

Rancang Bangun Kalibrator Elektrokardiogram

Design and construct of Electrocardiogram Calibrator

Willa Olivia¹ dan Arfian Ahmad²

¹Biomedical Engineering, RS Primer-Jatinegara, Jakarta.

²Dosen Prodi Teknik Elektro, FTI-ISTN Jakarta.

Abstrak-

Elektrokardiogram (EKG) adalah alat diagnostik yang dapat merekam aktivitas kelistrikan jantung. Tidak presisinya peralatan EKG akan menyebabkan hasil perekaman aktivitas kelistrikan jantung yang tidak akurat. Akibatnya akan terjadi kesalahan dalam membaca hasil yang akan berakibat kesalahan dalam menentukan diagnosa penyakit. Untuk itu, secara berkala peralatan EKG harus dikalibrasi agar keakurasian pembacaannya terjamin. Oleh sebab itu dirancang-bangun suatu alat untuk kalibrasi EKG yang lebih umum disebut Kalibrator EKG. Dari hasil rancang-bangun tersebut dihasilkan kalibrator EKG dengan tingkat kesalahan yang kecil, yaitu sebesar 0,25% dan tingkat keakurasian yang tinggi yaitu sebesar 99,75%. Dengan demikian kalibrator EKG yang dirancang-bangun ini bisa digunakan sebagai Kalibrator Elektrokardiogram.

Kata Kunci: *Elektrokardiograf (ECG), Kalibrator Elektrokardiograf, Jantung, Mikrokontroler AT8951.*

Abstract

Electrocardiogram (ECG) is diagnostic tool which record heart electrical impulse. Inaccuracy of ECG will result to false record and lead to misdiagnosis. Therefore, ECG tool need to be regularly calibrated for getting the best diagnosis. ECG Calibrator as a device to calibrate the ECG. This study of ECG Calibrator showed minimum error rate and accuracy level up to 99,75%.

Keywords : *Electrocardiograph (ECG), Electrocardiograph Calibrator, Heart, Microcontroller AT8951.*

1. Pendahuluan

Jantung (bahasa latin: *cor*) adalah organ muskular yang berperan dalam sistem peredaran darah yang terletak di dalam rongga dada (dibalik tulang dada). Jantung memiliki beberapa ruang, seperti atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, ventrikel kiri.

Elektrokardiogram (EKG) adalah alat diagnostik yang dapat merekam aktivitas kelistrikan jantung. Dengan melakukan analisa dari bentuk gelombang yang dihasilkan dari rekaman aktivitas kelistrikan jantung maka dapat diketahui hal-hal sebagai berikut:

- Mengetahui kelainan irama pada jantung,
- Mengetahui efek obat terhadap jantung,
- Mengetahui kelainan otot jantung,
- Memperkirakan pembesaran pada jantung
- Menilai fungsi pacu jantung.

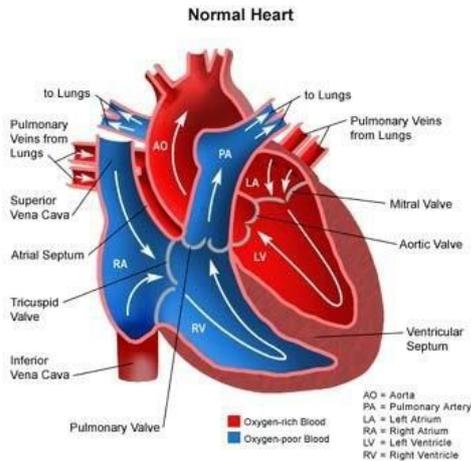
Oleh karena itu setiap perekaman yang dilakukan dengan EKG, EKG harus mempunyai kepresisian yang tinggi, karena apabila terjadi kesalahan dalam hasil diagnostik, berakibat kesalahan dalam

membaca hasil yang juga akan berakibat kesalahan dalam menentukan diagnosa penyakit. Dengan demikian, untuk menjaga kepresisian dari alat EKG dalam membaca aktivitas kelistrikan jantung, maka secara periodik alat EKG harus dikalibrasi dengan alat pengkalibrasi (kalibrator).

