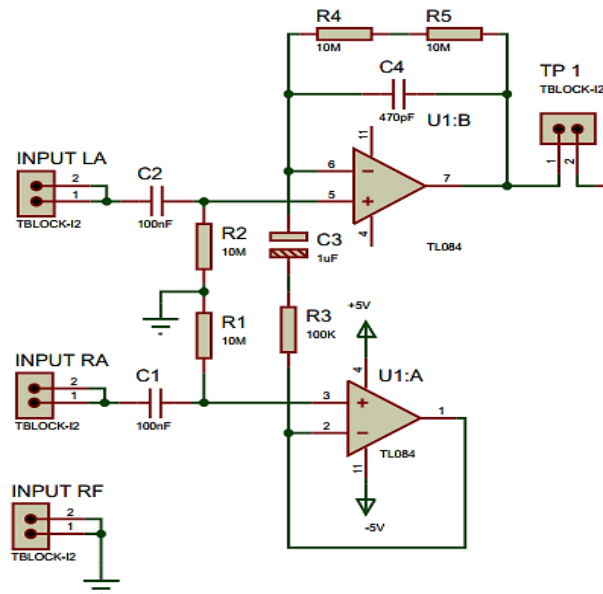


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran *Test Point*

4.1.1 *Output Instrument Amplifier*

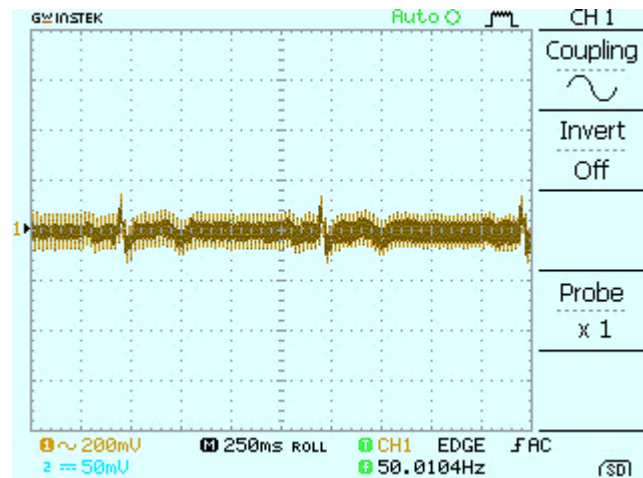


Gambar 4.1 Rangkaian *Instrument Amplifier Lead I*

a. *Output Rangkaian Instrument Amplifier Lead I*

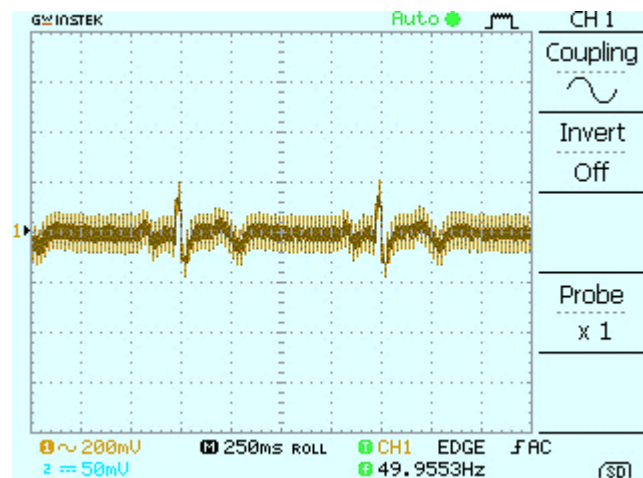
Langkah-langkah pengujian pada rangkaian *instrument amplifier Lead I* yaitu :

1. Atur *amplitudo phantom ECG* sebesar 0.5 mV, 1 mV, dan 2 mV Pada rangkaian *instrument amplifier Lead I* terdapat penguatan sebesar 303,9 .
2. Cek *output* pada TP1 pada rangkaian *instrument amplifier Lead I* menggunakan *oscilloscope* lalu amati hasilnya.
3. Berikut hasil *output* pada *oscilloscope* :



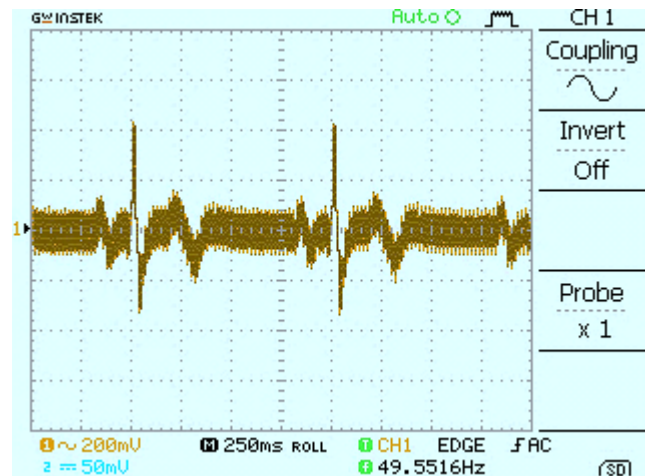
Gambar 4.2 Output Instrument Amplifier Lead I amplitudo 0,5 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 1,4 \times 0,2 \\
 &= 0,28 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Output Instrument Amplifier Lead I amplitudo 1 mV

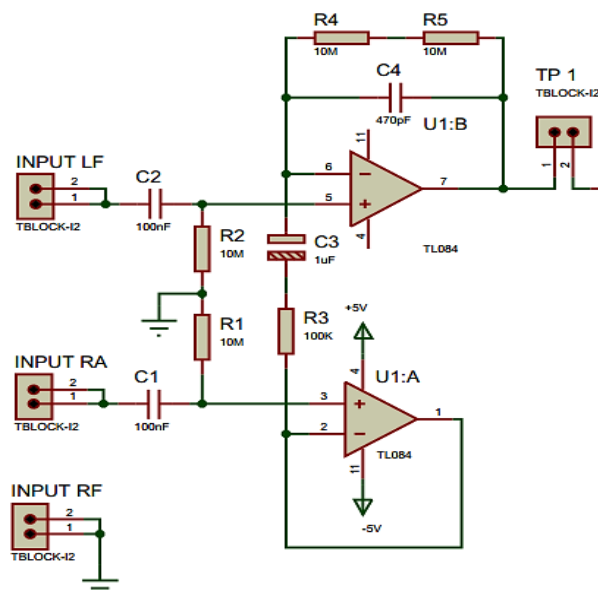
$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 1,9 \times 0,2 \\
 &= 0,38 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Output Instrument Amplifier Lead I amplitudo 2 mV

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\ &= 3,8 \times 0,2 \\ &= 0,76 \text{ V} \end{aligned}$$

b. Output Rangkaian Instrument Amplifier Lead II

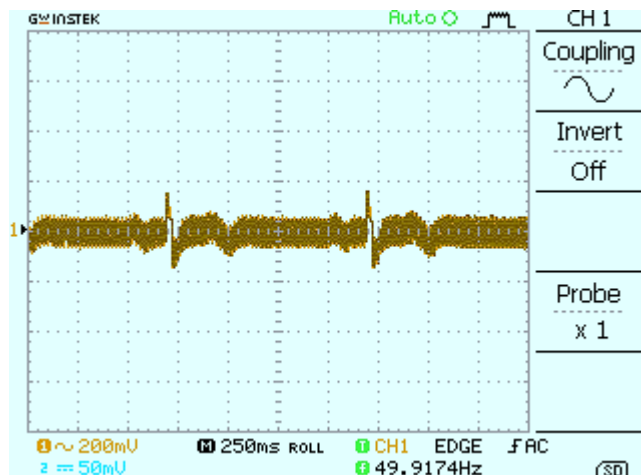


Gambar 4.5 Rangkaian Instrument Amplifier Lead II

Langkah-langkah pengujian pada rangkaian *instrument amplifier Lead 2* yaitu :

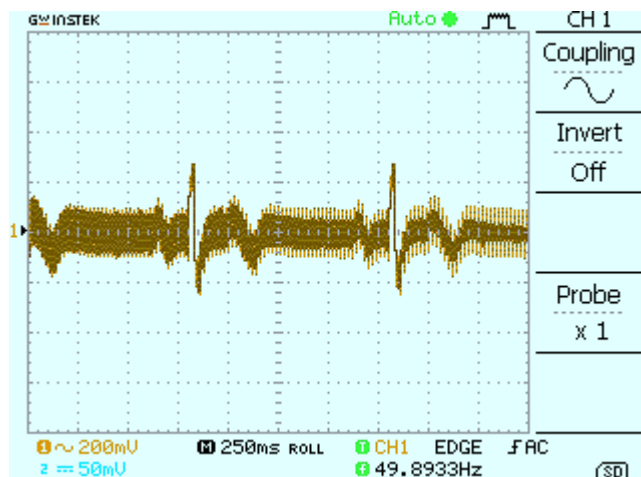
1. Atur *amplitudo phantom ECG* sebesar 0.5 mV, 1 mV, dan 2 mV. Pada rangkaian *instrument amplifier Lead 2* terdapat penguatan sebesar 300x.

2. Cek *output* pada TP1 pada rangkaian *instrument amplifier Lead 2* menggunakan *oscilloscope*.
3. Berikut hasil output pada *oscilloscope* :



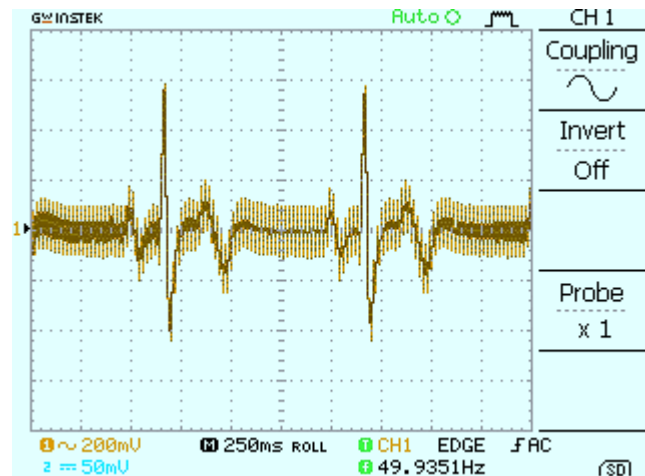
Gambar 4.6 Output Instrument Amplifier Lead II amplitudo 0,5 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 1,6 \times 0,2 \\
 &= 0,32 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.7 Output Instrument Amplifier Lead II Amplitudo 1 mV

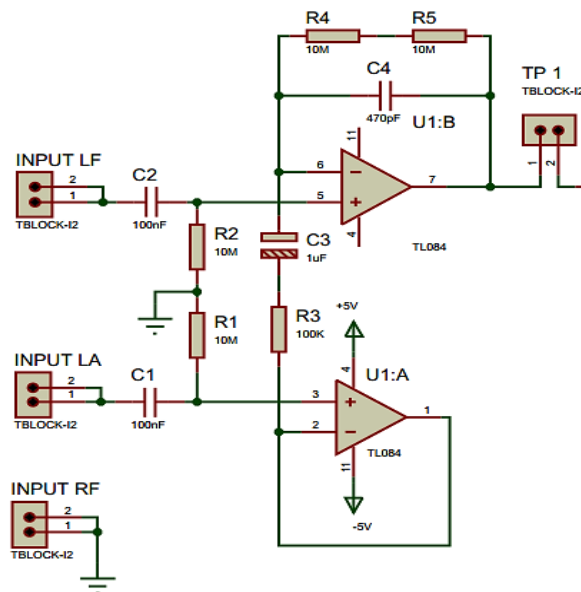
$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 2,6 \times 0,2 \\
 &= 0,52 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Output Instrument Amplifier Lead II Amplitudo 2 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 4,2 \times 0,2 \\
 &= 0,84 \text{ V}
 \end{aligned}$$

c. Output Rangkaian Instrument Amplifier Lead 3



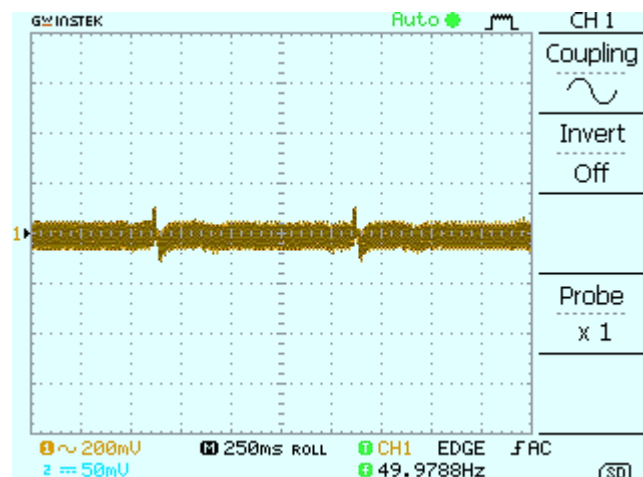
Gambar 4.9 Rangkaian Instrument Amplifier Lead 3

Langkah-langkah pengujian pada rangkaian *instrument amplifier Lead 3* yaitu :

1. Atur *amplitudo phantom ECG* sebesar 0.5 mV, 1 mV, dan 2 mV. Pada rangkaian *instrument amplifier Lead 3* terdapat penguatan sebesar 300x.

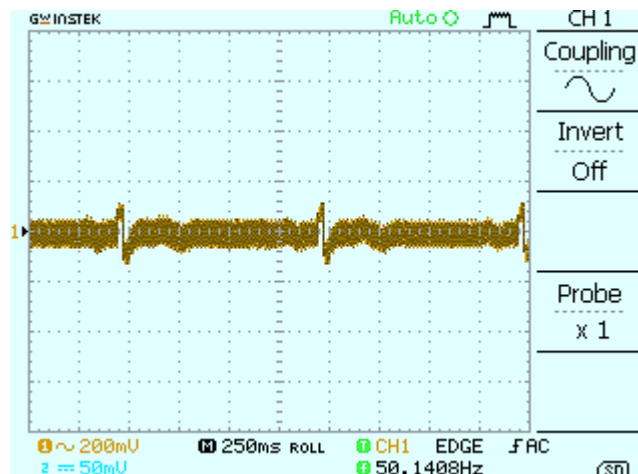
2. Cek *output* pada TP1 pada rangkaian *instrument amplifier* Lead 3 menggunakan *oscilloscope*.

