

# RANCANG BANGUN SISTEM AMPLIFIER PADA ELEKTROKARDIOGRAM

## *Development Of Amplifier System On Electrocardiogram*

Fiqih Maulana Hasbi<sup>1</sup>, Drs. Suwandi, M.Si.<sup>2</sup>, Dr.Eng. Asep Suhendi, M.Si.<sup>3</sup>

Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>fiqihmh@students.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>suwandi@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>suhendi@telkomuniversity.ac.id

---

### Abstrak

Elektrokardiograf (ECG) merupakan suatu alat yang umum dipakai untuk mengukur kinerja jantung manusia dengan memanfaatkan *electrode* sebagai penangkap impuls. Permasalahan yang kemudian terjadi dalam proses tersebut adalah sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas jantung memiliki amplitudo dan frekuensi yang rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan proses amplifikasi sebagai penguat sinyal keluaran agar selanjutnya dapat digunakan oleh subsistem lain seperti monitoring pasien. Pada tugas akhir ini, alat yang dirancang merupakan sebuah sistem penguat untuk ECG dengan memanfaatkan *operational amplifier* dan filter sebagai penguat sinyal dari tiga buah elektroda yang ditempel ke permukaan kulit subjek untuk pembacaan aktivitas jantungnya. Hasil dari penguatan tersebut dijadikan sinyal keluaran yang selanjutnya dapat diolah menjadi informasi oleh mikrokontroler. Rancangan sistem *amplifier* ini dibangun dengan memanfaatkan IC INA333 dan OPA333. Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem penguat ini dapat berjalan dengan cukup baik apabila dilihat dari setiap komponennya karena berjalan sesuai kebutuhan. Rata-rata error keseluruhan dari sistem ini dibawah 5%, dalam artian masih dalam batas wajar.

**Kata kunci :** ECG, Monitoring, Amplifier

---

### Abstract

Electrocardiograph (ECG) is a tool that commonly used to measure the performance of human within electrode to detect the impulse. But the problem occurs in the process of generating signal on cardiac activity, because of low amplitude and frequency. Therefore, amplification process is needed to amplified the output signal before it can be used by other subsystems such as monitoring a patient. In this final project, researcher designed an amplifier for ECG by utilizing operational amplifiers and filters as a signal amplifier of three electrodes attached to the surface of the subject's skin for the reading of its heart activity. The result of the reinforcement is used as output signal which can be post-processed into information by microcontroller. The design system is confirmed to be done quite well based on each component as it effective as needed. The error rate of the system is below 5%, which can be concluded as good cause still within reasonable limits.

**Keywords :** ECG, Monitoring, Amplifier

---

## 1. Pendahuluan

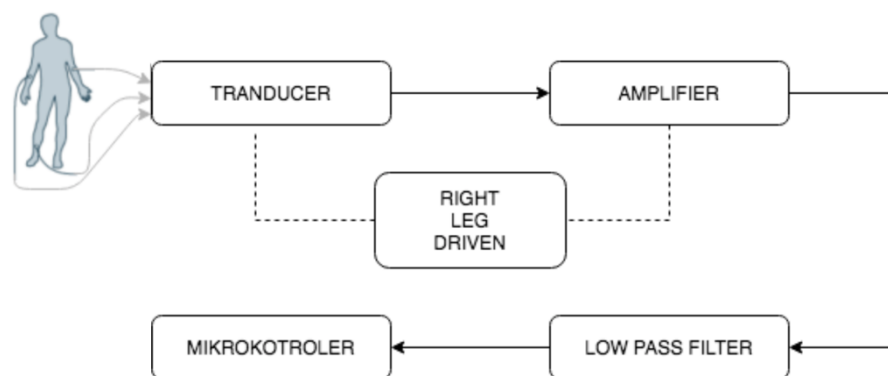
Jantung manusia memiliki aktivitas elektrik yang dihantarkan sepanjang membran sel otot jantung akibat adanya impuls listrik yang dibandingkan oleh jantung itu sendiri, dan disebut sebagai *autorhythmicity* [1]. Fakta ini dimanfaatkan dalam biomedis dengan cara merekam aktifitas tersebut oleh elektrokardiograf (ECG) dan digambarkan dalam bentuk elektrokardiogram untuk kemudian dianalisa oleh dokter. Permasalahan yang kemudian terjadi dalam proses tersebut adalah sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas jantung memiliki amplitudo dan frekuensi yang rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan proses amplifikasi sebagai penguat sinyal keluaran agar selanjutnya dapat digunakan oleh subsistem lain seperti sistem monitoring pasien. Saat ini, instrumentasi *amplifier* dalam pengolahan sinyal biomedis telah banyak diaplikasikan untuk menguatkan sinyal dengan komponen tambahan seperti MOSFET [2], mengadopsi teknologi CMOS [3], ataupun menggunakan teknik *current-balancing* dan sepasang inputan untuk menyeimbangkan arus diferensial. Dalam perkembangannya, teknik *current-balancing* juga telah mengalami improvisasi yaitu dengan menambahkan *high-pass filter* untuk menghapus *offset* sensor dari DC [4]. Perkembangan tersebut bertujuan untuk meningkatkan akurasi pengukuran dan reproduibilitas serta mengekstraksi informasi yang belum tersedia dari hasil asesmen secara visual [5].