Dalam hal ini, kalibrator EKG sebagai alat pengkalibrasi EKG harus mempunyai luaran yang sama dengan yang dihasilkan oleh luaran aktivitas kelistrikan jantung. Untuk itu, dalam merancang kalibrator EKG harus memahami tentang kelistrikan jantung dan/atau kelistrikan tubuh manusia serta cara penyadapannya.

2. Jantung

Pada saat berdenyut setiap ruang jantung mengendur dan terisi darah (diastol). Selanjutnya jantung berkontraksi dan memompa darah keluar ruang jantung (sistol).



Gbr.1 .Anatomi Jantung Manusia

Kedua atrium mengendur dan berkontraksi secara bersamaan, dan kedua ventrikel juga mengendur dan berkontraksi secara bersamaan. Darah yang kehabisan oksigen dan mengandung banyak karbondioksida (darah kotor) dari seluruh tubuh mengalir melalui dua vena terbesar (vena kava) menuju ke dalam atrium kanan. Setelah atrium kanan terisi darah, ia akan mendorong darah ke dalam ventrikel kanan melalui katup trikuspidalis. Darah dari ventrikel kanan akan dipompa melalui katup pulmoner ke dalam arteri pulmonalis menuju ke paru-paru.

Darah akan mengalir melalui pembuluh darah kecil (pembuluh kapiler) yang mengelilingi kantong udara di paru-paru, menyerap oksigen, melepaskan karbondioksida dan selanjutnya dialirkan kembali ke jantung. Darah yang kaya akan oksigen mengalir di dalam vena pulmonalis menuju ke atrium kiri. Peredaran darah di antara bagian kanan jantung, paru-paru dan atrium kiri disebut sirkulasi pulmoner karena darah dialirkan ke paru-paru. Darah dalam atrium kiri akan didorong menuju ventrikel kiri melalui katup bikuspidalis/mitral, yang selanjutnya akan memompa darah bersih ini melewati katup aorta masuk ke dalam aorta (pembuluh darah besar).

2.1. Sistem Konduksi Jantung

Konduktor adalah bagian yang memiliki sifat penghantar listrik dan merupakan jalur listrik jantung mengalir. Dalam EKG perlu diketahui tentang sistem konduksi yang terdiri atas:

a. SA Node (Sino-Atriale Node):
Terletak di batas atrium kanan (RA) dan vena cava superior (VCS). Sel-sel dalam SA node ini secara otomatis dan teratur mengeluarkan impuls (rangsangan listrik) dengan frekuensi 60-100 kali permenit. Kemudian menjalar ke atrium, sehingga menyebabkan seluruh atrium

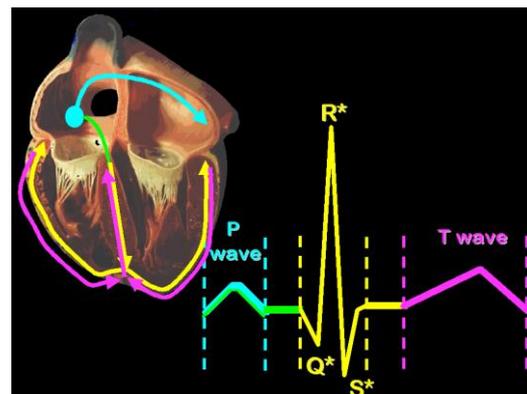
terangsang. Iramanya adalah sinus (sinus rhythm).

b. Jalur internodus (traktus internodus)
Jalur listrik antara nodus sinoatrial dan nodus arterio ventrikuler.

c. AV Node (Atrio-ventricular node):
Terletak di septum internodal bagian sebelah kanan, di atas katup tricuspid. Sel-sel dalam AV Node mengeluarkan impuls dengan frekuensi 40-60 kali permenit. Oleh karena AV Node mengeluarkan impuls lebih rendah, maka dikuasai oleh SA Node yang mempunyai impuls lebih tinggi. Kalau SA Node rusak, maka impuls akan dikeluarkan oleh AV Node. Iramanya disebut junctional rhythm/ nodal rhythm.

d. Berkas HIS (HIS Bundle):
Terletak di dalam interventrikular dan bercabang 2 yaitu Cabang berkas kiri dan Cabang berkas kanan. Setelah melewati kedua cabang ini, impuls akan diteruskan lagi ke cabang-cabang yang lebih kecil yaitu serabut purkinje.

e. Serat/serabut Purkinje:
Serabut purkinje ini akan mengadakan kontak dengan sel-sel ventrikel. Dari sel-sel ventrikel impuls dialirkan ke sel-sel yang terdekat sehingga seluruh sel akan terangsang. Di ventrikel juga tersebar sel-sel pacemaker yang secara otomatis mengeluarkan impuls dengan frekuensi 20-40 kali permenit. Iramanya idioventricular rhythm. Oleh karena frekuensinya lebih rendah dari AV Node, maka dalam keadaan normal sel-sel ventrikel tidak mengeluarkan impuls.



