BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS PERANCANGAN ELEKTROKARDIOGRAFI (EKG) DENGAN SISTEM MULTI KANAL

Pengujian dan analisis ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem yang telah dirancang, apakah sudah seperti yang diharapkan atau tidak seperti yang diharapkan. Pengujian akan dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian *hardware* dan pengujian *software*, kemudian meng-analisa data-data hasil pengujian tersebut.

4.1 Pengujian *Hardware*

Pengujian secara *hardware* ini dilakukan untuk menguji beberapa rangkaian utama dari sistem untuk untuk membuktikan apakah rangkaian utama yang sudah dirancang tersebut memiliki hasil pengujian seperti yang diharapkan. Berikut adalah beberapa pengujian *hardware* yang akan dilakukan untuk mendapatkan data-data hasil pengujiannya.

1. Rangkaian penguat (awal) instrumentasi dengan penguatan 127 kali.
2. Rangkaian *bandpass filter.*
3. Rangkaian penguat (akhir) operasional dengan penguatan 11 kali.
4. Rangkaian *Clamper*.
5. Rangkaian *DC converter*.
6. Transmisi Bluetooh.

4.1.1 Rangkaian penguat (awal) instrumentasi dengan penguatan 127 kali

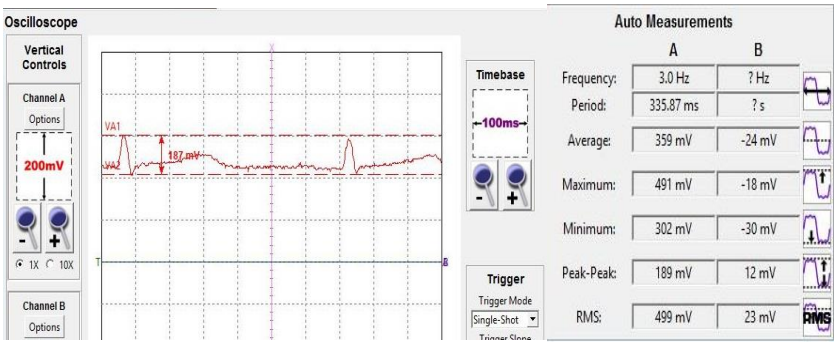
Rangkaian penguat (awal) instrumentasi ini digunakan untuk menguatkan sinyal pada tubuh manusia yang masih mempunyai tegangan yang sangat kecil yang berjangkauan millivolt (mV). Penguat instrumentasi ini sangat cocok digunakan dalam penguatan tegangan langsung yang berasal dari sensor secara akurat, dalam kasus ini adalah penguatan tegangan pada tubuh manusia dengan menggunakan sensor elektroda yang terpasang pada tubuh.

Penguatan sebesar 127 kali pada rangkaian ini bertujuan untuk menaikan tegangan yang masih bersatuan millivolt(mV) pada tubuh manusia hingga mendapatkan tegangan dengan nilai diatas 1 Volt secara bertahap, untuk melakukan proses pengolahan data analog pada ADC di mikrokontroler tersebut sebesar 0-5 Volt. Berikut merupakan data hasil pengamatan sinyal yang telah melalui rangkaian penguat (awal) 127 kali.

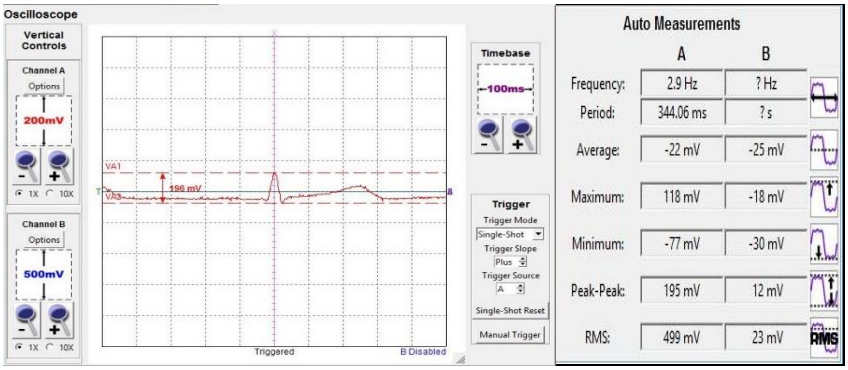
4.1 Tabel Hasil pengujian Penguat Instrumentasi 127 kali

Percobaan	Pengukuran	Amplitudo Keluaran (Vp-P)
1	Jantung orang ke 1	189 mV
2	Jantung orang ke 2	195 mV
3	Jantung orang ke 3	142 mV
4	Jantung orang ke 4	208 mV
5	Jantung orang ke 5	136 mV

Dari tabel hasil pengujian diatas maka diambil sample 5 objek jantung manusia yang memiliki amplitudo (Vp-p) berbeda-beda, dari 5 sample objek jantung tersebut diambil 2 objek yang diukur oleh *oscilloscope portable* pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Hasil penguatan dengan amplitudo 189mV pada jantung orang ke 1



