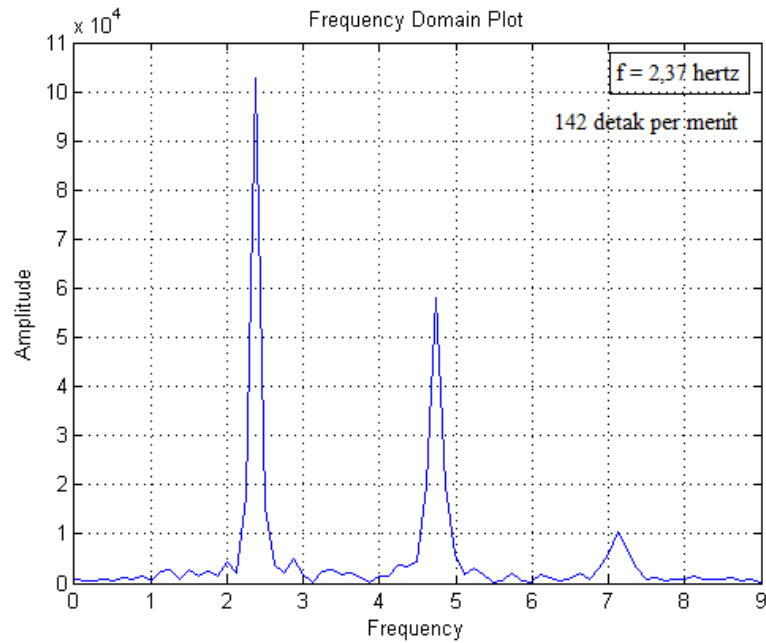
#### B. Kondisi setelah beraktifitas

Gambar 50 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden ketujuh dalam kondisi setelah beraktifitas yaitu aktifitas lompat tali atau *skipping* selama 2 menit tanpa henti.



Gambar 50. Rekaman detak jantung responden ketujuh kondisi setelah beraktifitas

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 51. Hasil transformasi Fourier rekaman responden ketujuh kondisi setelah beraktifitas