Gbr. 2. Sistem konduksi jantung

Kontraksi otot disebabkan oleh perubahan listrik yang disebut depolar, dimana perubahan ini dapat dideteksi dengan memasang suatu elektroda pada permukaan tubuh pasien. Walaupun jantung memiliki empat ruang, namun dilihat dari segi kelistrikan dapat dianggap memiliki dua ruang saja

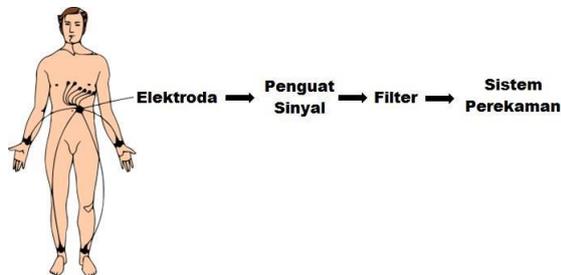
yaitu atrium (kanan dan kiri) dan ventrikel (kanan dan kiri) yang berkontraksi bersamaan.

Karena otot atrium relatif tipis, sehingga perubahan listrik yang muncul akibat kontraksinya juga kecil. Kontraksi atrium menimbulkan gelombang P. Otot ventrikel lebih tebal, maka defleksi gelombang elektrokardiogramnya juga besar yang disebut QRS. Sedangkan gelombang T muncul akibat kembalinya otot ventrikel ke keadaan listrik istirahat (repolarisasi).

2.2. Sistem perekaman pada EKG

EKG akan merekam sinyal listrik dimana perekaman ini akan menghasilkan visual dari gambar EKG yang permanen. Adapun proses perekaman dapat ditunjukkan oleh Gbr. 3.

Langkah pertama perekaman EKG adalah menempatkan pasien dengan posisi tidur yang nyaman, menjauhkan benda berbahan logam dari pasien supaya hasil pembacaan grafik EKG tidak artefak (tidak adanya harmonic pada gelombang) yang disebabkan oleh interferensi logam. Kemudian meletakkan elektroda dipergelangan tangan kanan, tangan kiri, kaki kanan, kaki kiri, sisi kanan sternum iga keempat, sisi kiri sternum iga keempat, midklavikular kiri iga keempat, midklavikular kiri iga kelima, aksilaris anterior kiri iga kelima dan midaksilaris kiri iga kelima.



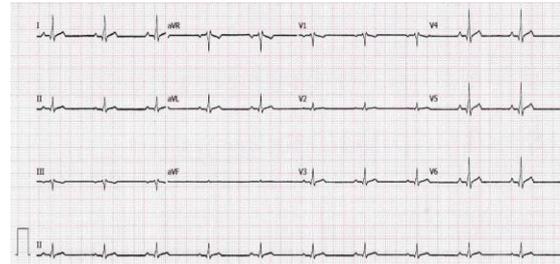
Gbr. 3. Dasar Perekaman EKG

Elektroda-elektroda tersebut menangkap sinyal biopotensial dari tubuh. Selanjutnya sinyal biopotensial akan dikonversi kedalam nilai elektrik untuk diteruskan kesistem perekaman. Sinyal biopotensial yang dihasilkan tubuh sangat kecil. Oleh karena itu sinyal biopotensial dikuatkan dengan pre-amplifier dan amplifier kemudian difilter supaya tidak ada sinyal noise pada sistem perekaman yang akan menghasilkan bentuk grafik dari nilai tersebut.

3. Gelombang EKG

Gelombang EKG yang digunakan pada saat ini menggunakan teori dari Einthoven dan Frank

Wilson. Untuk dapat membaca rekaman gelombang EKG, perlu memahami 12 sistem sadapan.