Gambar 4.2 Hasil penguatan dengan amplitudo 195 Vp-p pada jantung orang kedua

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat dilihat dengan penguatan 127 kali pada tegangan gelombang puncak R atau tegangan maksimum jantung pada siklus terjadinya detak jantung. Berdasarkan teori parameter gelombang EKG, gelombang R dalam sinyal EKG mempunyai tegangan 1-3 mV, walau berdasarkan teori parameter sinyal EKG demikian tetapi pada faktanya setiap jantung tubuh manusia tidak memiliki tegangan yang sama karena banyak faktor yang mempengaruhi kondisi tubuh yang normal atau kurang sehat dan lain sebagainya. Dengan menggunakan acuan parameter sinyal EKG yaitu untung gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak dengan

penguatan 127 kali seharusnya didapatkan tegangan setiap sample objek jantung sebagai berikut :

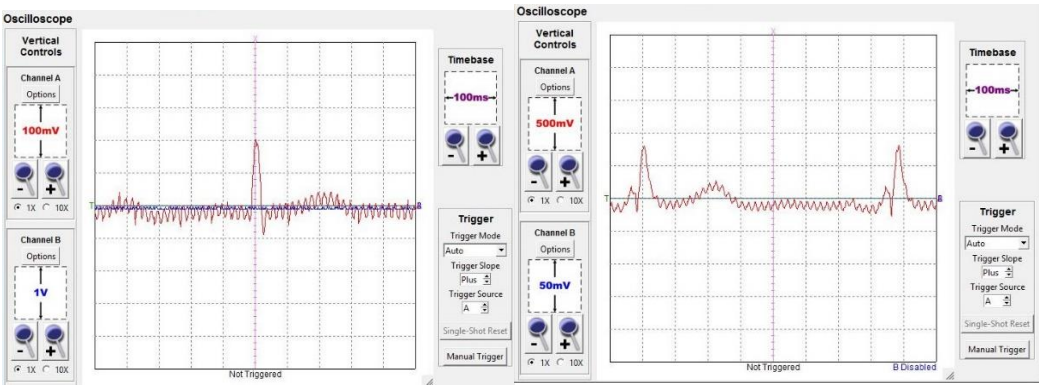
1. Pada Objek 1 didapatkan hasil gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak 189mV : 127 = 1.48 mV.
2. Pada Objek 2 didapatkan hasil gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak 195mV : 127 = 1.53 mV.
3. Pada Objek 3 didapatkan hasil gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak 142mV : 127 = 1.1 mV.
4. Pada Objek 4 didapatkan hasil gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak 208mV : 127 = 1.63 mV.
5. Pada Objek 5 didapatkan hasil gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak 136mV : 127 = 1.07 mV.

Berdasarkan perbandingan hasil gelombang R pada setiap objek dapat disimpulkan bahwa tegangan pada gelombang R atau tegangan maksimum saat jantung berdetak dapat berubah-ubah. Ini disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya faktor kondisi tubuh yang berbeda beda baik itu kondisi tubuh yang sehat atau kurang sehat dan mempengaruhi tekanan darah pada denyut nadi.

4.1.2 Rangkaian *Bandpass* Filter

Untuk meloloskan frekuensi sinyal EKG perlu digunakan filter yang dapat meredam frekuensi interfensi pada sinyal EKG, untuk kebutuhan monitoring informasi sinyal EKG maka frekuensi yang dibutuhkan harus tepat agar tidak terjadi kehilangan sinyal informasi yang sebenarnya. Digunakan *bandpass* filter yang terdiri dari dari gabungan *lowpass* filter dan

highpass filter dengan besar frekuensi bandwith 0.05 – 106 Hz. Berikut data hasil pengujian rangkaian *bandpass* filter pada sinyal EKG.



(a) (b)

Gambar 4.3 (a) Sinyal EKG tanpa filter, (b) Sinyal EKG dengan *bandpass* filter

Seperti terlihat pada gambar 4.2 di atas fungsi daribandpass filter dalam rangkaian EKG ini adalah untuk mengurangi noise yang terjadi akibat interferensi frekuensi lain yang dapat merubah tampilan karakteristik asli sinyal EKG, walaupun masih terdapat gangguan seperti pergerakan pada saat perekaman EKG atau gangguan dari komponen elektronika yang kurang stabil. Pada hakikatnya noise atau gangguan pada suatu sistem memang tidak dapat dihilangkan namun noise atau gangguan tersebut dapat dikurangi atau diminimalisir.