Berikut hasil output pada *oscilloscope* :



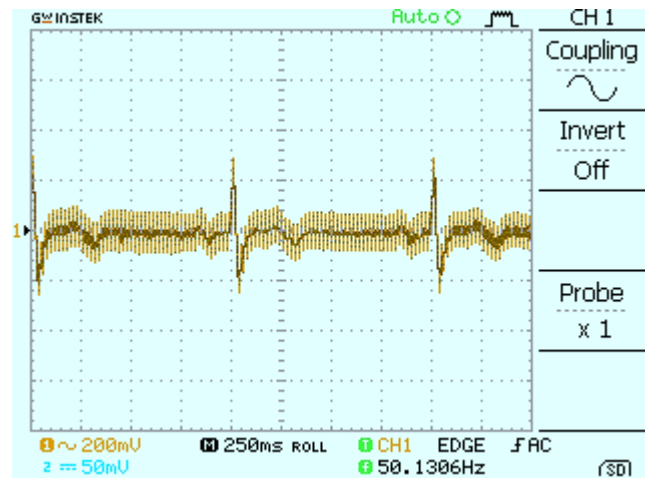
Gambar 4.10 Output Instrument Amplifier Lead III amplitudo 0,5 mV

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\ &= 1 \times 0,2 \\ &= 0,2 \text{ V} \end{aligned}$$



Gambar 4.11 Output Instrument Amplifier Lead III amplitudo 1 mV

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\ &= 1 \times 0,28 \\ &= 0,28 \text{ V} \end{aligned}$$

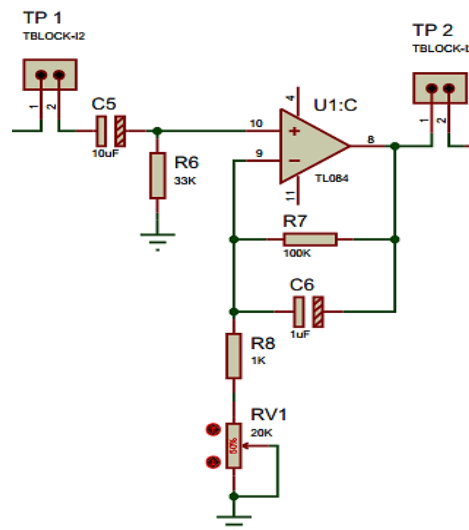


Gambar 4.12 Output Instrument Amplifier Lead III amplitudo 2mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 2,6 \times 0,2 \\
 &= 0,52 \text{ V}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Output Filter

4.1.2.1 Output Rangkaian High Pass Filter Pasif 20 dB 0,482 Hz



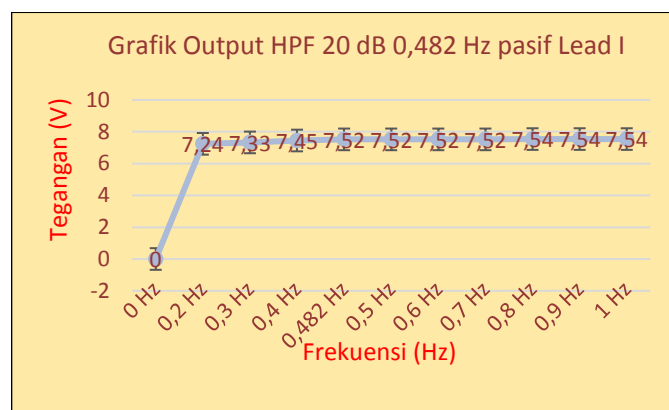
Gambar 4.13 Rangkaian High Pass Filter Pasif 20 dB 0,482 Hz

Langkah-langkah pengujian pada rangkaian *HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz* yaitu :

1. Atur *input* pada *High Pass Filter Pasif 20 dB 0,482 Hz* (TP1) melalui *function generator* dengan *amplitudo* 1V dan frekuensi *input* sebesar 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; dan 1 Hz.
2. Berikut Hasil pengukuran pada TP2 sebagai *output* dari *High Pass Filter Pasif 20 dB 0,482 Hz* :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran *output HPF pasif 20 dB 0,482 Hz Lead I*

Fin(Hz)/ 1Vpp	Vout (ukur)
0,2 Hz	7,24 V
0,3 Hz	7,33 V
0,4 Hz	7,45 V
0,482 Hz	7,52 V
0,5 Hz	7,52 V
0,6 Hz	7,52 V
0,7 Hz	7,52 V
0,8Hz	7,54 V
0,9 Hz	7,54 V
1 Hz	7,54 V

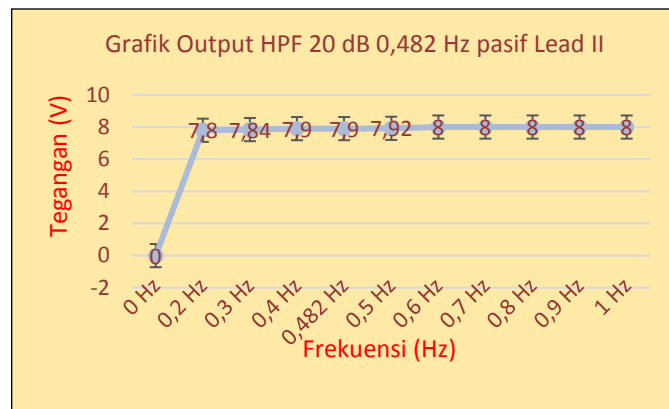


Gambar 4.14 Grafik *output* rangkaian *HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz Lead I*

Tabel 4.2 Hasil pengukuran *output HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz Lead II*

Fin(Hz)/1 Vpp	Vout(ukur)
0,2 Hz	7,80 V
0,3 Hz	7,84 V

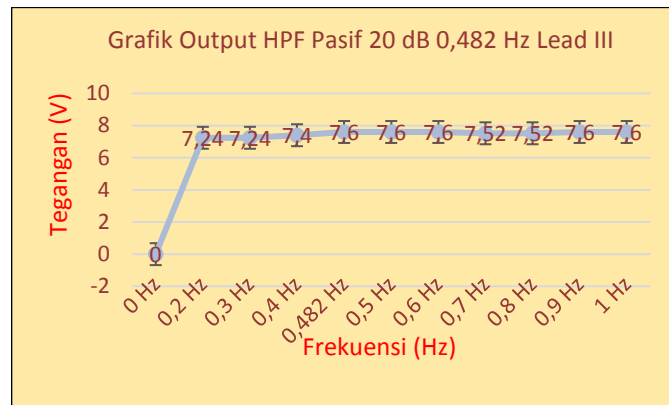
0,4 Hz	7,90 V
0,482 Hz	7,90 V
0,5 Hz	7,92 V
0,6 Hz	8 V
0,7 Hz	8 V
0,8 Hz	8 V
0,9 Hz	8 V
1Hz	8 V



Gambar 4.15 Grafik *output* rangkaian *HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz Lead II*

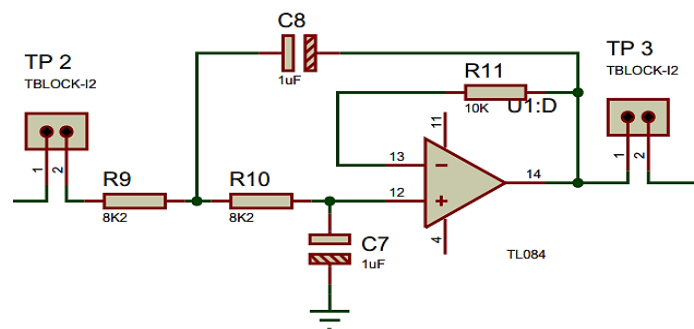
Tabel 4.3 Hasil pengukuran *output HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz Lead III*

Fin(Hz)/1 Vpp	Vout(ukur)
0,2 Hz	7,24 V
0,3 Hz	7,24 V
0,4 Hz	7,4 V
0,482 Hz	7,6 V
0,5 Hz	7,6 V
0,6 Hz	7,6 V
0,7 Hz	7,52 V
0,8 Hz	7,52 V
0,9 Hz	7,6 V
1 Hz	7,6 V



Gambar 4.16 Grafik *output* rangkaian *HPF Pasif 20 dB 0,482 Hz Lead III*

4.1.2.2 Output Rangkaian Low Pass Filter Aktif 40 dB 20 Hz



Gambar 4.17 Rangkaian *Low Pass Filter Aktif 40 dB 20 Hz*.

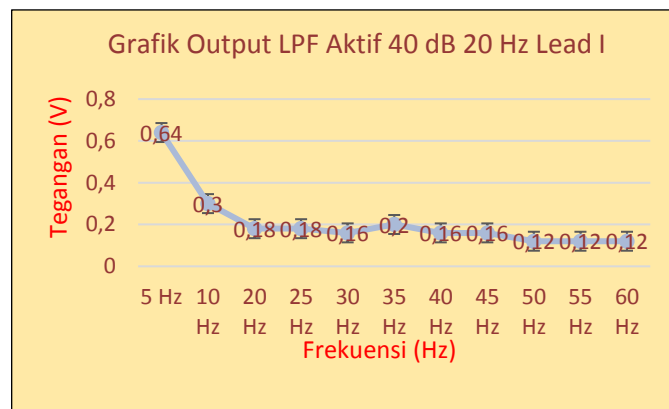
Langkah-langkah pengujian pada rangkaian *LPF Aktif 40 dB 20 Hz* yaitu :

1. Atur *input* pada *Low Pass Filter Aktif 40 dB 20 Hz* (TP2) melalui *function generator* dengan *amplitudo* 1 Vpp dan frekuensi 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 dan 60 Hz.
2. Berikut hasil pengukuran pada TP3 sebagai *output Low Pass Filter Aktif 40 dB 40 dB 20 Hz* :

Tabel 4.4 Hasil pengukuran *output LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead I*

Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
5 Hz	0,64 V
10 Hz	0,30 V
20 Hz	0,18 V

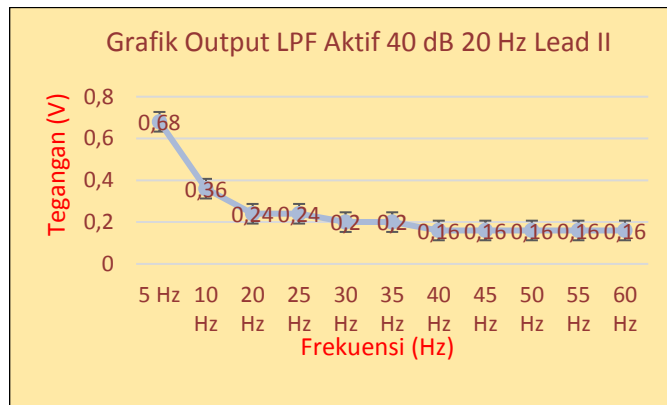
25 Hz	0,18 V
30 Hz	0,16 V
35 Hz	0,20 V
40 Hz	0,16 V
45 Hz	0,16 V
50 Hz	0,12 V
55 Hz	0,12 V
60 Hz	0,12 V



Gambar 4.18 Grafik *output* rangkaian LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead I

Tabel 4.5 Hasil pengukuran *output* LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead II

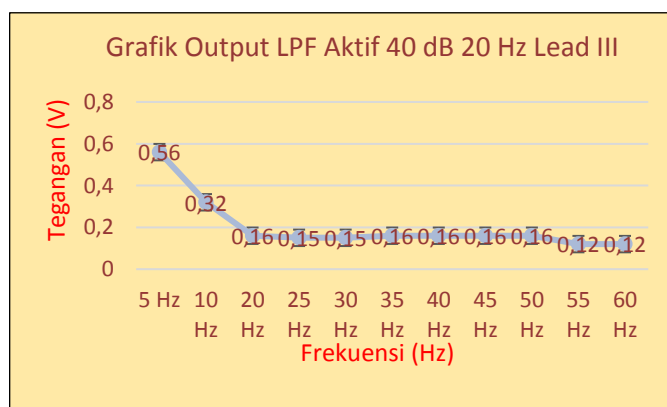
Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
5 Hz	0,68 V
10 Hz	0,36 V
20 Hz	0,24 V
25 Hz	0,24 V
30 Hz	0,20 V
35 Hz	0,20 V
40 Hz	0,16 V
45 Hz	0,16V
50 Hz	0,16 V
55 Hz	0,16 V
60 Hz	0,16 V



Gambar 4.19 Grafik *output* rangkaian LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead II

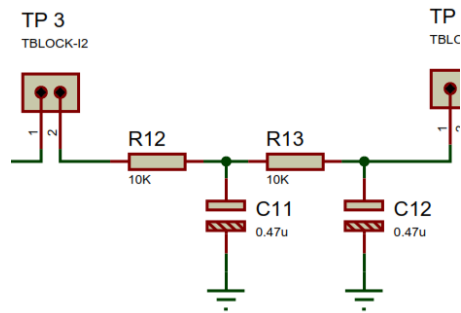
Tabel 4.6 Hasil pengukuran *output* LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead III

Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
5 Hz	0,56 V
10 Hz	0,32 V
20 Hz	0,16 V
25 Hz	0,15 V
30 Hz	0,15 V
35 Hz	0,16 V
40 Hz	0,16 V
45 Hz	0,16 V
50 Hz	0,16 V
55 Hz	0,12 V
60 Hz	0,12 V



Gambar 4.20 Grafik *output* rangkaian LPF Aktif 40 dB 20 Hz Lead III

4.1.2.3 Output Rangkaian Low Pass Filter Pasif 20 dB 33,86 Hz



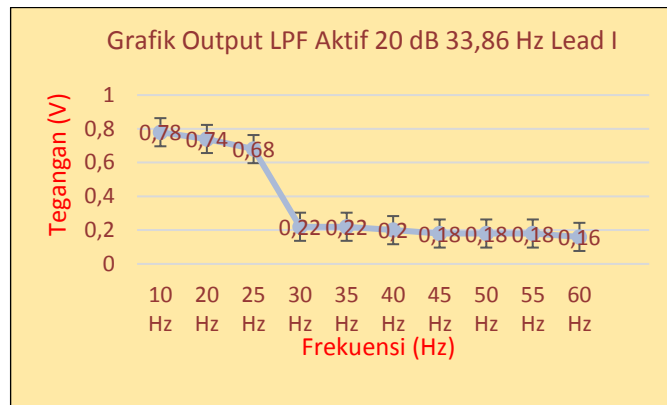
Gambar 4.21 Rangkaian Low Pass Filter Pasif 20 dB 33,86 Hz

Langkah-langkah pengujian pada rangkaian LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz yaitu :

1. Atur input pada Low Pass Filter Pasif 40 dB 33,86 Hz (TP3) melalui *function generator* dengan amplitudo 1 Vpp dan frekuensi 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, dan 70 Hz.
2. Berikut hasil pengukuran pada TP4 sebagai output Low Pass Filter Pasif 40 dB 33,86 Hz :

Tabel 4.7 Hasil pengukuran output LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead I