Pada tugas akhir ini, alat yang dirancang merupakan sebuah *amplifier* untuk ECG dengan memanfaatkan *operational amplifier* dan filter sebagai penguat sinyal dari tiga buah elektroda yang ditempel ke permukaan kulit subjek untuk pembacaan aktivitas jantungnya. Hasil dari penguatan tersebut dijadikan sinyal keluaran yang selanjutnya dapat diolah menjadi informasi oleh mikrokontroler.

## 2. Rancang Bangun EKG

Elektrokardiograf (EKG) merupakan sebuah alat ukur yang menggambarkan perubahan aktifitas elektrik jantung seseorang seiring dengan persebaran potensial dalam setiap siklusnya. Pengukuran tersebut bersifat relatif dan merupakan akumulasi daripada besaran populasi sel yang membangkitkan potensial jantung saat terjadinya depolarisasi dan repolarisasi pada atrial dan ventrikular [6]. Manusia memiliki biopotensial yang tersebar di seluruh tubuh, sehingga pengambilan sinyal EKG dapat dilakukan dengan menempatkan elektroda pada permukaan kulit. Meskipun begitu, besaran gelombang yang terdeteksi dapat berbeda akibat jumlah jaringan kardio dan orientasi elektroda terhadap *dipole* jantung di setiap titik berbeda-beda. Oleh karenanya, pengambilan sinyal EKG dilakukan pada beberapa titik berbeda dan telah distandardisasi berdasarkan hasil konvensi universal, dimana pada tugas akhir ini, teknik pengambilan sinyal yang digunakan adalah bipolar.

Sistem elektrokardiogram pada tugas akhir ini secara garis besar memiliki empat fungsi yaitu : mendeteksi sinyal jantung, meningkatkan sinyal yang telah terdeteksi, mereduksi *noise* yang terdapat pada sinyal, serta mengeluarkan output berupa nilai sinyal yang sesuai dengan standar ECG sebagai inputan untuk mikrokontroler. Rancangan yang dibangun, memanfaatkan elektroda kering sebagai pendeteksi sinyal jantung. Proses deteksi sinyal jantung dilakukan dengan menempelkan tiga buah elektroda yang bertindak sebagai penangkap sinyal elektrik jantung. Seluruh sinyal yang dihasilkan oleh jantung tersebut kemudian diolah oleh *amplifier* untuk menyiasati nilai tegangan sinyal yang sangat rendah. Proses pengolahan sinyal kemudian dilanjutkan dengan filterisasi untuk mereduksi *noise* yang dimiliki oleh sinyal agar sinyal yang terdeteksi dapat menghasilkan data yang akurat. Blok diagram arsitektur sistem ini dapat digambarkan seperti Gambar 1.