4.1.3 Rangkaian penguat (akhir) operasional dengan penguatan 11 kali

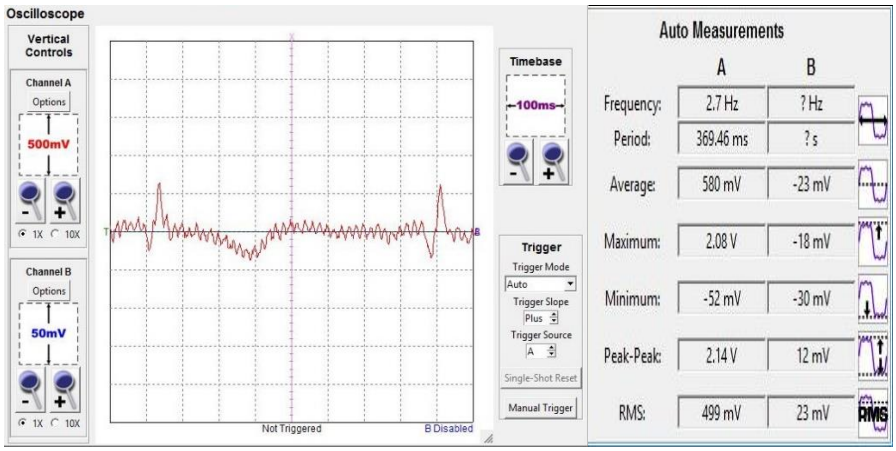
Rangkaian op-amp dengan penguatan 11 kali ini digunakan untuk menguatkan kembali sinyal EKG yang telah diproses pada rangkaian penguat instrumentasi dan rangkaian filter. Untuk mendapatkan hasil sinyal EKG yang baik maka harus dilakukan penguatan bertingkat atau cascade agar noise atau interferensi dari hasil rekaman langsung sinyal EKG yang masih terbawa

pada rangkaian penguat instrumentasi tidak semuanya terbawa karena telah melewati rangkaian filter. Berikut data hasil pengujian rangkaian op-amp.

Tabel 4.2 Hasil pengujian Op-amp 11 kali

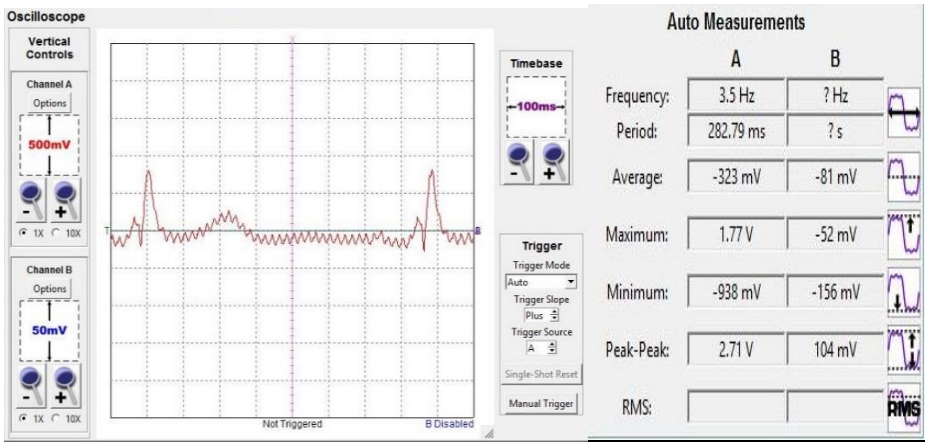
Percobaan	**Amplitudo Masukan Penguat Instrumentasi (Vp-p)**	**Amplitudo Keluaran (Vp-p)**
1	189 mV	2.14 V
2	195 mV	2.71 V
3	142 mV	1.09 V
4	208 mV	2.81 V
5	136 mV	1.23 V

Berdasarkan tabel 4.2 di atas dapat dilihat penguatan op-amp ditetapkan sebesar 11 kali berfungsi untuk menguatkan kembali tegangan dari penguat instrumentasi agar mencapai tegangan 0-5 V, peran penguat op-amp disini juga sebagai filter yang digabungkan dengan resistor dan kapasitor.



Gambar 4.4 Hasil Penguatan akhir dengan amplitudo

2.14 V pada jantung orang ke 1



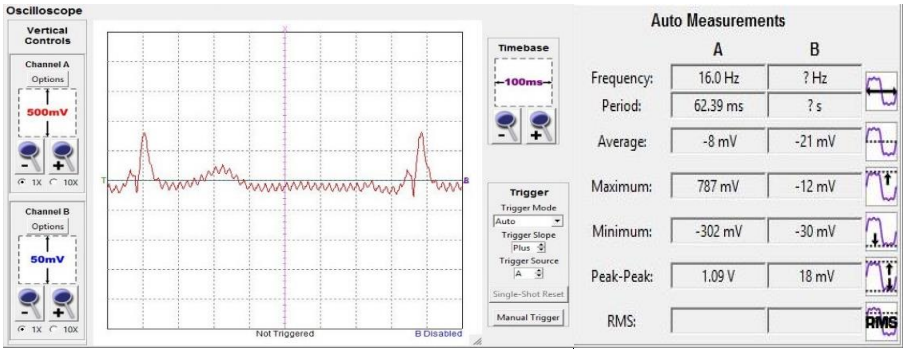
Gambar 4.5 Hasil Penguatan akhir dengan amplitudo 2.71 V pada jantung orang ke 2

Penguatan 11 kali dirasa tegangan yang didapatkan cukup untuk bisa diproses oleh mikrokontroller yang berkisar antara 0-5 V. Dari hasil perbandingan penguatan dapat disimpulkan bahwa penguatan bisa berubah-ubah tergantung masukan dari penguat instrumentasi (awal) yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sama dengan penguat instrumentasi (awal). Namun beda hasil penguatan didapatkan 0-5 V yang dapat diproses oleh ADC pada mikrokontroler.