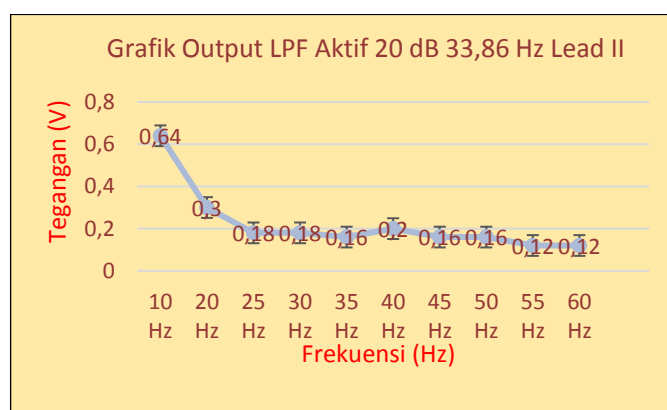
Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
10 Hz	0,78 V
20 Hz	0,74 V
25 Hz	0,68 V
30 Hz	0,22 V
35 Hz	0,22 V
40 Hz	0,20 V
45 Hz	0,18 V
50 Hz	0,18 V
55 Hz	0,18 V
60 Hz	0,16 V



Gambar 4.22 Grafik *output* rangkaian LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead I

Tabel 4.8 Hasil pengukuran *output* LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead I

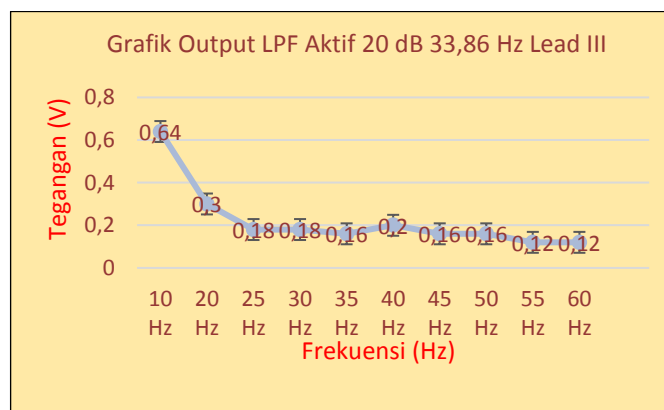
Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
10 Hz	0,64 V
20 Hz	0,30 V
25 Hz	0,18 V
30 Hz	0,18 V
35 Hz	0,16 V
40 Hz	0,20 V
45 Hz	0,16 V
50 Hz	0,16 V
55 Hz	0,12 V
60 Hz	0,12 V



Gambar 4.23 Grafik *Output* Rangkaian LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead II

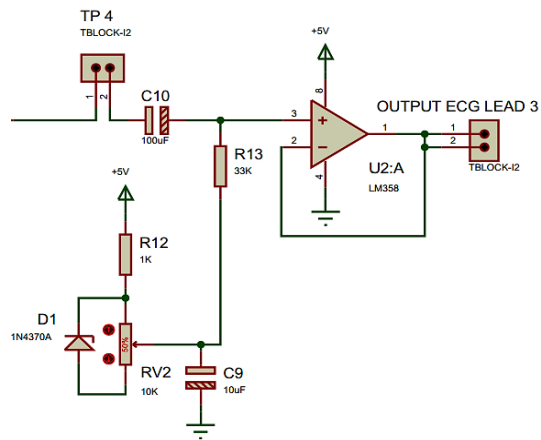
Tabel 4.9 Hasil pengukuran *output LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead III*

Fin(Hz)/1 Vpp	Vout (Volt)
10 Hz	0,64 V
20 Hz	0,30 V
25 Hz	0,18 V
30 Hz	0,18 V
35 Hz	0,16 V
40 Hz	0,20 V
45 Hz	0,16 V
50 Hz	0,16 V
55 Hz	0,12 V
60 Hz	0,12 V

**Gambar 4.24** Grafik *Output Rangkaian LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz Lead II*

Rangkaian filter pasif dan aktif pada masing-masing sadapan Lead I, Lead II, dan Lead III memiliki nilai komponen yang sama sehingga dalam pembahasan rangkaian filter penulis mencantumkan gambar rangkaian filter yang berlaku pada masing-masing rangkaian sadapan ECG.

4.1.3 Output Adder/Clamper Pasif dan Buffer



Gambar 4.25 Rangkaian *Clamper/Adder Pasif dan Buffer*

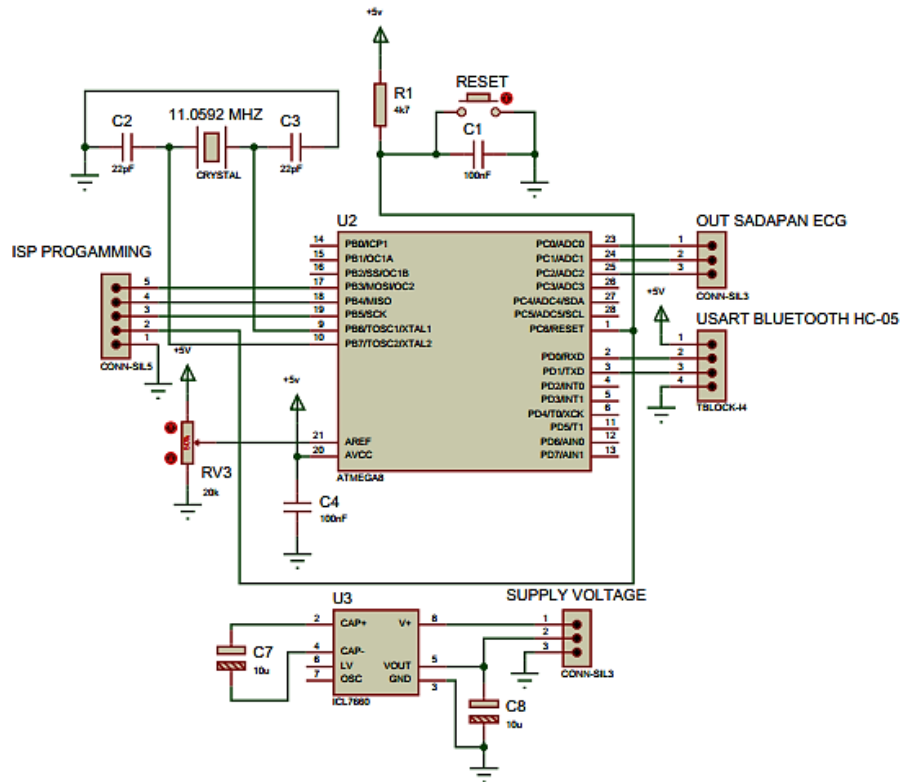
Langkah-langkah pengecekan yaitu :

- Atur *amplitudo* Sebesar 0,5; 1; 1,5; 2 V_{pp} menggunakan *function generator* pada *output LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz* (TP3).
- Berikut hasil *output* rangkaian *Clamper/Adder Pasif dan Buffer* :

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran *output* rangkaian *Clamper/Adder Pasif dan Buffer*

<i>V_{in}</i> (V _{pp})	<i>V_{out}</i> (Volt)	<i>Offset IN</i>	<i>Offset OUT</i>
0,5 V _{pp}	0,6 V	0 V	2,2 V
1 V _{pp}	1 V	0 V	2,2 V
1,5 V _{pp}	1,5 V	0 V	2,2 V
2 V _{pp}	2 V	0 V	2,2 V

4.1.4 Input ADC Microcontroller ATmega 328P



Gambar 4.26 Rangkaian *Input ADC Lead I, Lead II, dan Lead III*

Langkah-langkah pengecekan yaitu :

- a. Atur *amplitudo* Sebesar 0,5; 1; 1,5; 2 V_{pp} menggunakan *function generator* pada *output* sadapan *LPF Pasif 20 dB 33,86 Hz*. *Input ADC* diukur melalui *output* rangkaian *clammer/adder pasif* dan *buffer* menuju ke *input pin ADC IC ATmega 328P*.
- b. Berikut hasil pengukuran rangkaian *input ADC* :

Tabel 4.11 Hasil pengukuran rangkaian *input ADC*

<i>V_{in} (V_{pp})</i>	<i>V_{out} (Volt)</i>	<i>offset IN</i>	<i>offset OUT</i>
0,5 V _{pp}	0,6 V	0 V	2,2 V
1 V _{pp}	1 V	0 V	2,2 V
1,5 V _{pp}	1,5 V	0 V	2,2 V
2 V _{pp}	2 V	0 V	2,2 V

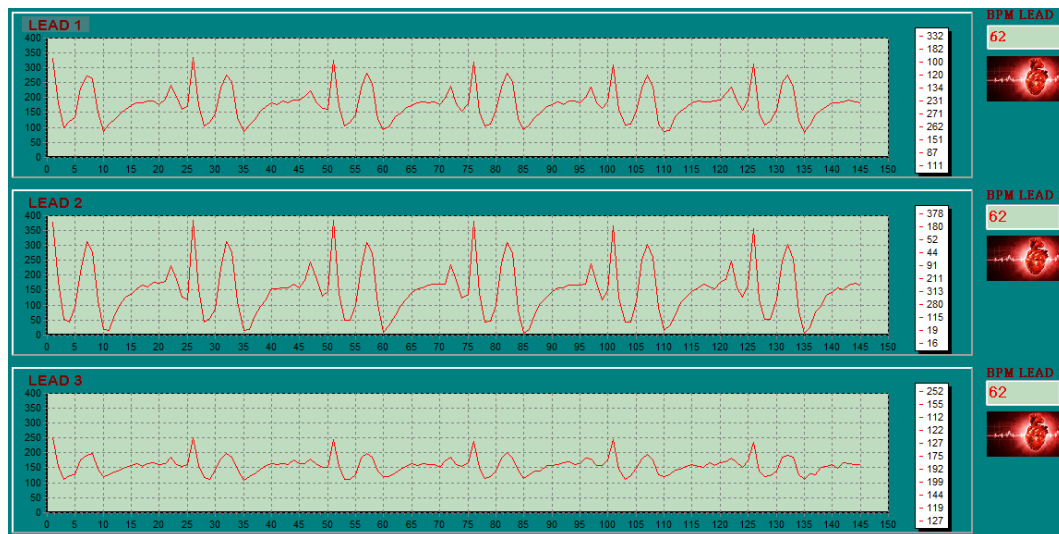
4.2 Hasil Pengujian dan Pengukuran terhadap Kalibrator (Nilai BPM)

4.2.1 Hasil Pengujian Sinyal Modul EKG (Nilai BPM)

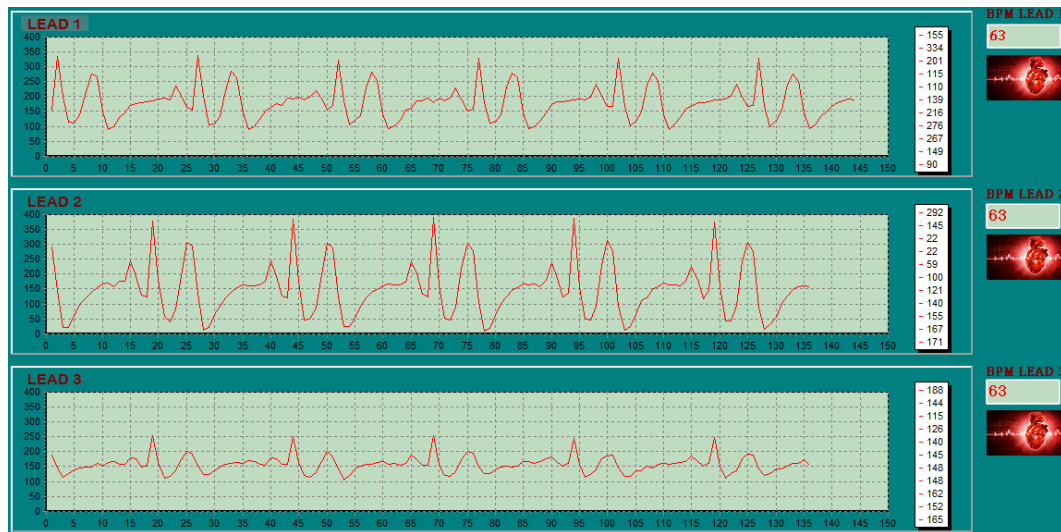
Langkah – langkah pengujian yaitu :

- Menghubungkan alat dengan kalibrator *Phantom ECG*. Lead I (*Right Arm, Left Arm, dan Right Leg*) ; Lead II (*Right Arm, Left Leg, dan Right Leg*) dan Lead III (*Left Arm, Left Leg, dan Right Leg*).
- Mengatur *amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*.
- Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 kali.

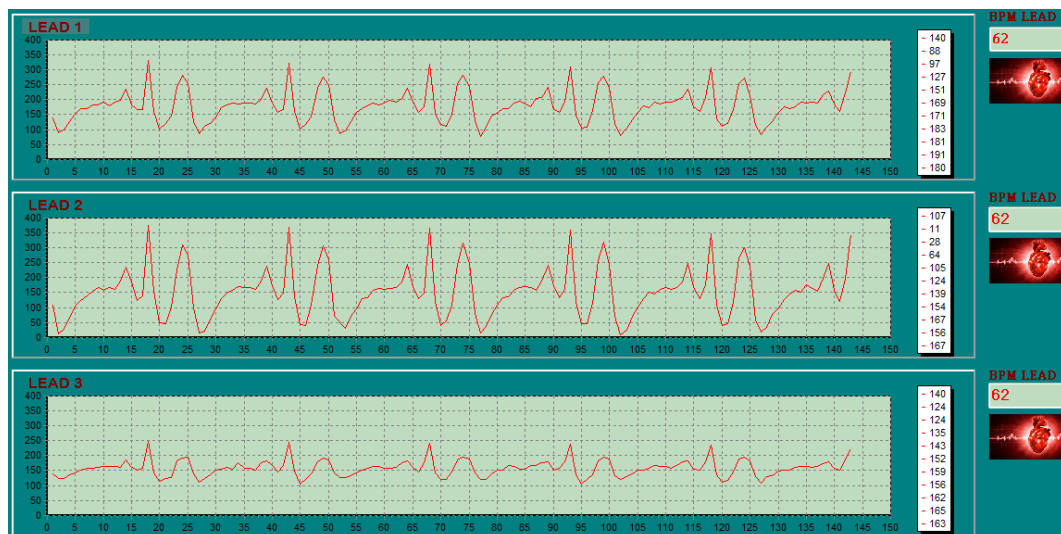
Berikut tampilan sinyal EKG pada modul :