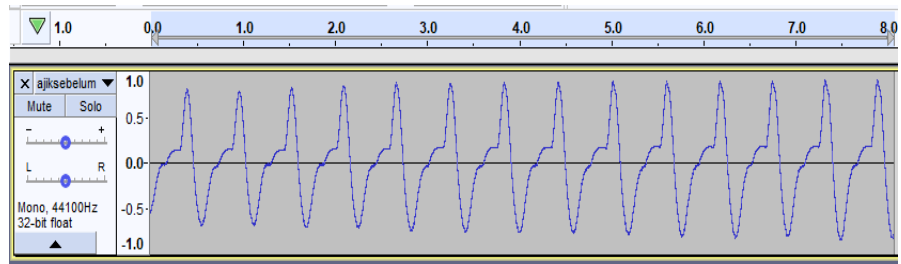
### C. Responden 8

Tabel 12. Data responden 8

Nama	Ajik
Umur	24 tahun
Tinggi/berat badan	165 cm/46 kg
Jenis kelamin	Laki-laki

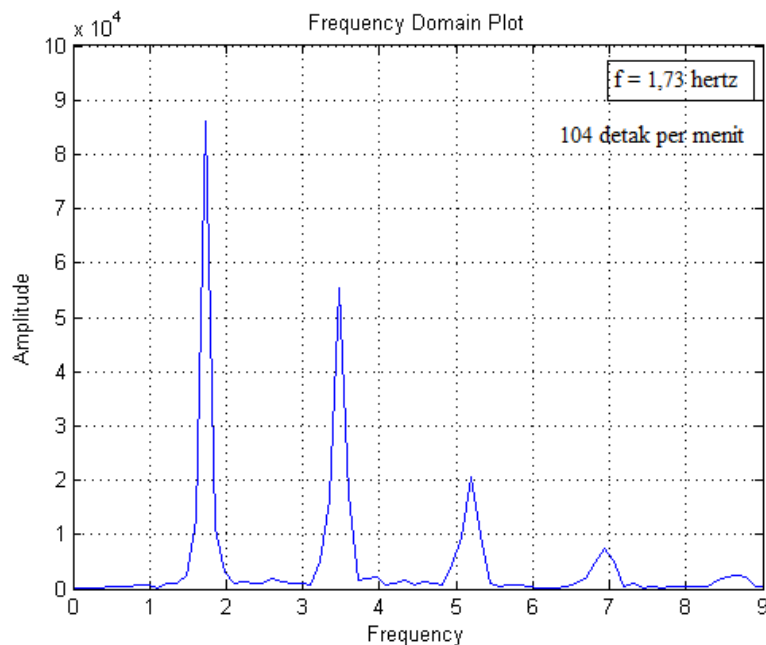
#### 1. Kondisi istirahat

Gambar 52 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden kedelapan dalam kondisi istirahat.



Gambar 52. Rekaman detak jantung responden kedelapan kondisi istirahat

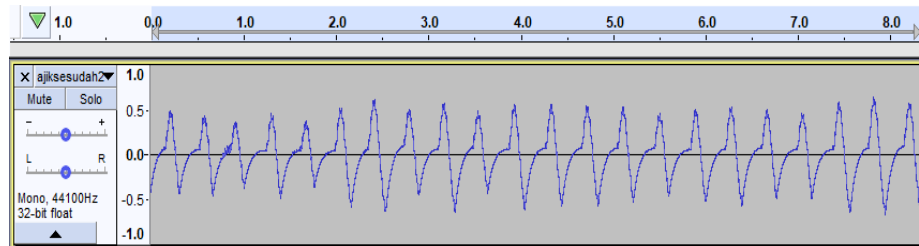
Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 53. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedelapan kondisi istirahat

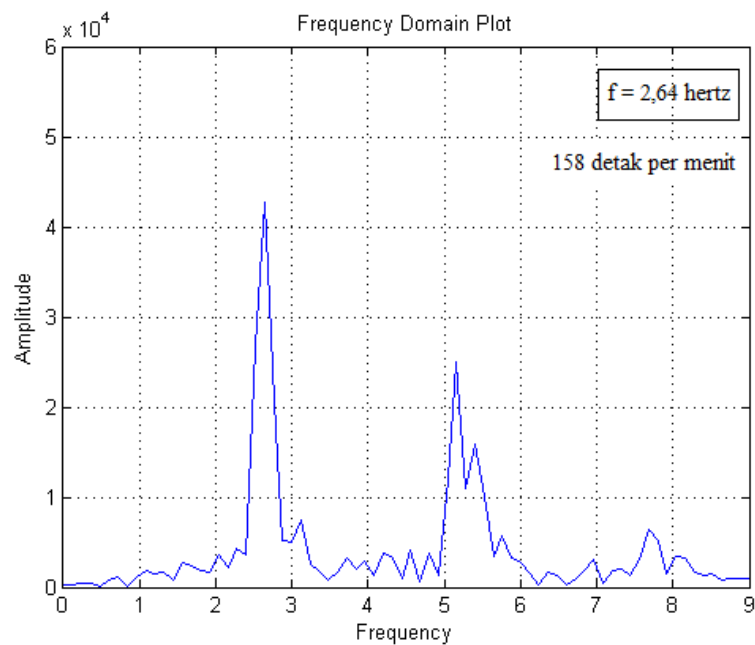
## 2. Kondisi setelah beraktifitas

Gambar 54 di bawah ini merupakan hasil rekaman detak jantung pada responden kedelapan dalam kondisi setelah beraktifitas yaitu aktifitas lompat tali atau *skipping* selama 2 menit tanpa henti.



Gambar 54. Rekaman detak jantung responden kedelapan kondisi setelah beraktifitas

Berikut ini adalah hasil pengkondisian transformasi Fourier pada data rekaman detak jantung dengan menggunakan *matlab* untuk mengetahui frekuensi detak jantung responden.