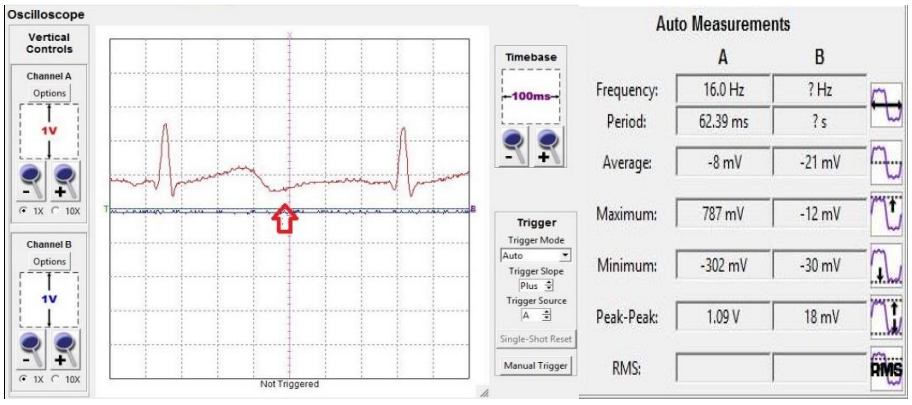
4.1.4 Rangkaian *Clamper*

Rangkaian clamper ini bertugas untuk menggeser nilai referensi offset sinyal ke atas titik ground sistem, sehingga puncak positif (sinyal di atas titik ground) dan puncak negatif (sinyal di bawah titik ground) sinyal tetap berada diantara rentang 0 – 5 Volt agar dapat tetap terbaca oleh peranti ADC pada mikrokontroler. Pengujian rangkaian clamper ini dilakukan dengan cara memberi sinyal masukan terhadap rangkaian clamper yaitu rangkaian op-amp kemudian mengukur nilai pergeseran dan penguatan yang terjadi agar dapat menganalisis bentuk sinyal keluaran dari rangkaian tersebut sehingga

seharusnya bentuk sinyal keluaran adalah sama dengan sinyal masukannya hanya saja offset tegangannya yang berubah.



(a)



(b)

Gambar 4.6 (a) Sinyal masukan rangkaian op-amp, (b) Hasil pergeseran dari titik nol pada rangkaian clamper

4.1.5 Rangkaian DC *Converter*

Rangkaian DC *converter* atau pembalik tegangan digunakan untuk membalikan tegangan hasil pengganda tegangan sehingga didapatkan tegangan yang simetris. Hal ini dimaksudkan karena ic op-amp jenis OP-07 dan AD620 bekerja dengan menggunakan catu daya simetris yang artinya terdapat tengangan dengan potensial positif (+) dan tegangan dengan potensial negatif (-) dan *ground*. Pengujian rangkaian pembalik tegangan ini

pun dilakukan dengan cara mengukur tegangan masukan rangkaian pembalik tegangan dan mengukur tegangan hasil keluaran dari rangkaian pengganda. Pada pengujian ini didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian DC *converter*

Percobaan	Tegangan Masukan (Volt)	Tegangan Keluaran (Volt)
1	7.4	-7.4
2	4.7	-4.7
3	8.6	-8.6
4	9.4	-9.4
5	5.01	-5.01

Berdasarkan tabel 4.3 diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan identik atau sama antara besar tegangan potensial positif (+) dengan besar tegangan potensial (-).

4.1.6 Transmisi *Bluetooth*

Pengujian transimisi *Bluetooth* dilakukan untuk melihat berapa kemampuan jarak modul *Bluetooth* HC-05 dapat mengirim data rekaman dari rangkaian EKG yang akan diterima oleh PC atau *Smartphone* sebagai hasil visual rekaman digital EKG.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Transmisi *Bluetooth*

Percobaan	**Jarak (meter)**	**Keberhasilan Mengirim Data Menggunakan koneksi Bluetooth**	
		PC	
		Tanpa Halangan	**Dengan Halangan**
1	2	Berhasil	Berhasil
2	5	Berhasil	Berhasil
3	10	Berhasil	Gagal
4	13	Gagal	Gagal
5	15	Gagal	Gagal