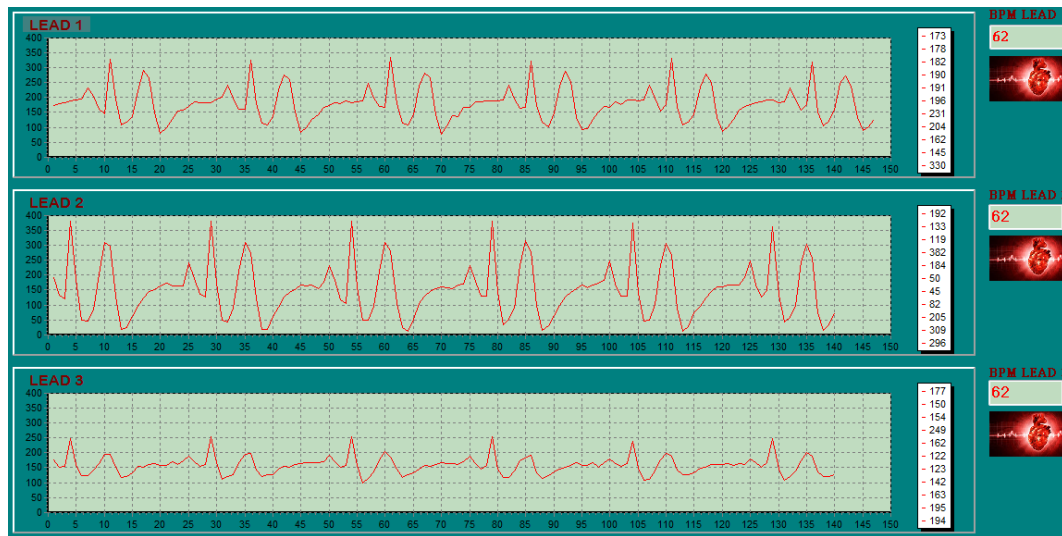
Gambar 4.27 Tampilan pengambilan data 1 BPM 60



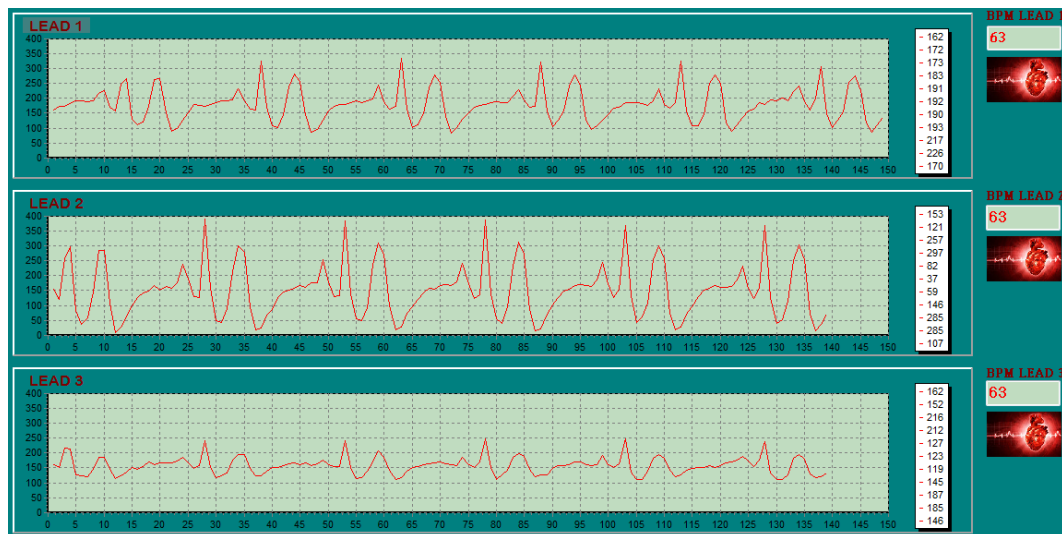
Gambar 4.28 Tampilan pengambilan data 2 BPM 60



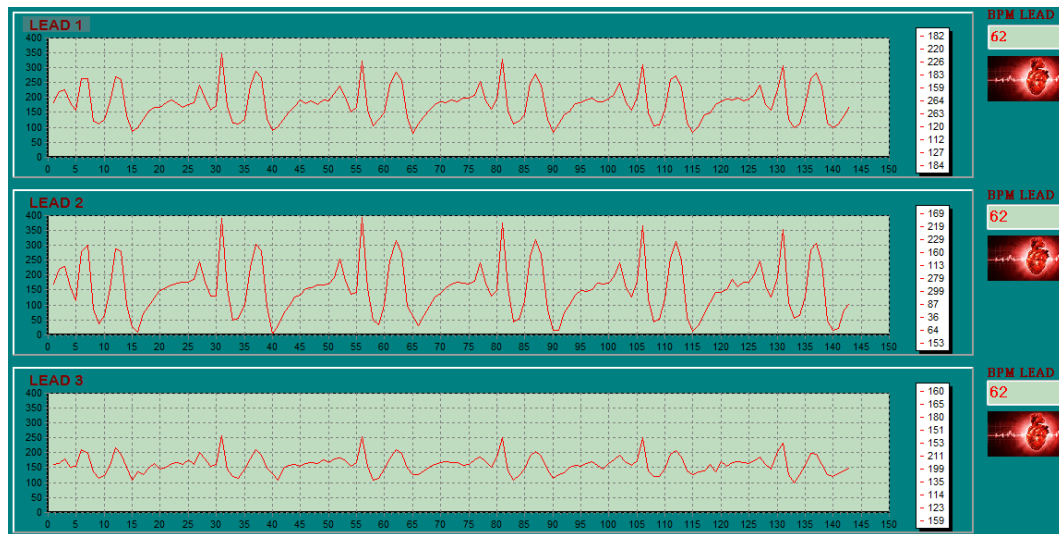
Gambar 4.29 Tampilan pengambilan data 3 BPM 60



Gambar 4.30 Tampilan pengambilan data 4 BPM 60



Gambar 4.31 Tampilan pengambilan data 5 BPM 60



Gambar 4.32 Tampilan pengambilan data 6 BPM 60

4.2.2 Analisis Perbandingan Data BPM Terhadap Kalibrator Phantom

Tabel 4.12 Hasil Pengukuran BPM menggunakan Phantom

Setting BPM	Lead	Pembacaan Alat						Mean	Error (%)	Kesalahan Maksimal yang diijinkan
		1	2	3	4	5	6			
60	Lead 1	62	63	62	62	63	62	62,33	3,89	±5%
	Lead 2	62	63	62	62	63	62	62,33	3,89	
	Lead 3	62	63	62	62	63	62	62,33	3,89	

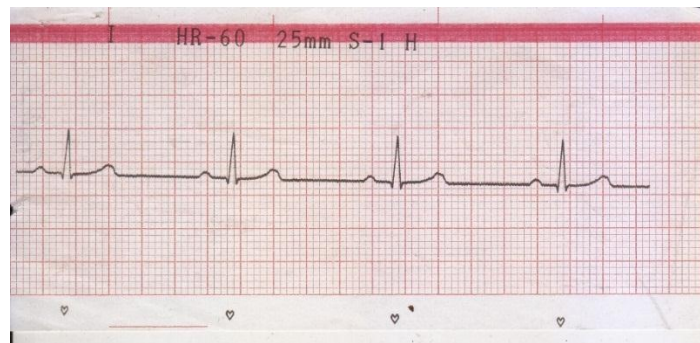
Tabel 4.12 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai BPM Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead I*, *Lead II*, dan *Lead III* dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan sebanyak 6 kali percobaan dalam setiap *Lead*. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran pada *Lead I*, *Lead II*, dan *Lead III* mempunyai nilai BPM yang sama pada setiap percobannya, sehingga didapatkan nilai rata-rata pengukuran BPM yang sama,

dengan nilai rata-rata 62,33 dan nilai *error* 3,89 %. Artinya secara pengukuran BPM pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 5\%$.

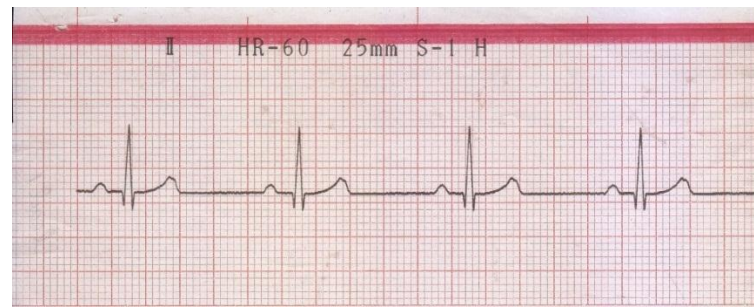
4.3 Hasil Pengukuran Kalibrator (Kertas EKG)

Langkah – langkah pengujian yaitu :

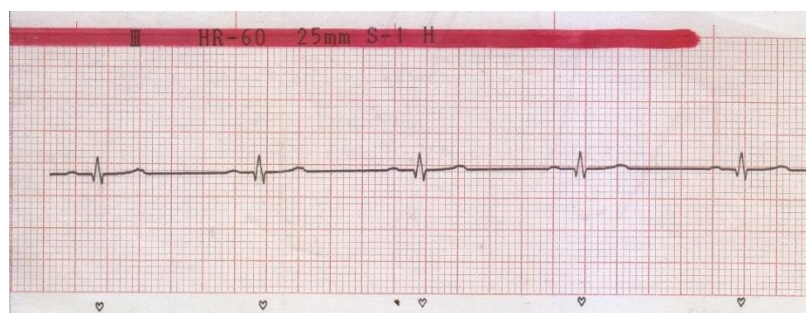
1. Menghubungkan alat dengan kalibrator *Phantom ECG*. *Lead I* (*Right Arm*, *Left Arm*, dan *Right Leg*) ; *Lead II* (*Right Arm*, *Left Leg*, dan *Right Leg*) dan *Lead III* (*Left Arm*, *Left Leg*, dan *Right Leg*).
2. Mengatur *amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*.
3. Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 kali.
4. Cek hasilnya (tinggi *amplitudo* tiap-tiap sinyal).
5. Cek hasilnya (bentuk dan lebar antar sinyal).



Gambar 4.33 Hasil Rekam Lead I Kalibrator Pesawat EKG Asli



Gambar 4.34 Hasil Rekam Lead II Kalibrator Pesawat EKG Asli



Gambar 4.35 Hasil Rekam Lead III Kalibrator Pesawat EKG Asli

Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Tinggi Pulsa R Sinyal EKG pada Kalibrator Kertas

EKG

Tinggi Pulsa R (EKG Asli) skala mm							
No.	Nama	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Sinyal 5	Mean
1.	Lead 1	8,04	7,88	8,08	8,04	8,04	8,02
2.	Lead 2	12,64	12,48	12,70	12,36	12,36	12,51
3.	Lead 3	4,60	4,92	4,92	4,50	4,50	4,69

Tabel 4.14 Hasil Pengukuran Lebar Pulsa R Sinyal EKG pada Kalibrator Kertas

EKG

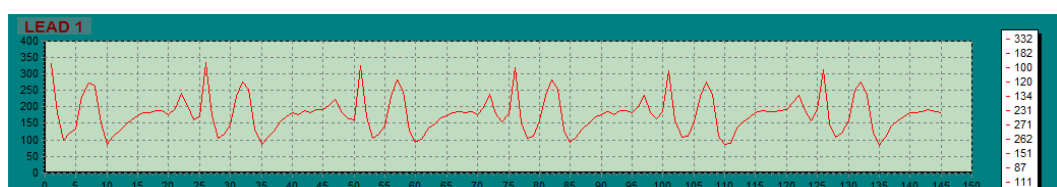
Lebar Pulsa R (EKG Asli) skala mm						
No.	Nama	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Mean
1.	Lead 1	25,50	25,55	25,53	25,53	25,52
2.	Lead 2	25,10	25,20	25,52	25,52	25,34
3.	Lead 3	25,50	25,20	25,54	25,54	25,44

4.3.1 Analisis Perbandingan data berdasarkan bentuk sinyal EKG

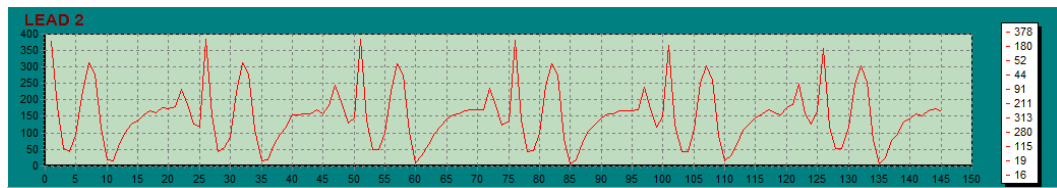
Langkah-langkah perhitungan yaitu :

1. Pengambilan data pada modul EKG Tugas Akhir ini dilakukan sebanyak 6 kali pada setiap leadnya.
2. Perbandingan data dilakukan dengan membandingkan bentuk sinyal EKG pada kertas EKG pesawat unit EKG asli dengan bentuk sinyal EKG pada modul EKG Tugas Akhir.
3. Perhitungan perbandingan data bertitik fokus pada nilai tinggi pulsa R dan nilai lebar pulsa R – R sebanyak 5 kali untuk tinggi pulsa R dan 4 kali untuk lebar pulsa R pada setiap data yang diambil.
4. Kertas EKG modul menyesuaikan skala dari kertas EKG pesawat EKG asli, oleh karena itu didapatkan skala kertas EKG modul EKG Tugas Akhir print 18 cm x 2 cm.
5. Pengukuran nilai tinggi pulsa R dan nilai lebar pulsa R – R menggunakan *calipper*/jangka sorong dengan satuan millimeter (mm).