**Gambar 1 Blok Diagram Arsitektur Sistem**

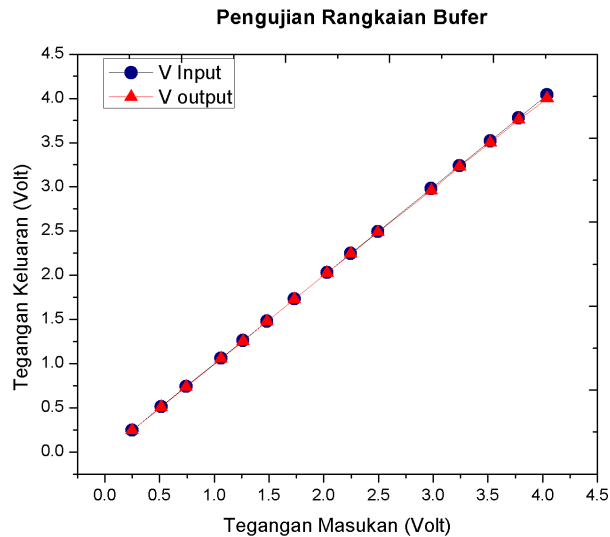
Rancang bangun yang dilakukan pada tugas akhir ini, memanfaatkan komponen-komponen sebagai berikut: elektroda kering yang berperan sebagai transduser, IC tipe OPA333 yang dimanfaatkan sebagai *buffer*, serta INA333 yang dipilih sebagai rangkaian penguat diferensial. Sistem yang dibangun juga menggunakan Arduino Uno agar hasil pengolahan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Performansi proses buffer, amplifier dan filter dari sistem yang telah dibangun dapat diilustrasikan melalui hasil pengujian seperti di bawah ini :

### a) Pengujian Buffer

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan 15 tegangan berbeda pada input rangkaian *buffer*. Selanjutnya, kedua ujung rangkaian dihubungkan dengan multimeter untuk dibaca tegangannya. Gambar 2 merupakan grafik hasil uji *buffer* pada sistem yang telah dibangun.



**Gambar 2 Hasil Uji Buffer**

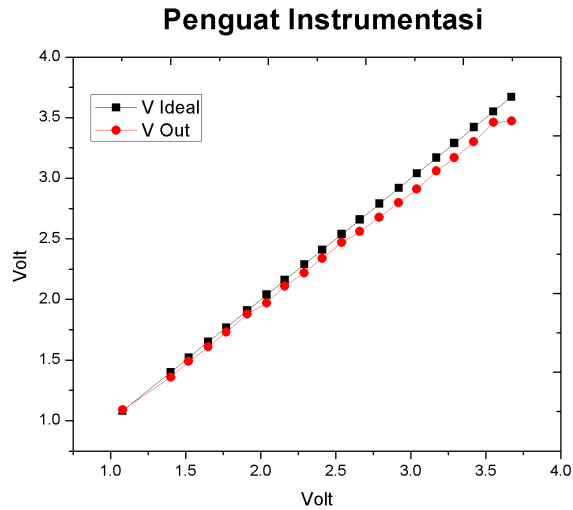
Data hasil uji buffer juga dapat dilihat pada Tabel 1, dimana dari hasil dari pengujian, didapatkan error rata-rata sebesar 0.55%. Dengan hasil tersebut, system yang dibangun dapat dianggap sesuai dengan kebutuhan sistem karena tegangan yang dihasilkan oleh tegangan *buffer* telah sama dengan tegangan masukan.

**Tabel 1 Data Hasil Uji Buffer**

Percobaan	V input (V)	V output (V)	Error (%)
1	0,247	0,243	1,62%
2	0,513	0,508	0,97%
3	0,742	0,738	0,54%
4	1,060	1,056	0,38%
5	1,260	1,253	0,56%
6	1,480	1,478	0,14%
7	1,731	1,727	0,23%
8	2,030	2,027	0,15%
9	2,246	2,241	0,22%
10	2,493	2,485	0,32%
11	2,980	2,960	0,67%
12	3,240	3,230	0,31%
13	3,520	3,500	0,57%
14	3,780	3,760	0,53%
15	4,040	4,000	0,99%
<b>Rata-Rata Error</b>			<b>0,55%</b>

#### b) Pengujian Penguat Instrumentasi

Pengujian penguat instrumentasi dilakukan untuk mengetahui performansi dari penguatan sinyal keluaran IC INA333 dengan cara membandingkan tegangan masukan dan tegangan keluaran dari IC tersebut. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali percobaan, dimana hasil pengujian tersebut diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Uji Penguat Instrumentasi