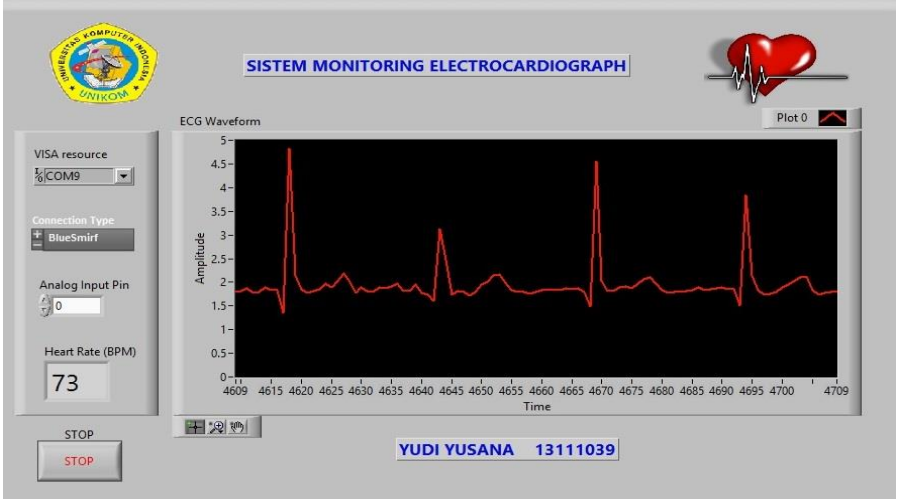
Dari tabel pengujian pada tabel 4.4 di atas dapat dilihat jarak kemampuan modul Bluetooth untuk mengirim data sinyal EKG dari alat EKG ke PC atau smartphone, pada keadaan tanpa halangan jarak maksimum yang berhasil dikirim modul Bluetooth dari alat EKG ke PC dan smartphone sekitar 10 meter. Dengan menggunakan modul Bluetooth HC-05 pada perancangan sistem EKG nirkabel ini hanya mampu mengirim data dengan baik kurang lebih sekitar 7 – 10 meter, yang berarti hanya cukup untuk berkomunikasi antar beda ruangan dengan batasan jarak seperti yang didapatkan pada tabel 4.4 di atas.

4.2 Pengujian *Software* Aplikasi EKG pada PC

Salah satu tujuan perancangan ini adalah membuat aplikasi EKG yang yang dapat menampilkan hasil rekaman jantung dari alat EKG. Maka dilakukanlah pengujian aplikasi yang meliputi sistem kerja dan beserta fungsinya. Terdapat 2 aplikasi yang akan diuji yaitu aplikasi rekaman EKG pada PC yang meliputi hasil visualisasi sinyal EKG dan detak jantung atau heart beat (BPM), hasil rekaman EKG yang dapat diakses oleh beberapa client.

4.2.1 Pengujian Visualilasi Rekaman Sinyal EKG pada PC

Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon sinyal EKG yang diproses secara digital agar pembacaan lebih mudah. Didalam program visualisasi ini terdapat filter digital, filter ini berfungsi untuk mendapatkan sinyal EKG yang bersih dan baik tanpa ada interferensi frekuensi lain atau gangguan noise yang dapat merusak sinyal EKG yang telah didigitalisasi oleh ADC.



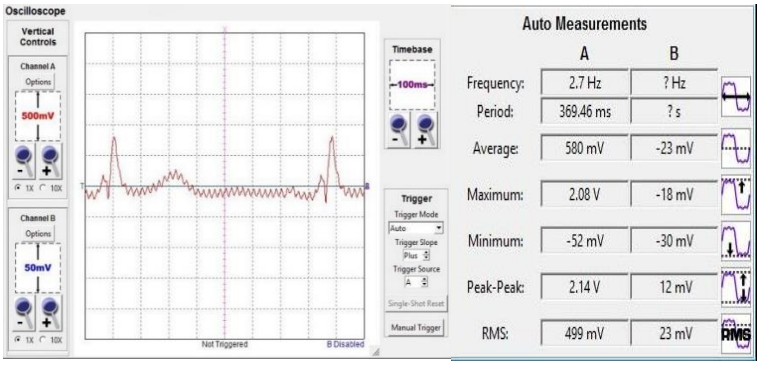
Gambar 4.7 Hasil rekaman sinyal EKG pada PC

Pada gambar 4.7 diatas dapat dilihat penggunaan filter dalam aplikasi rekaman sinyal EKG ini harus dilakukan untuk mendapatkan rekaman sinyal EKG yang baik serta mengurangi interferensi lain yang masuk pada rangkaian EKG (*hardware*). Aplikasi monitoring EKG ini juga dapat menghitung detak jantung (*heart beat*) berdasarkan dari hasil rekaman sinyal EKG yang terbaca, oleh karena itu dibutuhkan hasil rekaman sinyal EKG yang stabil, terutama gelombang QRS harus selalu bebas gangguan agar dapat dilakukan proses perhitungan detak jantung dengan menggunakan jarak interval R-R atau puncak gelombang pada jantung dalam satu siklus.