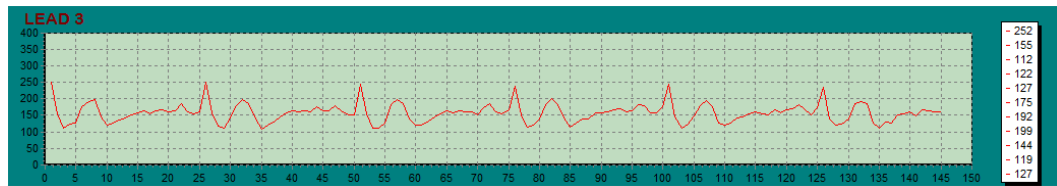
4.3.2 Hasil Pengujian Sinyal pada Modul EKG Tugas Akhir



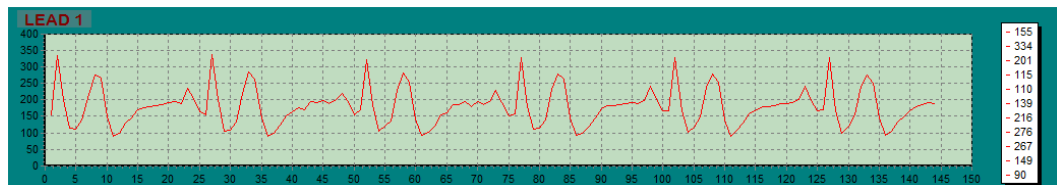
Gambar 4.36 Tampilan data 1 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



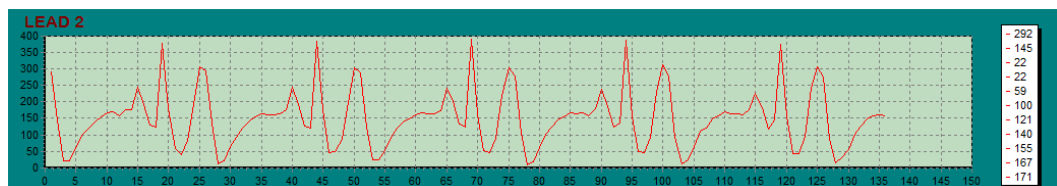
Gambar 4.37 Tampilan data 1 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



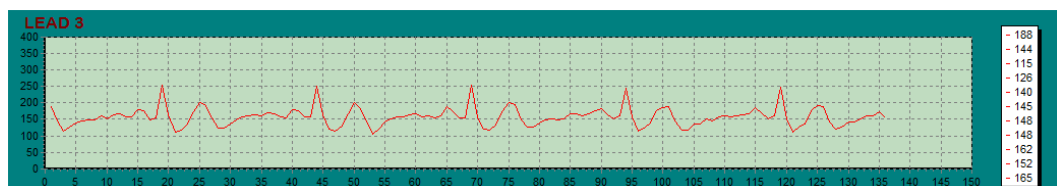
Gambar 4.38 Tampilan data 1 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul



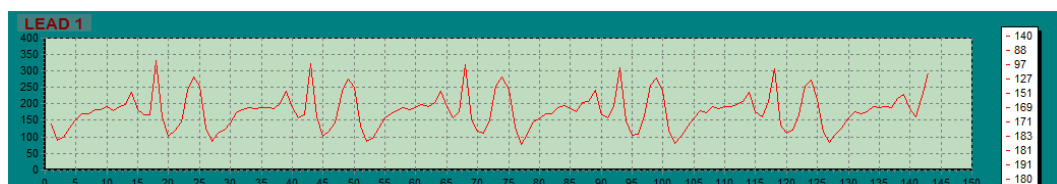
Gambar 4.39 Tampilan data 2 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



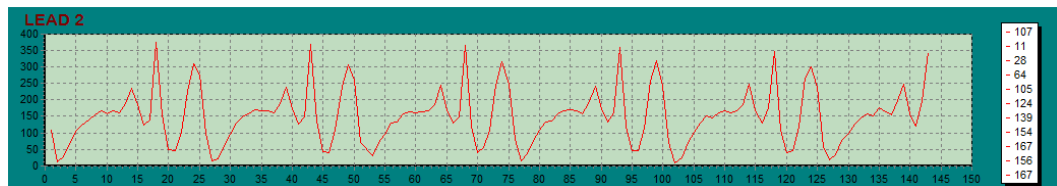
Gambar 4.40 Tampilan data 2 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



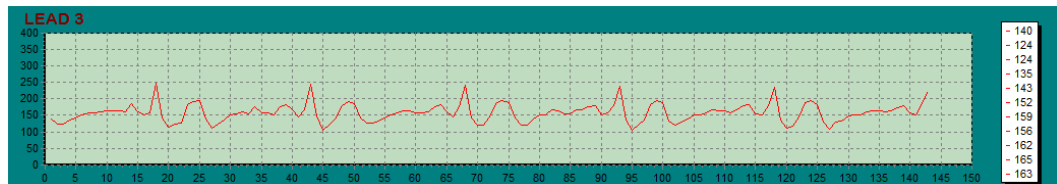
Gambar 4.41 Tampilan data 2 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul



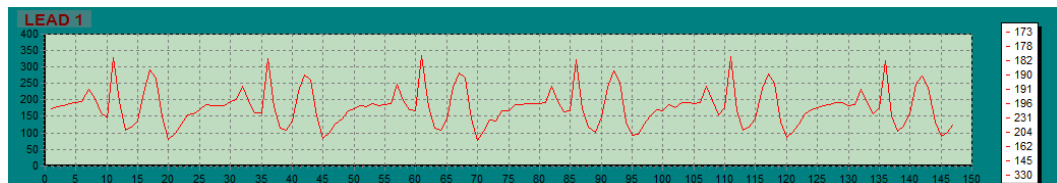
Gambar 4.42 Tampilan data 3 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



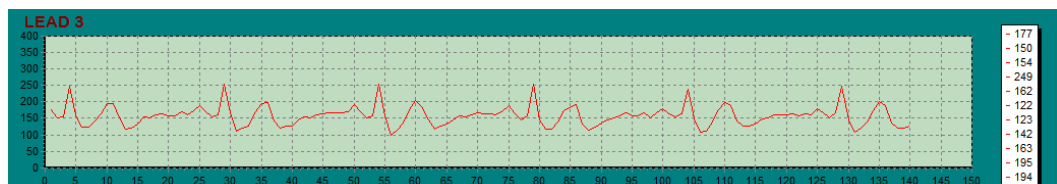
Gambar 4.43 Tampilan data 3 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



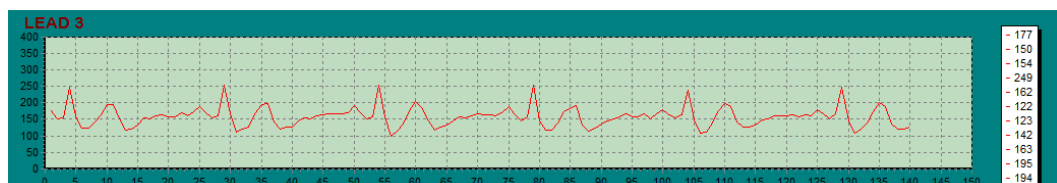
Gambar 4.44 Tampilan data 3 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul



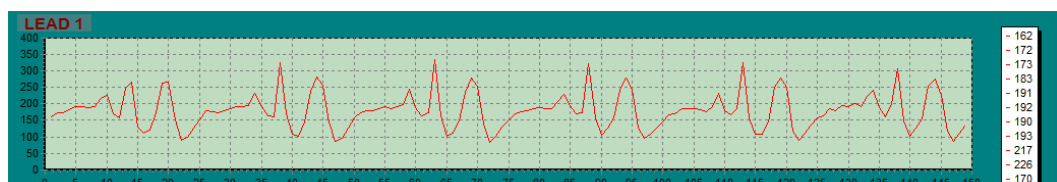
Gambar 4.45 Tampilan data 4 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



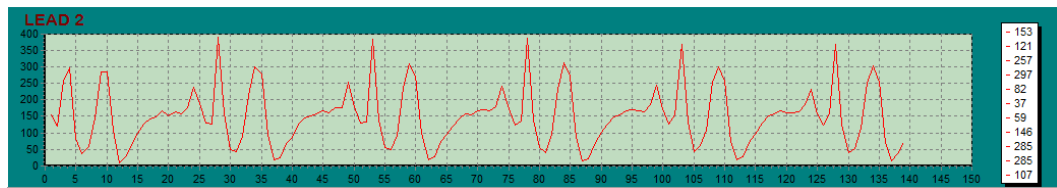
Gambar 4.46 Tampilan data 4 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



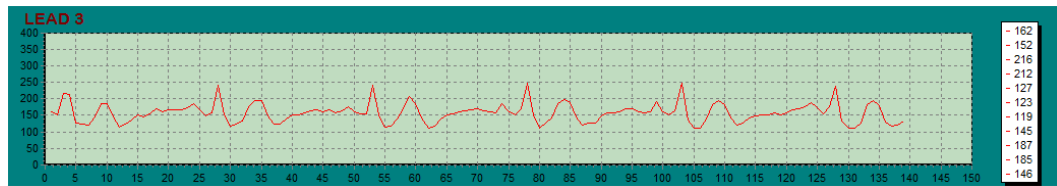
Gambar 4.47 Tampilan data 4 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul



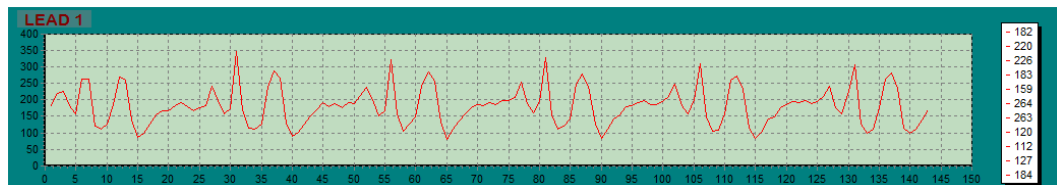
Gambar 4.48 Tampilan data 5 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



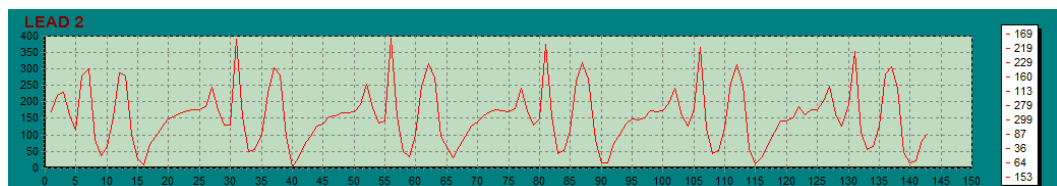
Gambar 4.49 Tampilan data 5 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



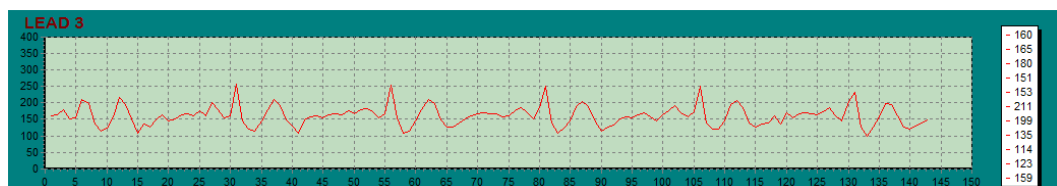
Gambar 4.50 Tampilan data 5 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul



Gambar 4.51 Tampilan data 6 Sinyal EKG Lead I pada EKG Modul



Gambar 4.52 Tampilan data 6 Sinyal EKG Lead II pada EKG Modul



Gambar 4.53 Tampilan data 6 Sinyal EKG Lead III pada EKG Modul

Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Tinggi Pulsa R Sinyal EKG Lead I pada Modul EKG Tugas Akhir

Tinggi Pulsa R (EKG Modul) Lead 1 (satuan mm)									
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Sinyal 5	Mean	Error (%)
1.	Data 1	8,02	8,14	8,16	8,16	8,20	8,20	8,17	-1,95
2.	Data 2	8,02	8,10	8,12	8,24	8,18	8,18	8,16	-1,85
3.	Data 3	8,02	8,08	7,98	8,04	8,22	8,22	8,11	-1,15
4.	Data 4	8,02	8,42	8,30	7,98	8,02	8,02	8,15	-1,65
5.	Data 5	8,02	8,22	8,34	8,26	7,96	7,96	8,15	-1,65
6.	Data 6	8,02	8,18	8,20	8,22	7,77	7,88	8,05	-0,42
Error Final									-1,44

Tabel 4.15 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai Tinggi pulsa R EKG Modul khususnya di *Lead I*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran tinggi pulsa R pada Lead I yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar -1,44 % terhadap kalibrator Tinggi pulsa R Sinyal EKG Lead I kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 8,02. Nilai *error minus* dikarenakan nilai yang dihasilkan modul EKG lebih besar dibandingkan dengan nilai kalibrator pesawat EKG asli. Artinya secara pengukuran tinggi pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 4.16 Hasil Pengukuran Lebar Pulsa R Sinyal EKG Lead I pada Modul EKG

Tugas Akhir

Lebar Pulsa R (EKG Modul) Lead 1 (satuan mm)								
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Mean	Error (%)
1.	Data 1	25,53	25,30	25,28	25,68	25,68	25,49	0,17
2.	Data 2	25,53	25,30	25,60	25,20	25,02	25,28	0,97
3.	Data 3	25,53	25,18	24,92	25,54	25,54	25,30	0,91
4.	Data 4	25,53	25,34	25,52	25,48	25,48	25,46	0,28
5.	Data 5	25,53	25,36	25,12	25,42	25,42	25,33	0,77
6.	Data 6	25,53	25,78	25,02	25,50	25,50	25,45	0,30
Error Final								0,57

Tabel 4.16 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai Lebar pulsa R Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead I*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran lebar pulsa R pada Lead I yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar 0,57 % terhadap kalibrator Lebar pulsa R Sinyal EKG Lead I kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 25,53. Artinya secara pengukuran lebar pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas ambang normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Tinggi Pulsa R Sinyal EKG Lead II pada Modul EKG Tugas Akhir

Tinggi Pulsa R (EKG Modul) Lead 2 (satuan mm)									
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Sinyal 5	Mean	Error (%)
1.	Data 1	12,51	12,18	12,26	12,28	12,22	12,22	12,23	2,21
2.	Data 2	12,51	12,58	12,62	12,68	11,98	11,98	12,37	1,12
3.	Data 3	12,51	12,64	12,52	11,98	12,08	12,08	12,26	1,98
4.	Data 4	12,51	12,02	12,06	12,08	12,16	12,16	12,10	3,29
5.	Data 5	12,51	12,04	12,08	12,02	11,98	11,98	12,02	3,90
6.	Data 6	12,51	12,38	12,34	12,24	11,96	11,96	12,18	2,65
Error Final									2,53

Tabel 4.17 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai Tinggi pulsa R Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead II*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran tinggi pulsa R pada Lead II yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar 2,53 % terhadap kalibrator lebar pulsa R Sinyal EKG Lead II kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 12,51. Artinya secara pengukuran lebar pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas ambang normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 4.18 Hasil Pengukuran Lebar Pulsa R Sinyal EKG Lead II pada Modul EKG Tugas Akhir

Lebar Pulsa R (EKG Modul) Lead 2 (satuan mm)								
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Mean	<i>Error (%)</i>
1.	Data 1	25,34	25,50	25,18	25,48	25,48	25,41	-0,30
2.	Data 2	25,34	25,32	25,18	25,66	25,66	25,46	-0,47
3.	Data 3	25,34	25,14	25,52	24,98	24,98	25,16	0,71
4.	Data 4	25,34	24,98	25,54	25,28	25,28	25,27	0,26
5.	Data 5	25,34	25,38	25,46	25,46	25,46	25,44	-0,41
6.	Data 6	25,34	25,62	25,86	25,50	25,50	25,62	-1,12
Error Final (Mean Final - Kalibrator)								-0,22

Tabel 4.18 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai Lebar pulsa R Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead II*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran lebar pulsa R pada Lead II yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar -0,22 % terhadap kalibrator Lebar pulsa R Sinyal EKG Lead II kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 25,34. Nilai *error minus* dikarenakan nilai yang dihasilkan modul EKG lebih besar dibandingkan dengan nilai kalibrator pesawat EKG asli. Artinya secara pengukuran lebar pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas ambang normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 4.19 Hasil Pengukuran Tinggi Pulsa R Sinyal EKG Lead III pada Modul EKG Tugas Akhir

Tinggi Pulsa R (EKG Modul) Lead 3 (satuan mm)									
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Sinyal 5	Mean	Error (%)
1.	Data 1	4,69	4,80	4,78	4,78	4,42	4,42	4,64	1,02
2.	Data 2	4,69	4,76	4,92	4,92	4,98	4,98	4,91	-4,78
3.	Data 3	4,69	4,62	4,86	4,96	4,96	4,96	4,87	-3,92
4.	Data 4	4,69	4,80	4,74	4,68	4,62	4,62	4,69	-0,09
5.	Data 5	4,69	4,62	4,78	4,72	4,32	4,32	4,55	2,90
6.	Data 6	4,69	4,58	4,96	4,78	4,72	4,72	4,75	-1,37
Error Final									-1,04