Data hasil uji tersebut juga dapat dilihat pada Tabel 2, dimana berdasarkan hasil analisis persamaan dan data tersebut didapatkan 2 kali penguatan dan error rata-rata sebesar 3%,

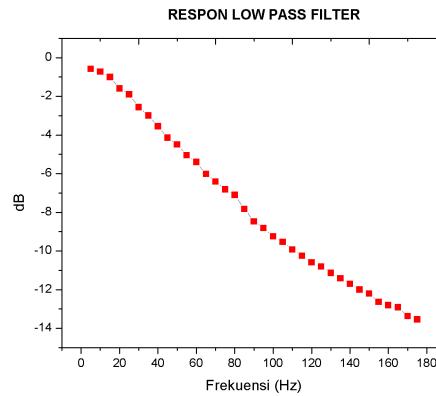
Tabel 2 Nilai Error Hasil Penguat Instrumentasi

Percobaan	Vin+ (mV)	Vin- (mV)	$\Delta V$ (mV)	V Ideal (V)	Vout (V)	Error(%)
1	39,6	2,9	36,7	3,67	3,47	5,45%
2	39,6	4,1	35,5	3,55	3,46	2,54%
3	39,6	5,4	34,2	3,42	3,3	3,51%
4	39,6	6,7	32,9	3,29	3,17	3,65%
5	39,6	7,9	31,7	3,17	3,06	3,47%
6	39,6	9,2	30,4	3,04	2,91	4,28%
7	39,6	10,4	29,2	2,92	2,8	4,11%
8	39,6	11,7	27,9	2,79	2,68	3,94%
9	39,6	13	26,6	2,66	2,56	3,76%
10	39,6	14,2	25,4	2,54	2,47	2,76%
11	39,6	15,5	24,1	2,41	2,34	2,90%
12	39,6	16,7	22,9	2,29	2,22	3,06%
13	39,6	18	21,6	2,16	2,11	2,31%
14	39,6	19,2	20,4	2,04	1,97	3,43%
15	39,6	20,5	19,1	1,91	1,88	1,57%
16	39,6	21,9	17,7	1,77	1,73	2,26%
17	39,6	23,1	16,5	1,65	1,61	2,42%
18	39,6	24,4	15,2	1,52	1,49	1,97%
19	39,6	25,6	14	1,4	1,36	2,86%
20	39,6	28,8	10,8	1,08	1,09	0,93%
<b>Rata-rata Error</b>						<b>3,06%</b>

c) Pengujian Filter

Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui sinyal keluaran dari blok rangkaian filter LPF, dengan harapan output yang dikeluarkan adalah sinyal keluaran dengan frekuensi di atas 40 Hz teredam. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan dari *function generator* pada

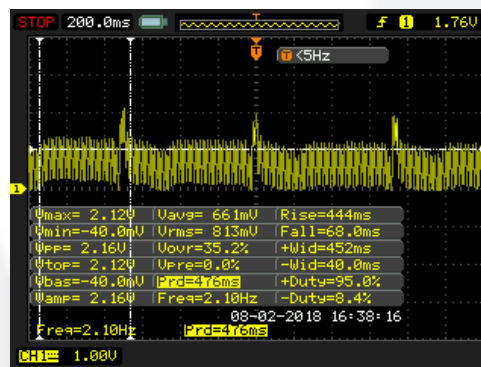
rangkaian filter dengan mengatur frekuensi dan tegangan pada 2,74 volt. Data hasil uji *lowpass* filter dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Uji Lowpass Filter

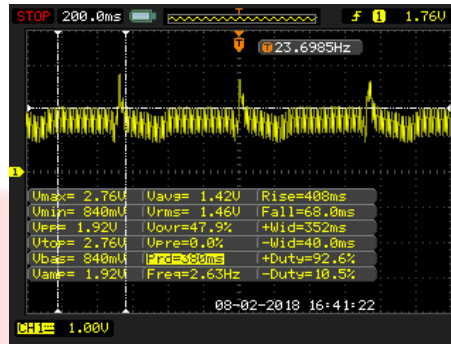
#### d) Pengujian Keseluruhan

Pada bagian ini akan diuji secara keseluruhan keluaran dari sistem yang telah dibuat, dengan harapan hasil deteksi elektroda tersebut dapat dibaca oleh osiloskop dan dapat diilustrasikan menjadi gelombang PQRS secara kontinu oleh mikrokontroler. Pada pengujian ini sinyal masukan yang dibaca berasal dari tubuh seseorang dengan pemasangan elektroda pada titik segitiga Einthoven yaitu RA, LA dan RL yang telah terhubung dengan sistem penguat instrumentasi. Hasil inputan tersebut akan mengalami penguatan sebesar 100 kali. Hasil penguatan instrumentasi tersebut diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Penguatan Instrumentasi Pada Osiloskop