4.2.2 Pengujian Skala Amplitudo Sinyal EKG

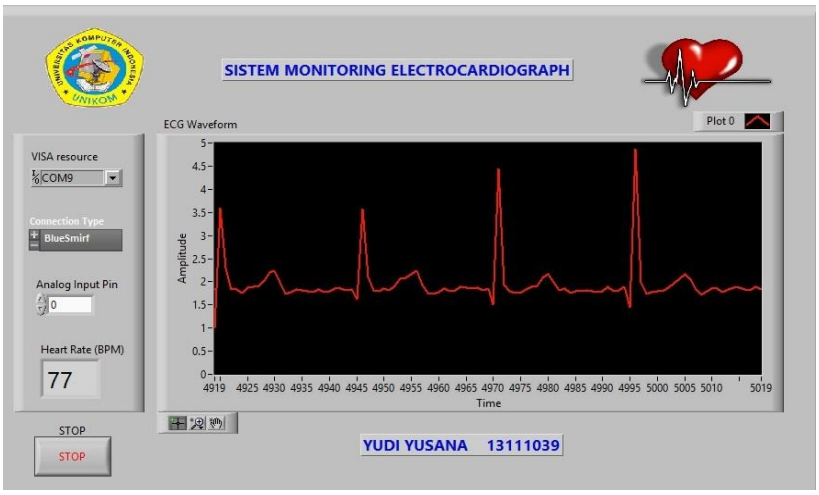
Pengujian skala amplitudo sinyal EKG ini dilakukan untuk melihat respon amplitudo sinyal EKG asli yang telah melalui penguatan pada alat EKG untuk diproses sebagai pengolahan data digital dan mengembalikan skala amplitudo sinyal EKG yang telah didigitalisasi tersebut ke amplitudo asli sinyal EKG jantung. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil sinyal keluaran penguatan total pada rangkaian EKG yang terbaca pada

osiloskop dengan hasil keluaran sinyaldari proses ADC dan hasil keluaran sinyal EKG pada aplikasi EKG.



Gambar 4.8 Hasil Amplitudo sinyal EKG keluaran Rangkaian EKG

Gambar 4.8 diatas dapat dilihat amplitudo sinyal keluaran rangkaian EKG sebesar 2.14, karena hasil tersebut merupakan hasil amplitudo yang telah dikuatkan setelah melalui penguatan bertahap yang mempunyai gain total 1397 kali maka untuk mengetahui nilai amplitudo asli sinyal EKG dapat dihitung 2.14 V dibagi dengan 1397 kali penguatan yaitu 2.140 mV : 1397 = 1.5 mV.



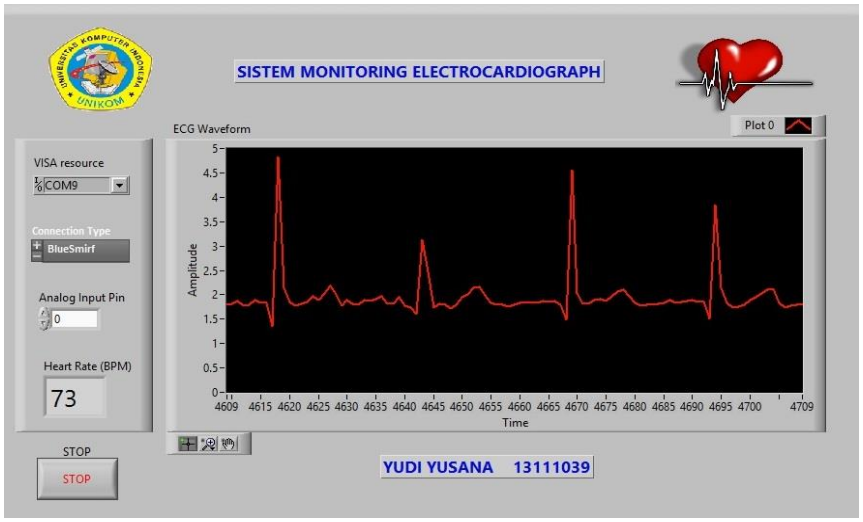
Gambar 4.9 Hasil Amplitudo Sinyal EKG keluaran ADC

Gambar 4.9 diatas dilihat pada aplikasi rekaman sinyal EKG mempunyai nilai amplitudo sinyal EKG sebesar 3.5 V, terdapat perbedaan

antara sinyal amplitudo dari osiloskop dan hasil pada aplikasi rekaman sinyal EKG. Perbedaan hasil amplitudo sinyal EKG pada osiloskop dan aplikasi rekaman EKG pada PC dikarenakan pembacaan sinyal hasil EKG pada aplikasi sinyal EKG pada PC telah melalui rangkaian clamper yang terlalu digeser sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang besar.

4.2.3 Pengujian Detak Jantung/*Heart Rate* (BPM)

Pengujian detak jantung atau heart beatpada aplikasi EKG ini dilakukan untuk melihat hasil respon dari perhitungan detak jantung seseorang (BPM/*Beat Per Minute*) pada aplikasi EKG yang telah dibuat ini berdasarkan hasil rekaman sinyal EKG dan perbandingan dengan data asli jantung. Berikut hasil metode perhitungan detak jantung (BPM) dan tabel hasil perbandingan detak jantung atau *heart beat* (BPM) dari pengujian yang dilakukan.