Tabel 4.19 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai tinggi pulsa R Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead III*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran lebar pulsa R pada Lead III yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar -1,04 % terhadap kalibrator Lebar pulsa R Sinyal EKG Lead III kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 4,69. Nilai *error minus* dikarenakan nilai yang dihasilkan modul EKG lebih besar dibandingkan dengan nilai kalibrator pesawat EKG asli. Artinya secara pengukuran lebar pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas ambang normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Tabel 4.20 Hasil Pengukuran Lebar Pulsa R Sinyal EKG Lead III pada Modul EKG Tugas Akhir

Lebar Pulsa R (EKG Modul) Lead 3 (satuan mm)								
No.	Nama	Kalibrator	Sinyal 1	Sinyal 2	Sinyal 3	Sinyal 4	Mean	<i>Error (%)</i>
1.	Data 1	25,45	25,46	25,10	25,02	25,02	25,15	1,16
2.	Data 2	25,45	25,68	25,98	25,32	25,32	25,58	-0,51
3.	Data 3	25,45	25,94	25,12	25,32	25,32	25,43	0,08
4.	Data 4	25,45	25,24	25,64	25,30	25,30	25,37	0,29
5.	Data 5	25,45	25,00	25,10	25,12	25,12	25,09	1,41
6.	Data 6	25,45	25,38	25,32	25,52	25,28	25,38	0,28
Error Final								0,45

Tabel 4.20 merupakan tabel hasil pengukuran pada nilai Lebar pulsa R Modul EKG Tugas Akhir khususnya di *Lead III*, dengan setting *Amplitudo* 1 mV dan BPM 60 pada *Phantom ECG*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 6 *variable* dan pada setiap *varibale* didapatkan 5 data percobaan dalam setiap Lead. Tabel di atas menunjukkan bahwa, nilai pengukuran lebar pulsa R pada Lead III yang sudah dibandingkan dengan kalibrator didapatkan nilai *error* final sebesar 0,45 % terhadap kalibrator Lebar pulsa R Sinyal EKG Lead I kertas EKG yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 25,45. Artinya secara pengukuran lebar pulsa R pada modul EKG Tugas Akhir ini masih dalam batas ambang normal, karena kesalahan maksimal yang diizinkan adalah sebesar $\pm 3\%$.

Seperti yang dikatakan oleh Kuart Supriyadi, B.E., S.E., S.T., M.M. Beliau mengatakan bahwa dalam penelitian ini penulis menggunakan komponen yang ada pada pasaran yang dimana komponen di pasaran meskipun dalam hitungan

filter dan nilai komponen yang sesuai kebutuhan akan tetapi masih memiliki nilai toleransi error yang cukup tinggi.

Dari hasil analisa perbandingan data antara data sinyal EKG asli dengan sinyal EKG modul berdasarkan perhitungan dan perbandingan tinggi pulsa R dan lebar pulsa R masih terdapat nilai *error* yang cukup besar yang disebabkan nilai toleransi komponen yang digunakan juga besar sehingga nilai *cut-off filter* juga mengalami pergeseran yang menyebabkan proses penapisan/pemfilteran kurang akurat. Selain itu nilai *voltage* pada komponen *capasitor filter* yang belum tepat membuat *delay* waktu yang menyebabkan timbulnya gelombang “U” pada sinyal EKG modul dan tingginya pulsa T pada setiap Lead. Dalam proses pembuatan modul ini penulis hanya mampu membuat segala kebutuhan modul secara hand made terutama dalam penyolderan yang cukup berpengaruh dalam performa komponen ketika modul bekerja.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Rangkaian Instrument Amplifier

Spesifikasi dari rangkaian *instrument amplifier* yang diperlukan adalah :

1. Menggunakan IC TL084 sebagai *basic instrument*.
2. Membutuhkan tegangan *input IC* sebesar +5VDC, -5VDC dan GND.
3. *Frekuensi cut off* pada *high pass filter pasif* :

$$\begin{aligned} \mathbf{F_c} &= \frac{1}{2\pi RC} \\ &= \frac{1}{2.3,14.10M.0,1\mu F} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2,3,14 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{6,28} = 0,15 \text{ Hz}$$

4. *Frekuensi cut off pada difference amplifier :*

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$= \frac{1}{2,3,14 \cdot 10M + 10M \cdot 470pF}$$

$$= \frac{1}{2,3,14 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 470 \cdot 10^{-12}}$$

$$= \frac{10}{59032} = 16,939 \text{ Hz}$$

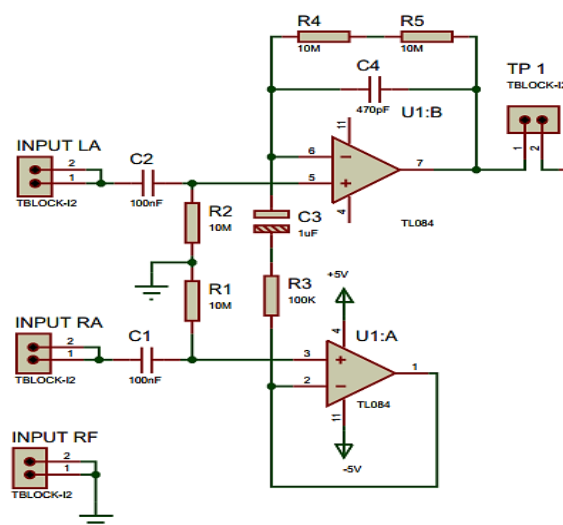
5. Penguatan pada *instrument amplifier :*

$$\text{Gain} = \frac{R_F}{R_S}$$

$$= \frac{20M\Omega}{63,7K\Omega}$$

$$= \frac{20000K\Omega}{63,7K\Omega} = 313,9 \times$$

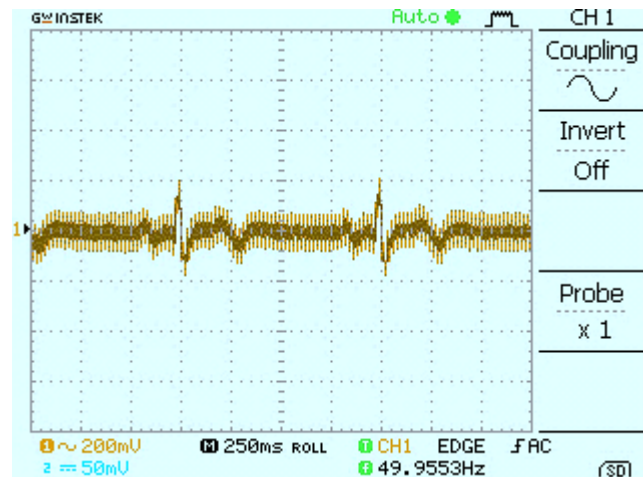
6. TP 1 Untuk cek *output* rangkaian :



Gambar 4.54 Rangkaian *Instrument Amplifier Lead I*

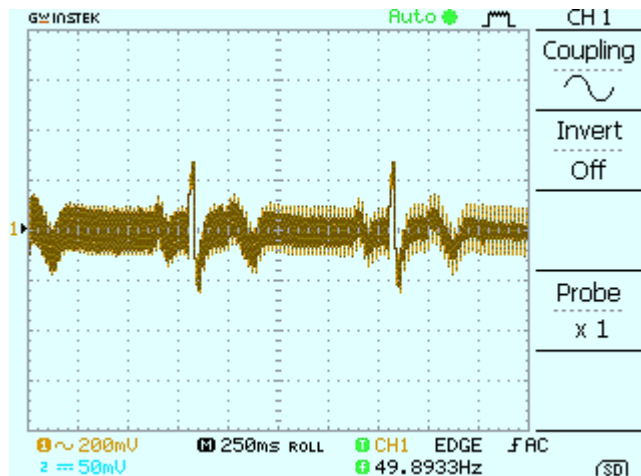
Langkah – langkah pengaturan/pengujian yaitu :

1. Atur *amplitudo phantom ECG* sebesar 1mV pada *rangkaian instrument amplifier* terdapat penguatan sebesar 313,9 ×.
2. Cek *output* pada TP1 pada *rangkaian instrument amplifier* menggunakan *oscilloscope*.
3. Berikut hasil output pada *oscilloscope* :



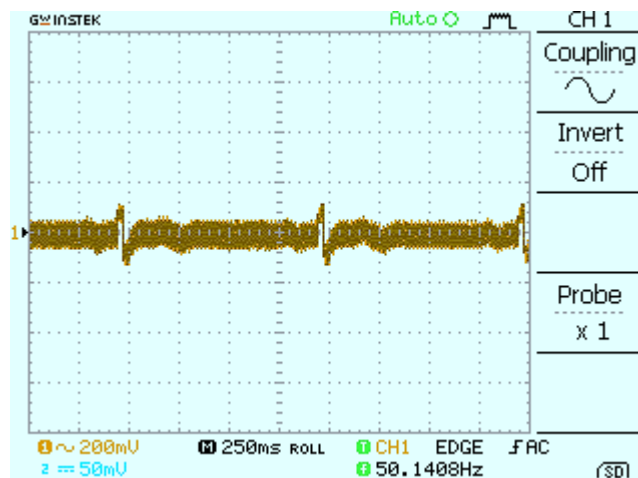
Gambar 4.55 Output Instrument Amplifier Lead I amplitudo 1 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 1,9 \times 0,2 \\
 &= 0,38 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.56 Output Instrument Amplifier Lead II Amplitudo 1 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 2,6 \times 0,2 \\
 &= 0,52 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.57 Output Instrument Amplifier Lead III amplitudo 1 mV

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 1,4 \times 0,2 \\
 &= 0,28 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Filter HPF berfungsi untuk melewatkan frekuensi sinyal tubuh dibawah frekuensi *cut off* yang telah ditentukan, sedangkan *filter LPF* pada *feed back amplifier difference* yang berfungsi untuk mendapatkan sinyal EKG murni dan

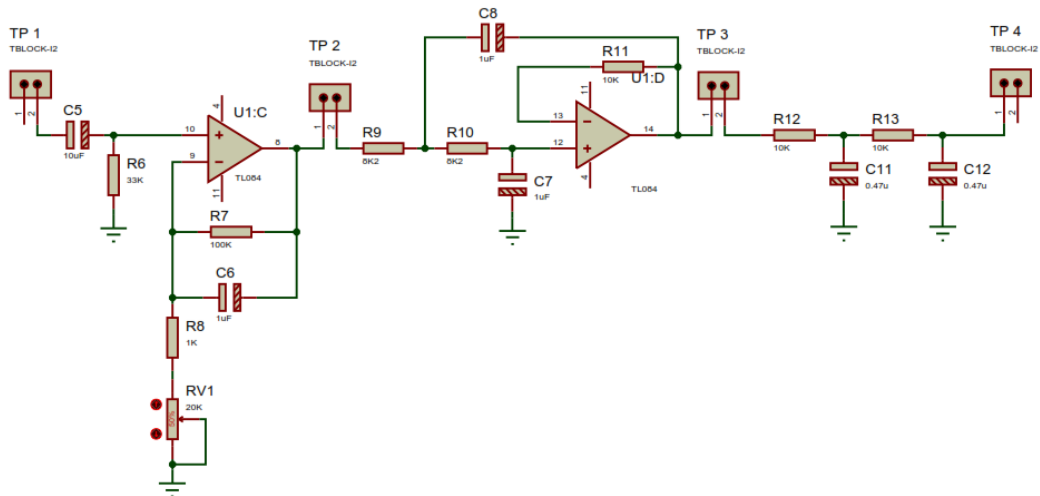
memisahkan frekuensi sinyal tubuh lainnya, contoh adalah sinyal EMG. Output *instrument amplifier* yang sudah dimodifikasi ini masih menunjukkan noise sinyal tubuh yang masih terlewatkan. Rangkaian ini digunakan untuk masing-masing *Lead I*, *Lead II*, dan *Lead III* sendiri-sendiri. Kemudian dalam modul EKG ini menggunakan tiga rangkaian sadapan EKG. Dimana rangkaian sadapan EKG ini terdiri dari rangkaian *instrument amplifier*, *filter*, *adder*, dan *buffer*.

4.5.2 Rangkaian Filter

Spesifikasi dari rangkaian filter yang diperlukan adalah :

1. Rangkaian filter terdiri dari *Filter Aktif* (menggunakan IC TL084) dan *Filter pasif*.
2. Membutuhkan tegangan +5VDC, -5VDC dan GND.
3. Rangkaian filter terdiri dari *High Pass Filter pasif*, *Low Pass Filter aktif*, dan *Low Pass Filter pasif*.
4. TP2 digunakan untuk mengecek *output High Pass Filter 0,5 Hz*.
5. TP3 digunakan untuk mengecek *output Low Pass Filter aktif 20 Hz*.
6. TP4 digunakan untuk mengecek *output Low Pass Filter pasif 33,86 Hz*.