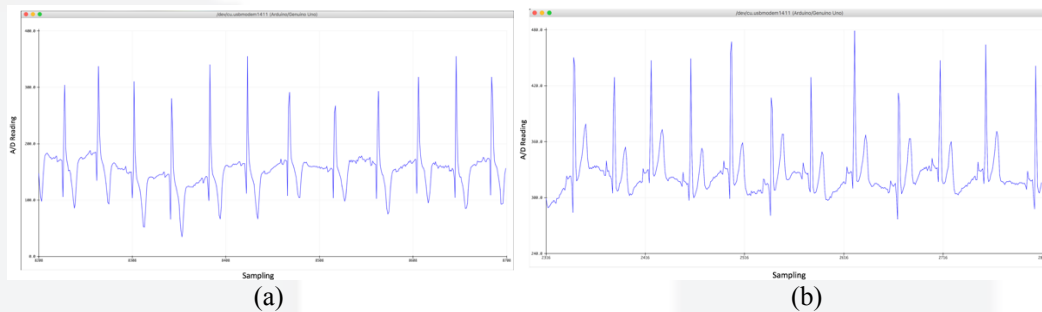
Dari hasil penguatan tersebut, terlihat perbedaan yang cukup mencolok, yakni pada osiloskop, masih terlihat *noise* dalam ilustrasi detak jantungnya. Sementara pada pembacaan mikrokontroler, gelombang PQRS tersebut sudah terlihat bentuknya. Sinyal keluaran tersebut kemudian difilterisasi pada proses selanjutnya, sehingga keluarannya seperti Gambar 6.



**Gambar 6 Hasil Filterisasi Pada Osiloskop dengan Aktifitas Normal**

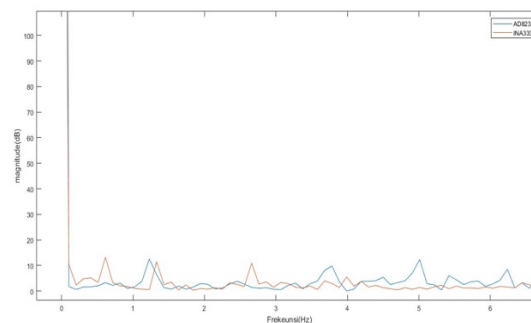
Pada Gambar 6, hasil filterisasi menunjukkan bahwa gelombang PQRS yang diilustrasikan di osiloskop sudah terbentuk, dan *noise* juga telah teredam oleh rangkaian filter. Dari Gambar 6 tersebut juga bpm yang terbaca dapat diinterpretasikan, dimana pada aktivitas normal, detak jantung *sample* yang diambil adalah 78 bpm.

Selanjutnya, pada tugas akhir ini sistem amplifier yang sudah dibuat juga dibandingkan dengan sistem amplifier AD8232, yaitu sebuah antarmuka terintegrasi yang telah disesuaikan dengan kebutuhan ECG yang dapat digunakan untuk umum. Gambar 7 merupakan ilustrasi respon frekuensi antara system yang dibangun dengan system amplifier AD8232, dimana dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan output pada kedua system. Gelombang S - T pada sistem AD8232 dapat terilustrasikan dengan baik, sementara pada sistem yang dibangun, gelombang S - T tidak terdefinisi dengan semestinya.