Gambar 4.10 Proses Perhitungan detak jantung (BPM)

Pada gambar 4.10 diatas dapat dilihat proses perhitungan detak jantung (BPM) dilakukan dengan menggunakan perhitungan detak jantung (BPM) berdasarkan rumus metode yang digunakan yaitu, interval R-R dikali

1 menit/60 detik. Untuk hasil detak jantung (bpm) yang terbaca pada aplikasi mempunyai nilai sebesar 73 BPM.

Tabel 4.5 Hasil Perbandingan Heart Beat pada aplikasi EKG dan detak jantung asli (denyut nadi)

Percobaan	**Heart Beat (BPM) aplikasi EKG**	**Heart Beat (BPM) perhitungan nadi**	**Perbedaan Heart Beat (BPM)**
Subjek 1	73	75	2
Subjek 2	77	80	3
Subjek 3	54	52	2
Subjek 4	80	79	1
Subjek 5	86	85	1
Rata-rata Perbedaan Heart Beat			**9/5 = 1.8**

Dari data tabel percobaan 4.5 di atas, pada proses untuk menghitung detak jantung atau heart beat dalam aplikasi EKG ini berdasarkan hasil rekaman sinyal jantung yang tebaca pada grafik, didapatkan hasil detak jantung yang sudah medekati hasil detak jantung asli seseorang dengan rata - rata perbedaan *Heart Beat (BPM)* yaitu 2 *Beat* dengan menggunakan cara membandingkan hasil detak jantung yang terbaca pada aplikasi EKG dan menghitung manual atau menghitung langsung detak jantung objek berdasarkan denyut nadi manusia. Kekurangan dalam perhitungan detak jantung pada aplikasi EKG ini adalah perubahan detak jantung 60 detik terkadang kurang stabil, selain faktor kondisi tubuh atau jantung yang tidak tentu atau berubah tiap detiknya faktor gerakan, sensor atau interferensi pada media komunikasi juga dapat mempengaruhi hasil perhitungan detak jantung karena sinyal yang terbaca pada saat perekaman tidak stabil.

4.2.4 Pengujian Komunikasi Data Melalui *Wireless*

Pengujian komunikasi data melalui *wireless* ini dilakukan untuk menguji berapa kemampuan jarak WR720N dapat mengirim data rekaman dari PC *server* yang akan diterima oleh PC *Client* atau *Smartphone* sebagai hasil visual rekaman digital EKG.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian komunikasi data melalu *wireless*

Percobaan	**Jarak (meter)**	**Keberhasilan Mengirim Data Menggunakan koneksi Bluetooth**			
		PC		***SmartPhone***	
		Tanpa Halangan	**Dengan Halangan**	**Tanpa Halangan**	**Dengan Halangan**
1	10	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
2	20	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
3	30	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Gagal
4	40	Berhasil	Gagal	Berhasil	Gagal
5	50	Berhasil	Gagal	Gagal	Gagal

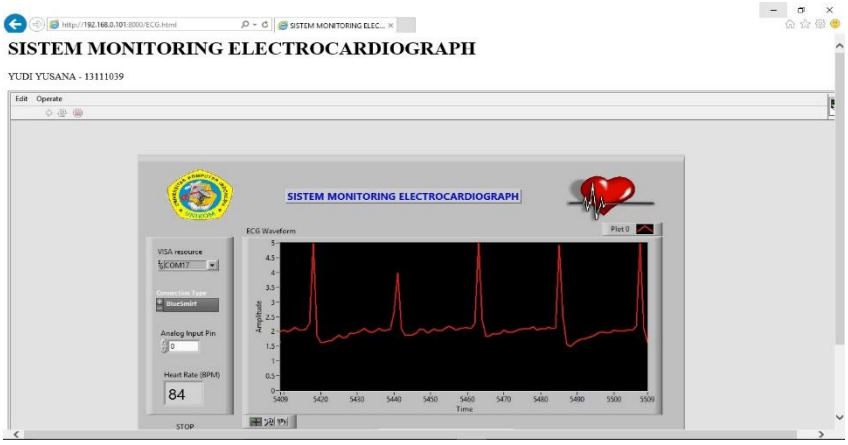
Dari tabel pengujian pada tabel 4.6 di atas dapat dilihat jarak kemampuan WR720N untuk mengirim data sinyal EKG dari PC *server* pada PC *client* atau *smartphone*, pada keadaan tanpa halangan jarak maksimum yang berhasil dikirim sekitar 50 meter. Dengan menggunakan WR720N pada perancangan sistem EKG nirkabel ini hanya mampu mengirim data dengan baik kurang lebih sekitar 10 – 30 meter, yang berarti hanya cukup untuk berkomunikasi antar beda ruangan dengan batasan jarak seperti yang didapatkan pada tabel 4.6 di atas.