Kemudian, didapatkan rangkaian seperti gambar di bawah ini :

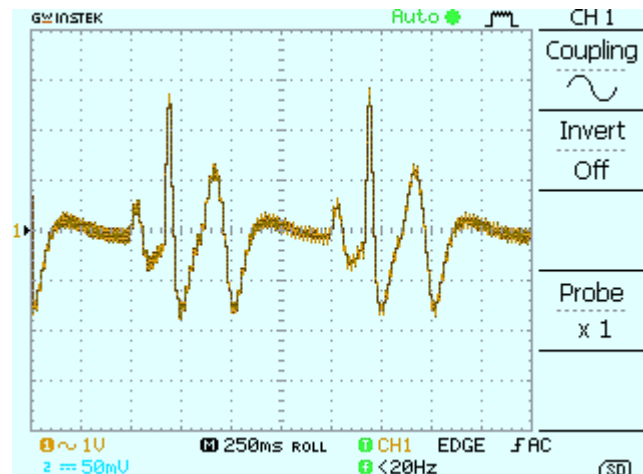


Gambar 4.58 Output Instrument Amplifier Lead III amplitudo 1 mV

Langkah – langkah pengujian yaitu :

1. Atur *amplitudo* pada *phantom ECG* sebesar 1mV dengan BPM 60.
2. Berikut hasil pengukuran pada TP2 sebagai *output* dari *High Pass*

Filter pada *oscilloscope* :



Gambar 4.59 Output High Pass Filter pada TP 2

$$\begin{aligned}
 \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\
 &= 2,8 \times 1 \\
 &= 2,8
 \end{aligned}$$

3. *Output HPF* Menurut perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{F_c} &= 1 / (2 \pi R_6 C_5) \\
 &= 1 / (2.3,14.33000.10. 10^{-6}) \\
 &= 1 / (6,28.33. 10^{-2}) \\
 &= 1 / (206,25. 10^{-2}) \\
 &= 10^2 / 206,25 \\
 &= 0,484 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{X_c (hpf)} &= 1 / (2 \pi F C_5) \\
 &= 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,48 \cdot 10. 10^{-6} \\
 &= 1 / 3,01. 10^{-5} \\
 &= 10^5 / 3,01 \\
 &= 33222,59 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{V_{out HPF}} &= (R_6 / (R_6 + X_c)) \cdot V_{in} \\
 &= (33000 / (33000+33222,59)) \cdot 0,6 \text{ V} \\
 &= (33000 / 66222,59) \cdot 0,6 \text{ V} \\
 &= 0,498 \cdot 0,6 \text{ V} \\
 &= 0,298 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{F_{cl}} &= 1 / (2 \pi R_7 C_6) \\
 &= 1 / (2 \cdot 3,14 \cdot 100000 \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \\
 &= 1 / (6,28 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \\
 &= 1 / (6,28 \cdot 10^{-1}) \\
 &= 10^1 / 6,28 = 1,592 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{Gain} = R_7 / (R_{V1} + R_8)$$

$$= 100000 / (10000 + 1000)$$

$$= 9 \times$$

$$\mathbf{X_{cl}} = 1 / 2 \pi F C_6$$

$$= 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,48 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$= 1 / 3 \cdot 10^{-6}$$

$$= 10^6 / 3$$

$$= 333333,33 \Omega$$

$$\mathbf{V_{out}} = [(X_{cl} / (X_{cl} + R_7)) \cdot V_{in}] \cdot \text{Gain}$$

$$=[(333333,33 / (333333,33 + 100000)) \cdot 0,298 \text{ V}] \cdot 9$$

$$=[(333333,33 / 433333,33) \cdot 0,298 \text{ V}] \cdot 9$$

$$=[0,769 \cdot 0,298 \text{ V}] \cdot 9$$

$$= 0,229 \cdot 9$$

$$= 2 \text{ V}$$

Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran menggunakan *input*

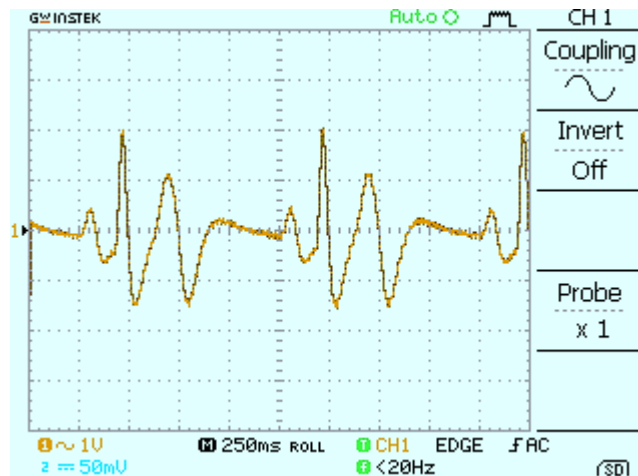
Function Generator :

Tabel 4.21 Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran *output HPF Pasif*

Fin	Vout (ukur)	Vout (hitung)
0,2 Hz	7,24 V	3,438 V
0,3 Hz	7,24 V	4,75 V
0,4 Hz	7,4 V	5,74 V
0,482 Hz	7,6 V	6,3 V
0,5 Hz	7,6 V	6,3 V
0,6 Hz	7,6 V	7,02 V

4. Berikut pengukuran TP3 sebagai output *Low Pass Filter Aktif* pada

oscilloscope :



Gambar 4.60 Output Low Pass Filter Aktif pada TP 3

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\ &= 3,6 \times 1 \\ &= 3,6 \end{aligned}$$

5. Output LPF Aktif menurut perhitungan :

$$\begin{aligned} f_c &= 1 / (2 \pi \sqrt{R_9 \cdot R_{10} \cdot C_7 \cdot C_8}) \\ &= 1 / (2 \cdot 3,14 \sqrt{8200 \cdot 8200 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}) \\ &= 1 / (6,28 \sqrt{6,724 \cdot 10^{-5}}) \\ &= 1 / (6,28 \cdot 8,2 \cdot 10^{-3}) \\ &= 10^3 / 51,496 \\ &= 19,418 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\omega / \omega_c = f_{in} / f_c$$

$$\begin{aligned} \omega &= 10 / 19,418 \cdot \omega_c \\ &= 0,295 \cdot \omega_c \end{aligned}$$

$$\omega^4 = 7,573 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25/R^4 \cdot C^4$$

$$A_{cl} = 1 / \sqrt{1 + 4\omega^4 \cdot R^4 \cdot C^4}$$

$$= 1 / \sqrt{1 + 4 \cdot 7,573 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25/R^4 \cdot C^4 \cdot R^4 \cdot C^4}$$

$$= 1 / \sqrt{1 + 7,27 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 1 / \sqrt{1}$$

$$= 1$$

$$\mathbf{Gain} = V_{out} / V_{in}$$

$$1 = V_{out} / 1V$$

$$\mathbf{V_{out}} = 1$$

Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran menggunakan *input*

Function Generator :

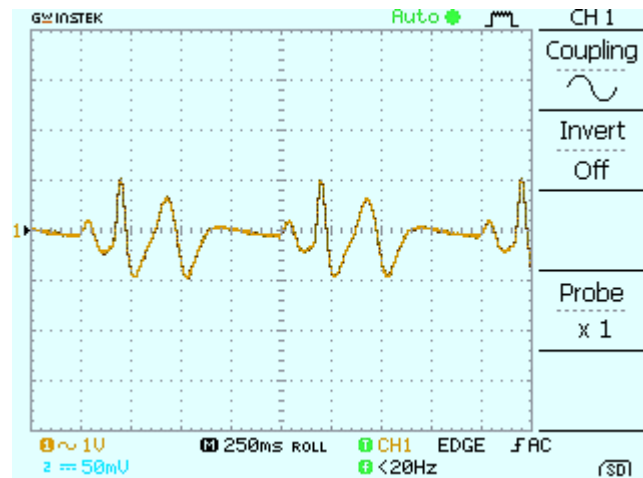
Tabel 4.22 Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran *Low Pass Filter*

Aktif

Fin	Vout (ukur)	Vout (hitung)
5 Hz	0,56 V	1 V
10 Hz	0,32 V	0,944 V
20 Hz	0,16 V	0,878 V
25 Hz	0,15 V	0,786 V
30 Hz	0,15 V	0,582 V
35 Hz	0,16 V	0,416 V
40 Hz	0,16 V	0,3 V
45 Hz	0,16 V	0,175 V
50 Hz	0,12 V	0,139 V

6. Berikut pengukuran TP3 sebagai *output Low Pass Filter Aktif* pada

oscilloscope :



Gambar 4.61 Output Low Pass Filter Aktif pada TP 4

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo} &= \text{tinggi} \times \text{volt/div} \\ &= 1,9 \times 1 \\ &= 1,9 \end{aligned}$$

7. Output LPF Pasif menurut perhitungan :

$$\begin{aligned} F_c &= 1 / (2 \pi R_{12} C_{11}) \\ &= 1 / (2 \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6}) \\ &= 1 / (6,28 \cdot 10^4 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6}) \\ &= 1 / (2,951 \cdot 10^2) \\ &= 10^2 / 2,951 \\ &= 33,886 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_c &= 1 / 2 \pi F C_{11} \\ &= 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 33,8 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6} \\ &= 1 / 6,28 \cdot 15,88 \cdot 10^{-6} \\ &= 10^6 / 99,72 \\ &= 10028 \Omega \end{aligned}$$

$$V_{out} = (X_c / (X_c + R_{12})) \cdot V_{in}$$

$$\begin{aligned}
 &= (10028/(10028+10000)).2,6V \\
 &= (10028/20028) .2,6 V \\
 &= 0,5 . 2,6 V \\
 &= 1,3 V
 \end{aligned}$$

Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran menggunakan *input Function Generator* :

Tabel 4.23 Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran *Low Pass Filter Pasif*

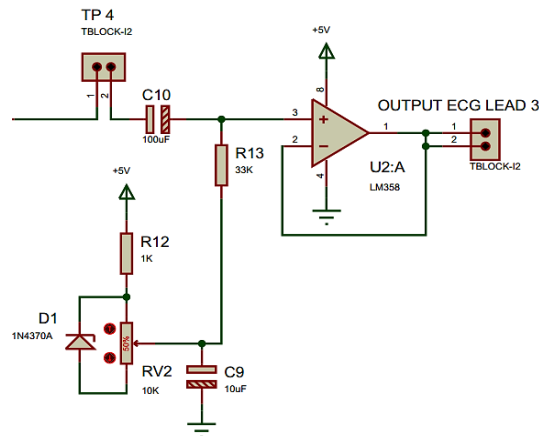
Fin	Vout (ukur)	Vout (hitung)
10 Hz	0,64 V	V
20 Hz	0,30 V	V
25 Hz	0,18 V	V
30 Hz	0,18 V	V
35 Hz	0,16 V	V
40 Hz	0,20 V	V
45 Hz	0,16 V	V
50 Hz	0,16 V	V
55 Hz	0,12 V	V
60 Hz	0,12 V	V

Rangkaian filter ini terdiri dari rangkaian *HPF Pasif* dengan *frekuensi cut off 0,5 Hz* yang digunakan untuk lebih menekan frekuensi dibawah *cut off*. Rangkaian *Low Pass Filter 19,418Hz* berfungsi untuk memfilter sinyal *noise* tubuh yang masih lolos dan masuk dirangkaian penguat. Untuk menghilangkan *interferensi frekuensi AC* perlu penambahan rangkaian *Low Pass Fiter pasif*, dimana disini penulis menambahkan rangkaian *LPF pasif* dengan *frekuensi cut off 33,33Hz*.

4.5.3 Rangkaian Adder/Clamper dan Buffer

Spesifikasi rangkaian *Adder* yang diperlukan adalah :

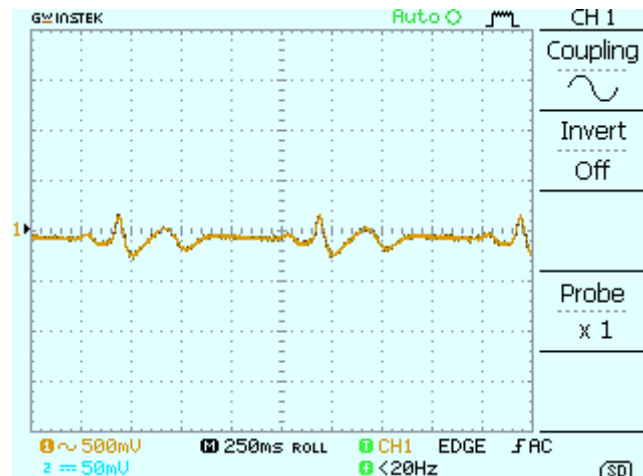
1. Menggunakan dioda zener sebagai *clamper* dan VR (*Variabel Resistor*) sebagai *setting* tegangan V_{ref} .
2. Membutuhkan tegangan +5VDC, -5VDC dan GND.
3. TP *Output* digunakan Untuk mengecek hasil *output* rangkaian. Jadi, didapatkan rangkaian seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.62 Rangkaian *Adder* dan *Buffer*

Langkah – langkah pengujian yaitu :

1. Atur *amplitudo phantom ECG* 1mV dengan BPM 60.
2. Berikut hasil *output* rangkaian *adder* dan *buffer* pada *oscilloscope* :



Gambar 4.63 Output Clamper

4.5.4 Rangkaian Minimum Sistem ATmega328P

Microcontroller AVR ATmega 328P memiliki fitur yang cukup lengkap. *Microcontroller AVR ATmega 328P* telah dilengkapi dengan *ADC internal*, *EEPROM internal*, *Timer/Counter*, *PWM*, *analog comparator*, dll. Berdasarkan *data sheet konfigurasi pin ATmega 328P* dengan kemasan 28 pin *DIP (Dual In-line Package)* dan penambahan spesifikasi rangkaian tambahan modul *Bluetooth HC-05* dapat dijelaskan fungsi masing-masing pin sebagai berikut :

1. *VCC* merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan tegangan *supply*.
2. *GND* merupakan pin *ground*.
3. *Port B (PB7..PB0)* merupakan *Port I/O 8-bit* dengan resistor *pull-up internal* tiap pin. Khusus *PB6* dan *PB7* memiliki fungsi lain. *PB6* dapat digunakan sebagai *input crystal* dan *input* rangkaian *clock internal*, bergantung pada pengatuan *Fuse bit*. Sedangkan *PB7* dapat digunakan

output kristal bergantung pada pengaturan *Fuse bit* yang digunakan untuk memilih sumber *clock*.

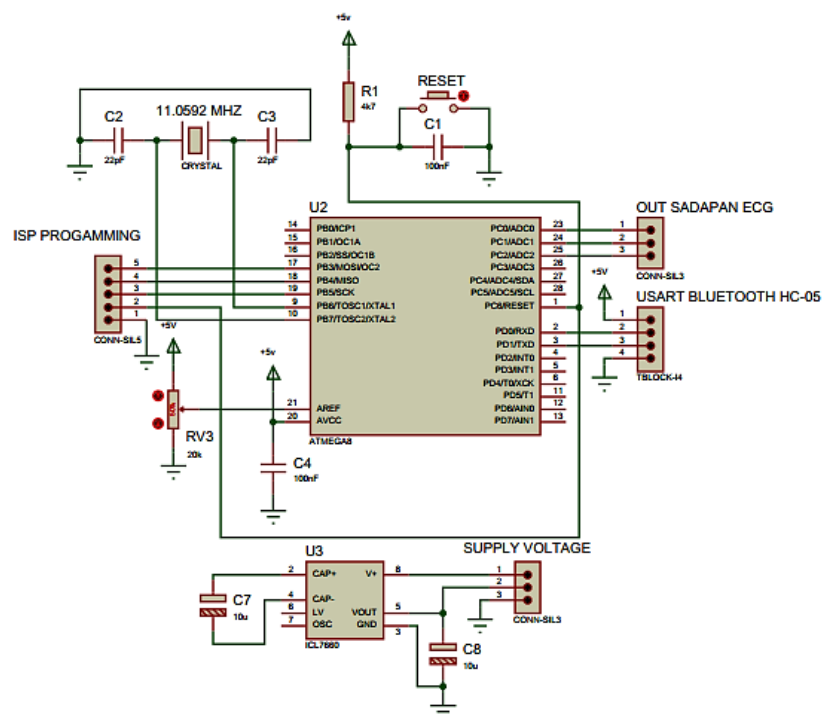
4. *Port C (PC5..PC0)* merupakan *Port I/O 7-bit* dengan *resistor pull-up internal* tiap pin. *Buffer PortC* mempunyai kapasitas menyerap dan mencatu.
5. *RESET/PC6* merupakan pin yang dapat difungsikan sebagai *I/O* dan *RESET*. Jika *fuse bit RSTDISBL* di “*programed*”, *PC6* digunakan sebagai *pin I/O*, tapi ketika *fuse bit RSTDISBL* di “*unprogramed*”, *PC6* digunakan sebagai pin *RESET (aktif low)*.
6. *Port D (PD7..PD0)* merupakan pin yang berfungsi sebagai *Port I/O 8-bit* dengan *resistor pull-up internal* tiap pin. *Buffer port D* mempunyai kapasitas menyerap dan mencatu.
7. *AVCC* merupakan pin tegangan catu untuk *A/D converter, PC3..PC0*, dan *ADC(7..6)*. *AVCC* harus dihubungkan ke *VCC*, walaupun *ADC* tidak digunakan. Jika *ADC* digunakan, maka *AVCC* harus dihubungkan ke *VCC* melalui “*low pass filter*”.
8. *AREF* merupakan pinyang digunakan untuk tegangan referensi analog untuk *ADC*.
9. *ADC7..6(TQPF,QFN/MLF)* hanya ada pada kemasan *TQPF* dan *QNF/MLF*, *ADC7..6* digunakan untuk pin input *ADC*.
10. Menggunakan modul *Bluetooth HC-05*.
11. Membutuhkan tegangan +5VDC dan GND.
12. Menggunakan *baudrate 9600*.