Gambar 55. Hasil transformasi Fourier rekaman responden kedelapan kondisi setelah beraktifitas

## 7. Pembahasan

### 1. Pembahasan hasil karakterisasi sensor fotodiode

Berdasarkan hasil pengujian karakterisasi sensor fotodiode ini maka dapat diketahui bahwa tegangan pada sensor fotodiode mengalami penurunan

tegangan untuk tiap kenaikan intensitas cahaya pada luxmeter. Hubungan antara tegangan pada sensor fotodioda terhadap intensitas cahaya pada luxmeter ini dapat dianalisis dengan analisis fitting linear yang mana berdasarkan hasil dari fitting linear dari origin didapatkan hasil persamaan linearitas tegangan sensor fotodioda terhadap luxmeter adalah  $y = 230,09133 - 43,57226 x$

## **2. Pembahasan hasil karakterisasi filter *high-pass***

Berdasarkan hasil pengujian karakterisasi filter *high-pass* ini sesuai dengan persamaan (4) secara teoritis filter ini memiliki frekuensi *cut-off* pada frekuensi  $\approx 1,94$  hertz sedangkan pada pengujian karakterisasi filter *high-pass* ini sinyal yang dilewatkan tanpa pelemahan adalah sinyal yang memiliki frekuensi  $\geq 12$  hertz. Sedangkan untuk sinyal yang memiliki frekuensi  $< 12$  hertz terjadi pelemahan.

## **3. Pembahasan hasil karakterisasi filter aktif *low-pass***

Berdasarkan hasil pengujian karakterisasi filter aktif *low-pass* ini sesuai dengan persamaan pada gambar 21 maka secara teoritis filter ini memiliki frekuensi *cut-off* pada frekuensi  $\approx 1,94$  hertz dan penguatan sebesar 101 kali sedangkan pada pengujian karakterisasi filter aktif *low-pass* ini sinyal yang dilewatkan dengan pengutatan adalah sinyal yang memiliki frekuensi  $\leq 30$  hertz. Sedangkan untuk sinyal yang memiliki frekuensi  $> 30$  hertz terjadi pelemahan.

#### 4. **Pembahasan hasil karakterisasi rangkaian total**

Rangkaian total ini bertujuan agar dapat menguatkan sinyal tertentu terutama untuk rentang frekuensi 1-3 hertz karena pada rentang frekuensi inilah jantung manusia secara efektif bekerja. Pada rangkaian total ini dapat diketahui bahwa penguatan sinyal untuk frekuensi 0,9 hertz = 34 kali dan 3 hertz = 15 kali.

Berdasarkan grafik hasil pengujian karakterisasi rangkaian total ini pada gambar 31 dapat diketahui bahwa frekuensi yang dominan dikuatkan ada pada frekuensi 1,5 hertz dan ada pada rentang frekuensi 0,3 sampai 3 hertz.

#### 5. **Pembahasan hasil perekaman detak jantung manusia**

Perekaman detak jantung manusia dalam kondisi istirahat dengan variasi umur, jenis kelamin, dan berat badan ini data yang digunakan sebanyak 8 orang responden, sedang untuk perekaman detak jantung manusia dalam kondisi setelah beraktifitas data yang digunakan sebanyak 3 orang responden. Aktifitas yang dilakukan adalah aktifitas lompat tali atau *skipping* selama 2 menit tanpa henti. Berdasarkan hasil data rekaman sinyal detak jantung responden maka dapat diolah kedalam program *matlab* untuk mengetahui berapa frekuensi detak jantung responden yang telah direkam.

Frekuensi detak jantung dalam keadaan sehat tiap orang berbeda-beda, dipengaruhi faktor-faktor fisik dan kejiwaan tiap-tiap orang. Berdasarkan teori manusia normal dalam kondisi istirahat memiliki detak jantung diantara 60 – 100 detakan per menit.

Berikut ini adalah tabel frekuensi detak jantung tiap-tiap responden dan detak jantung per menitnya.