4.2.5 Pengujian Aplikasi EKG pada *Client*

Pengujian aplikasi EKG pada *client* ini dilakukan untuk melihat respon hasil rekaman EKG yang telah ditampilkan pada aplikasi EKG pada PC agar bisa dilihat oleh beberapa PC *client* maupun *smartphone*.

1. Aplikasi EKG pada PC *Client*

Aplikasi EKG pada PC *client* ini untuk melihat hasil visualisasi rekaman sinyal EKG yang dikirim melalui komunikasi data *wireless* dari PC server yang bisa diakses oleh beberapa PC *client*

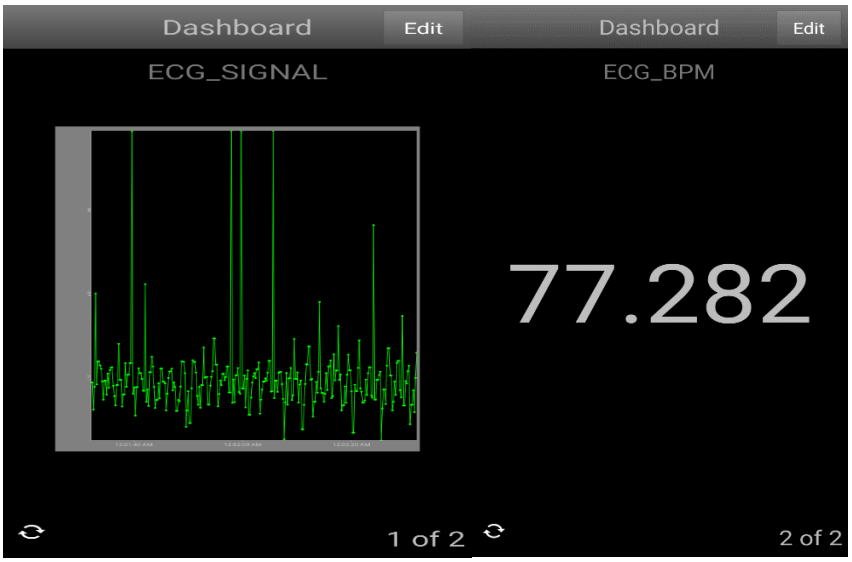


Gambar 4.11 Hasil rekaman aplikasi EKG pada PC *Client*

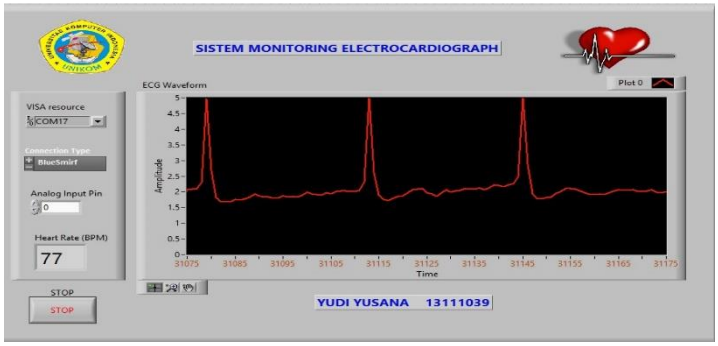
Seperti yang terlihat pada gambar 4.11 diatas, fungsi dari aplikasi EKG pada PC *client* ini sebagai hasil visualisasi rekaman EKG yang dikirim oleh PC *server* melalui media komunikasi *wireless* dengan mengetikan alamat server pada *web browser client* untuk dapat mengakses aplikasi monitoring EKG. Aplikasi pada PC Client ini dapat melihat karakteristik sinyal EKG sama seperti aplikasi pada PC server sebagai monitoring sinyal EKG yang dapat diakses oleh client pada jangkaun sinyal *wireless*.

2. Aplikasi EKG pada *Smartphone*

Aplikasi EKG pada *smartphone* ini untuk melihat hasil visualisasi rekaman sinyal EKG yang dikirim komunikasi data *wireless* yang bisa di akses oleh *smartphone*.



(a) (b)



(c)

Gambar 4.12 (a) Hasil Rekaman sinyal EKG pada *Smartphone*, (b) Hasil BPM sinyal EKG pada *Smartphone*, (c) Hasil Rekaman Sinyal EKG pada *PC Server*

Gambar 4.12 diatas dapat dilihat hasil rekaman sinyal EKG pada *smartphone* dan sinyal EKG pada PC *server*, sinyal EKG pada *smartphone* tidak sebaik sinyal EKG pada PC dikarenakan keterbatasan proses *plotting* aplikasi EKG pada *smartphone*, namun pembacaan Heart Rate/BPM sudah

sesuai dengan aplikasi EKG pada PC server. Aplikasi EKG pada *smartphone* menggunakan aplikasi *Data Dashboard for LabView* yang dapat di *download* pada *smartphone* yang telah tersedia di *Google Play Store (Android), App Store (iOS),* dan *Windows Phone Store (Windows Phone).*