13. *Tx* dihubungkan ke *PORTD.0 (RxD)*.

14. *Rx* dihubungkan ke *PORTD.1(TxD)*.

Rangkaian *minimum sistem microcontroller ATmega 328P* memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

1. Saluran *I/O* sebanyak 23 buah, yaitu *port B, port C, dan port D*.
2. *ADC internal* sebanyak 6 buah saluran.
3. Tiga buah *timer counter*, dua diantaranya memiliki fasilitas pembanding.
4. *CPU* dengan 32 buah *register*.
5. *Watchdog timer* dan *oscilator internal*.
6. *SRAM* sebesar 1Kb.
7. Memori *flash* sebesar 8Kb *system Self-programable Flash*.
8. Unit *interupsi internal dan eksternal*.
9. *Port interface SPI*.
10. *EEPROM* sebesar 512 byte.
11. *Port USART (Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter)* untuk komunikasi serial. Jadi, didapatkan gambar rangkaian sebagai berikut :



Gambar 4.64 Rangkaian Sistem Minimum ATmega 328P

4.5.5 Pembahasan Rangkaian Keseluruhan

Elektroda menangkap sinyal tubuh dari pasien dengan beda potensial yang ditimbulkan oleh tubuh. Pada Lead I, pin Input RA menangkap beda potensial bermuatan negatif pada tangan kanan (RA), sedangkan pin input LA menangkap beda potensial bermuatan positif pada tangan kiri (RL) dan kaki kanan (RL) sebagai titik grounding. Dua potensial yang disadap oleh elektroda kemudian masuk ke rangkaian *instrument amplifier* yang sudah dimodifikasi dari rangkaian *difference amplifier* yang sudah dilengkapi dengan filter LPF *frekuensi cut off* 16 Hz untuk menangkap sinyal EKG dan memfilter sinyal tubuh lainnya.

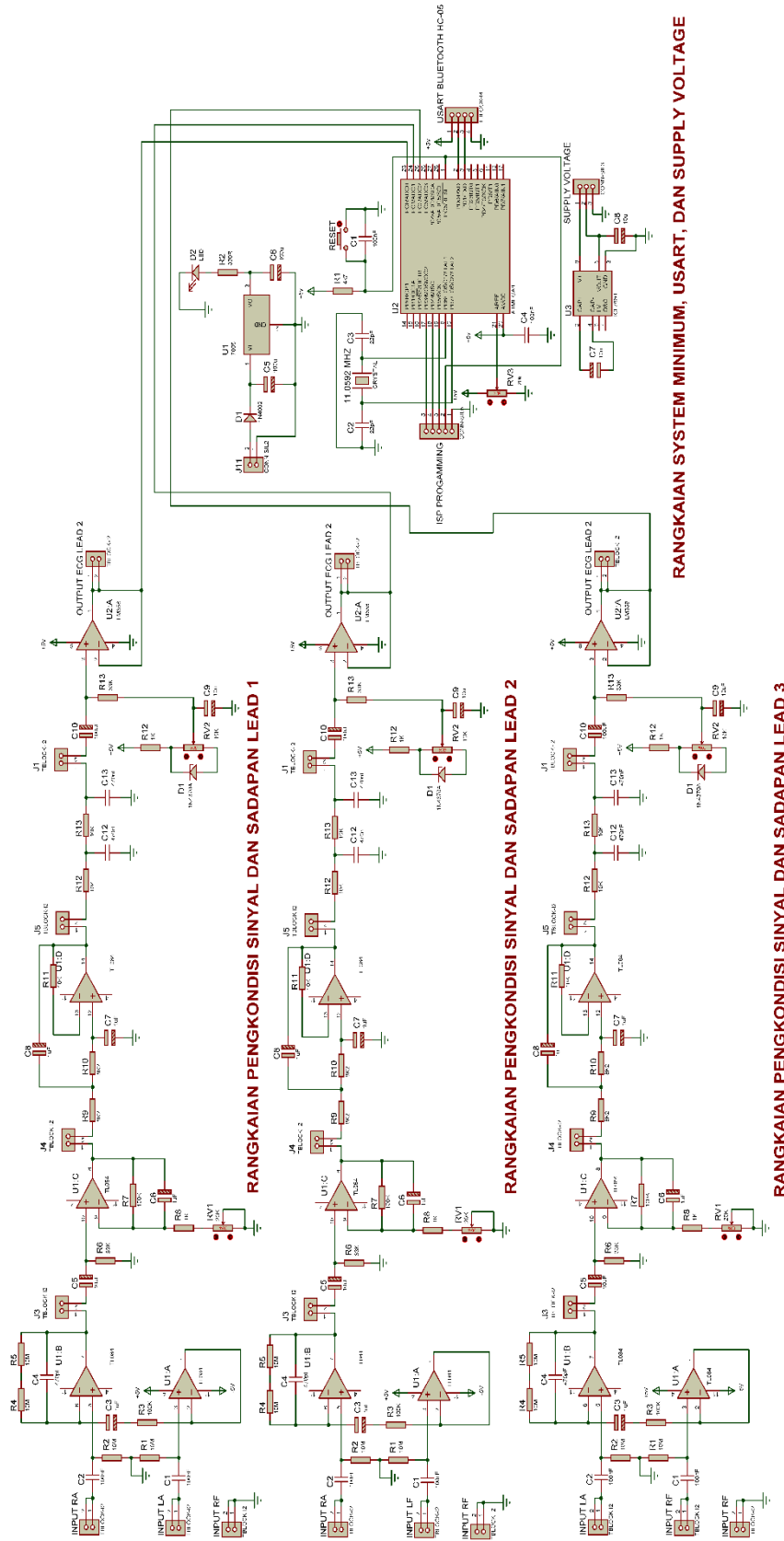
Output dari rangkaian *instrument amplifier* yang masih kecil kemudian masuk ke rangkaian filter HPF *frekuensi cut off* 0,5 Hz untuk menekan dan menghilangkan sinyal tubuh dibawah *frekuensi cut off*. Output filter HPF masuk ke rangkaian penguatan *non inverting* yang sudah dilengkapi dengan filter

pengeblok sinyal DC. Sinyal EKG yang dikuatkan masih terdapat sinyal *noise* tubuh yang dikuatkan juga oleh rangkaian penguatan, untuk itu rangkaian LPF 20 Hz berfungsi untuk memfilter sinyal tubuh selain sinyal EKG yang dikuatkan, sedangkan filter LPF *frekuensi cut off* 33,3 Hz berfungsi untuk mencegah dan menghilangkan interferensi frekuensi AC.

Sinyal EKG masih memiliki *amplitudo negative* yang tidak akan terbaca oleh rangkaian *microcontroller*. Rangkaian *Adder/Clamper* difungsikan untuk menggeser tegangan *offset* sinyal EKG untuk dapat diolah oleh rangkaian *Minimum System*. Semua sistem kerja rangkaian ini berlaku juga untuk Lead II dan Lead III. Sinyal EKG pada Lead I masuk pada *pin ADC 0*, Lead II masuk pada *pin ADC 1*, Lead III masuk pada *pin ADC 2*.

Sinyal EKG yang masuk pada *pin ADC* akan di konversi oleh rangkaian *Minimum System* menjadi data digital. Dari data digital kemudian akan diproses dan ditransmisikan melalui *mode UART* dengan modul *Bluetooth HC-05*. *Receiver* dari personal komputer akan menerima informasi yang ditransmisikan sebagai data *string* yang selanjutnya akan diolah menggunakan aplikasi Delphi 7 untuk proses pencitraan atau tampilan pada grafik. Pada modul menggunakan baterai sebagai *power supply +5V*. Tegangan *supply -5V* didapat dari rangkaian pembalik fase menggunakan IC 7660.

RANGKAIAN KESELURUHAN



Gambar 4.65 Rangkaian Sistem Keseluruhan

4.5.6 Listing Program Pengolahan ADC

```
const int analogInPin1 = A0; // Analog input pin that the
potentiometer is attached to input lead 1 ke ADC 0
const int analogInPin2 = A1; // Analog input pin that the
potentiometer is attached to to input lead 2 ke ADC 1
const int analogInPin3 = A2; // Analog input pin that the
potentiometer is attached to to input lead 3 ke ADC 2
int sensorValue1 = 0; // value read from the pot variable
int sensorValue2 = 0; // value read from the pot variable
int sensorValue3 = 0; // value read from the pot variable
```

4.5.7 Listing Program Pengolahan Bluetooth

```
//int pulsaR=0;
int detak=0; variable pulsa R EKG
int mulai1=0; variable nilai ADC di PC
void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);
  delay(500);
  attachInterrupt(0, rutinInterupsi0, FALLING);
  //attachInterrupt(1, rutinInterupsi1, FALLING);
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(4, HIGH);
}
void rutinInterupsi0() {
  detak=detak+1;
}
void loop() {
  char textdaripc;
  if (Serial.available())
  {
    textdaripc=Serial.read();
  }
  switch(textdaripc)
  {
```

```

{
case'A':
mulai1=1;
detak=0;
break;
case'a':
mulai1=0;
break;
}
if (mulai1==1)
  // read the analog in value:
  {
  sensorValue1 = analogRead(analogInPin1);
  sensorValue2 = analogRead(analogInPin2);
  sensorValue3 = analogRead(analogInPin3);
  if (sensorValue1>=80)
  {
  digitalWrite(4,LOW);
  delay(40);
  }
  if (sensorValue1<=60)
  {
  digitalWrite(4,HIGH);
  delay(40);
  }
  Serial.print(sensorValue1);
  Serial.print("A");
  Serial.print(sensorValue2);
  Serial.print("B");
  Serial.print(sensorValue3);
  Serial.print("C");
  Serial.print(detak);
  Serial.print("D");
  // Serial.print(pulsaR);
  // Serial.print("E");
  delay(40);
  }
}

```

Atur *baudrate* sebesar 9600 pada *coding program arduino*. *Arduino* menerima karakter A dari *Delphi 7.0* untuk start alat kemudian *arduino* mulai

akses untuk membaca ADC 0,1,2 sebagai input sinyal EKG yang nantinya akan diproses menjadi grafik.

Lead 1 dikirim melalui serial dan diakhiri dengan karakter A, Lead 2 dikirim melalui serial dan diakhiri dengan karakter B, Lead 3 dikirim melalui serial dan diakhiri dengan karakter C, nilai *BPM* dikirim melalui serial dan diakhiri dengan karakter D,

Sinyal EKG yang terbaca pada *Chart Delphi* akan diambil nilai batas pulsa R sinyal EKG ketika ada nilai pulsa R sinyal EKG atau nilai *ADC* tertinggi dari *output* modul EKG maka pin 4 yang disetting sebagai output akan di set *low* (sebelumnya *high*/apabila pulsa R dibawah batas) dan akan menjadi input pin 2 *arduino* sebagai interupsi 0 (*interupsi eksternal*).

Pin 2 menjadi *input interupsi* yang nantinya akan mengatur detak dari setiap detiknya dan menaikkan nilai detak plus 1 apabila pulsa R nilainya sesuai dengan batas yang ditentukan yang nantinya akan dikirim ke Delphi.

4.5.8 Listing Program Delphi

```
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);//var
begin
Comport1.port:='COM3';
Comport1.Open;
chart1.Series[0].Clear;
//comport1.Connected:=true;
comport1.Open;
comport1.WriteStr('a');
end;
```

Comport berfungsi sebagai gerbang penerimaan data yang dikirim dari *minimum system* melalui *bluetooth* dan jenis data yang diterima *comport1* merupakan data string.

Ketika tombol “mulai” ditekan, `comport1.open` artinya `comport1` mulai menerima data melalui COM3 . Semua data yang diterima akan diolah terlebih dahulu.

4.5.9 Listing Program Pengolahan Bluetooth pada Delphi

```

procedure TForm1.ComPort1RxChar(Sender:
TObject; Count: Integer);
var datasensorA, A,datasensorB, B ,datasensorC,
C,datasensorD,D:string;
sensor1:integer;
sensor2:integer;
sensor3:integer;
begin
  x1 := x1+1;
  x2 := x2+1;
  x3 := x3+1;
repeat
begin
comport1.ReadStr(A,1);
DatasensorA:=DatasensorA+A;
end;
until A='A';
Editdatamasuk1.Text:=datasensorA;
if A='A' then
begin
EditData1.Text:=LeftStr(Editdatamasuk1.Text,length
(Editdatamasuk1.Text)-1);
Editdatamasuk1.Clear;
end;
end;

```

Fungsi *comport* memulai baca data dari arduino satu persatu karakter ditampung ke dalam *variable* A, pengambilan data akan diulang hingga mendapatkan nilai string 'A'. Ketika karakter masuk (disimpan dalam variable A) maka karakter akan digabungkan dan disimpan dengan nama variable data sensor A sampai data masuk yang disimpan ke dalam *variable* A adalah berupa karakter A. Data yang sudah tersimpan akan ditampilkan nilai keseluruhan ke LineEdit

datasensorA, jika data masuk yang disimpan dalam *variable* A adalah berupa karakter A maka perintah hitung di Chart berjalan. Nilai line edit data 1 nilainya diambilkan dari *variable* editdatamasuk1 dimulai dari paling kiri sepanjang karakter pada komponen *variable* editdatamasuk1 dikurangi 1 karakter secara terus menerus ketika terjadi penumpukan data maka *variable* Editdatamasuk1.Clear; berfungsi untuk menghapus data yang masuk ke *variable* editdatamasuk1 agar tidak terjadi penumpukan data.