Tabel 13. Frekuensi detak jantung responden dan detak jantung per menitnya

No	Nama	Umur (tahun)	Tinggi/ berat badan	Kondisi istirahat		Kondisi setelah beraktifitas	
				Frekuensi (Hz)	Detakan per menit	Frekuensi (Hz)	Detakan per menit
1	Ikhsan	22	174 cm/90 kg	1,07	≈64	-	-
2	Reicy	11	133 cm/29 kg	1,31	≈79	-	-
3	Mantoro	64	163 cm/72 kg	1,55	93	-	-
4	Ade	23	164 cm/55 kg	1,68	≈101	-	-
5	Rio	20	168 cm/103 kg	1,72	≈103	-	-
6	Bayu	23	170 cm/65 kg	1	60	2,38	≈143
7	Fiqi	23	168 cm/76 kg	1,47	≈88	2,37	≈142
8	Ajik	24	165cm/46 kg	1,73	≈104	2,64	≈158

Berdasarkan tabel 13 di atas menunjukkan bahwa detak jantung manusia berubah semakin cepat setelah melakukan aktifitas fisik. Hal ini dapat membuktikan bahwa alat yang telah dibuat dapat merekam detak jantung manusia dalam kondisi istirahat maupun setelah melakukan aktifitas yang menyebabkan detak jantung manusia semakin cepat.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa

1. Rancang-bangun instrumen perekam detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph* yang telah berhasil dibuat ini mampu menampilkan dan merekam detak jantung manusia.
2. Rangkaian pengkondisi sinyal yang telah dibuat sesuai dan efektif pada frekuensi 1-3 hertz untuk alat pemantau detak jantung manusia berbasis *transmission photoplethysmograph*.

#### **2. Saran**

Saran untuk penelitian yang dilakukan untuk selanjutnya adalah

- A. Dibuatkannya dudukan sensor yang lebih kokoh dan fleksibel di ujung jari manusia, sehingga sinyal-sinyal pengganggu dapat diminimalisir yang mungkin dikarenakan oleh sinar cahaya dari luar atau karena gerakan-gerakan badan yang juga mempengaruhi sinyal PPG.
- B. Dilakukannya perbandingan antara alat yang telah berhasil dibuat dengan alat standar yang digunakan untuk memantau detak jantung.
- C. Perbaikan pada rangkaian pengkondisi sinyal terutama pada rangkaian filter *high-pass* dan *low-pass* agar kedua filter memberikan respon frekuensi yang lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pearce, Evelyn C. 2011. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Drs. H. Syaifudin. 2012. *Anatomi dan Fisiologi untuk Keperawatan dan Kebidanan edisi 4*. Jakarta : EGC
- Crabtree, Vincent Peter. 2003. *Non-invasive vascular assessment using photoplethysmography*. England : Loughborough University.
- Clayton, George and Winder, Steve. 2003. *Operational Amplifiers Fifth Edition*. England : Newnes.
- Stateikina, Irana. 2002. *Optoelectronic Semiconductor Devices-Principals and Characteristics*. Canada : Concordia University.
- Hayt, Jr. William H., dkk. 2005. *Rangkaian listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Bishop, Owen. 2004. *Dasar-dasar elektronika*. Jakarta : Erlangga.
- <https://infosehatbugar.com/1842/kenalilah-bagaimana-anatomi-dari-jantung-manusia.html> diakses pada tanggal 26 Juni 2018.
- <http://gudangmedis.blogspot.co.id/2015/01/teknik-radiografi-toraks-jantung-dan.html> diakses pada 26 Juni 2018
- <http://smart-pustaka.blogspot.co.id/2011/03/sistem-peredaran-darah-manusia-sistem.html> diakses pada 26 Juni 2018
- <https://www.mdpi.com/2079-9292/3/2/282/htm> diakses pada 26 Juni 2018
- <https://www.highgrove.net/blog/4-reasons-why-you-should-upgrade-to-led-landscape-lighting> diakses pada 26 Juni 2018

<https://electronicscoach.com/photodiode.html> diakses pada 26 Juni 2018

<https://www.pinterest.com/pin/553309504197010406/> diakses pada 26 Juni 2018

## LAMPIRAN