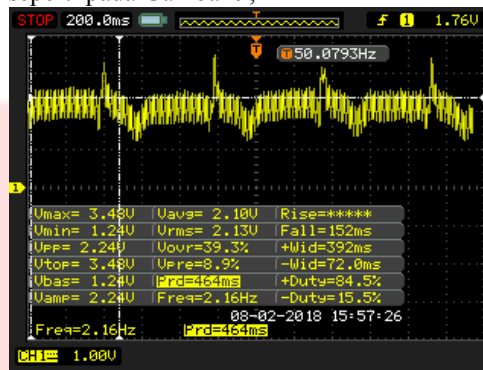
**Gambar 7 Hasil Respon Frekuensi Pada (a) Sistem yang dibangun (b) Sistem AD8232**

Hasil perbandingan juga menunjukkan bahwa respon frekuensi pada kedua sistem memiliki nilai penguatan yang berbeda . Hal ini terlihat dari Gambar 8 yang menunjukkan hasil pengambilan data raw dari sinyal keluaran kedua sistem tersebut, dimana penguatan pada sistem yang dibangun memiliki nilai yang lebih dominan pada rentang frekuensi 0 Hz sampai 1 Hz.



**Gambar 8 Hasil Perbandingan Respon Frekuensi Sistem Amplifier yang dibangun dengan AD8232**

Kemudian, untuk melihat hasil pembacaan yang lebih bervariasi, penelitian ini juga menguji proses pembacaan jantung kepada seseorang yang melakukan aktifitas lari selama 15 menit, dimana hasilnya dapat digambarkan seperti pada Gambar 9;



**Gambar 9 Hasil Filterisasi Pada Osiloskop Pada Proses Pembacaan dengan Aktifitas Lari**

Gambar 9 merupakan ilustrasi pembacaan gelombang PQRS dengan waktu *sampling* 200 ms. Pada hasil pembacaan tersebut, terlihat bahwa jarak antar titik R saling berdekatan. Hal ini diakibatkan oleh aktifitas jantung yang meningkat setelah melakukan aktifitas lari selama 15 menit. Detak jantung *sample* juga mengalami perubahan, dimana dari gambar tersebut dapat diinterpretasikan detak jantung *sample* adalah 107 bpm

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari rancang bangun penguat amplifier dengan memanfaatkan IC INA333 dan OPA333 ini, sistem dapat berjalan dengan cukup baik apabila dilihat dari fungsionalitas setiap komponennya karena dapat berjalan sesuai kebutuhan. Maka, sesuai dengan tujuan daripada tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut;

1. Sistem penguat ECG yang dibangun dapat menguatkan sinyal dari elektroda yang dipasang pada tubuh seseorang dan dapat dibaca oleh mikrokontroler
2. Rangkaian filter yang digunakan pada sistem penguat ECG dapat mereduksi noise.

#### Daftar Pustaka

- [1] Irawati, Lilis. 2015. *Aktifitas Listrik Pada Otot Jantung*. Jurnal Kesehatan Andalas Vol. 4 No. 2 pg. 596-599 [Online] URL : <http://jurnal.fk.unand.ac.id/index.php/jka/article/view/306/288>
- [2] Zare, Maryam. Maymandi-Nejad, Mohammad. 2013. *A Low-noise Low-power MOSFET only Electrocardiogram Amplifier*. University of Mashhad : Journal of Electrical Systems and Signals, Vol.1, No.2, Pg. 17-22.
- [3] Verma, K.K, Shukla, S.N., Jaiswal, Sanjay Kumar, Verma, Kumkum. 2016. *Design and Analysis of Low Power CMOS ECG Amplifier*. IEEE : International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronics, and Sustainable Energy Systems (ICETEESES-16). Pg. 334-336
- [4] Ghamati, Maryam. Maymadi-Nejad, Mohammad. 2013. *A Low-noise Low-power MOSFET only Electrocardiogram Amplifier*. Journal of Electrical Sistems and Signals Vol. 1 No. 2 pg. 17-22
- [5] Sornmo, Leif. Laguna, Pablo. 2006. *Electrocardiogram (ECG) Signal Processing*. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering : John Wiley & Sons, Inc. [Online] URL : <http://dicc.unizar.es/intranet/articulos/uploads/libroWiley.pdf>
- [6] Dupre, Anthony. Vincent, Sarah. A. Iaizzo, Paul. *Part III : Physiology and Assessment Chapter 15 : Basic ECG Theory, Recordings, and Interpretation*. Pg 191-201



Basya, M. Kamal. 2010. *Desain dan Implementasi EKG 12 Lead*. Tugas Akhir S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom, Bandung.