Gbr. 4. Hasil Perekaman EKG

Adapun penempatan elektroda ini merupakan sadapan ekstremitas yang terdiri dari:

- a. Tiga sadapan standar (bipolar)
- b. Tiga sadapan tambahan (unipolar)
- c. Enam sadapan prekordial

Setiap sadapan memiliki gambaran yang spesifik tentang jantung atau sudut orientasi yang spesifik. Sudut pada setiap sadapan dapat ditentukan dengan menarik sebuah garis lurus dari elektroda negatif ke elektroda positif.

3.1. Sadapan Bipolar

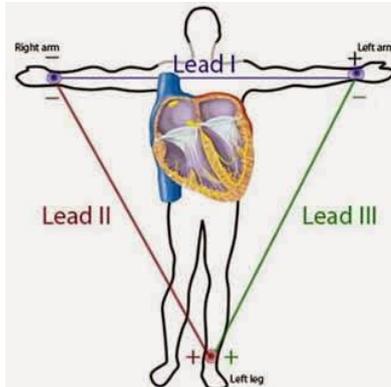
Pada tahun 1903 Einthoven (seorang ahli ilmu faal Belanda) berasumsi bahwa :

- a. Sumber bioelektrik jantung (setiap membran sel yang berpolarisasi) ekuivalen dengan sebuah *single current dipole*. Arus listrik ini merambat dengan arah dari daerah depolarisasi ke daerah polarisasi, sehingga membentuk sebuah vektor yang dapat diukur beda potensialnya.
- b. Tiga ekstremitas akan membentuk puncak sebuah segitiga sama sisi, dimana sumber bioelektrik jantung berada di tengah-tengah.
- c. Semua jaringan dan cairan tubuh dianggap dapat menyalurkan potensial elektrik.

Dengan asumsi ini, Einthoven menggunakan tiga pasang elektroda bipolar (satu positif dan satu negatif) yang ditempatkan pada pergelangan tangan dan pergelangan kaki, sehingga terbentuklah segi tiga sadapan ekstremitas bipolar untuk mencatat perbedaan potensial arus bioelektrik jantung. Orientasi polaritas dari sumbu sumbu sadapan ekstremitas bipolar adalah sebagai berikut:

- a. Sadapan I : Berasal dari elektroda lengan kanan (RA negatif) ke elektroda lengan kiri (LA positif).

- b. Sadapan II : Berasal dari elektroda sebelah kanan (RA negatif) ke elektroda kaki kiri (LL positif).
- c. Sadapan III : Berasal dari elektroda tangan kiri (LA negatif) ke elektroda kaki kiri (LL positif).



Gbr.5. Segitiga Einthoven

Hubungan dari ketiga sadapan ekstremitas bipolar dari Einthoven secara sistematis dapat dituliskan dalam satu persamaan, yaitu:

$$\text{Sadapan I} \quad S I = LA - RA \quad (1)$$

$$\text{Sadapan II} \quad S II = LL - RA \quad (2)$$

$$\text{Sadapan III} \quad S III = LL - LA \quad (3)$$

Dengan posisi demikian, maka sadapan II mencatat perbedaan potensial bioelektrik jantung yang paling besar, karena pasangan elektroda ini memiliki sumbu yang sejajar dengan vektor jantung dimana vektor jantung mengarah ke elektroda yang positif. Sadapan I dan III letaknya tidak sejajar tetapi tidak juga tegak lurus terhadap vektor jantung, maka sadapan tersebut mencatat perbedaan potensial yang kurang dari maksimum.

Berdasarkan Hukum Kirchhoff tegangan, jumlah aljabar perbedaan potensial dari suatu lingkaran tertutup sama dengan 0. Apabila hukum ini diterapkan pada persamaan Einthoven, maka:

$$S I - S II + S III = 0 \quad (4)$$

Karena sadapan II dipasang kebalikan dari sadapan I dan sadapan III, sehingga persamaan ini dapat ditulis:

$$S II = S I + S III \quad (5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke persamaan (1) menghasilkan

$$S III + S I = LL - RA \quad (6)$$

Ruas kanan pada (6) menunjukkan persamaan (2) sehingga,

$$S I + S III = LL - RA = S II \quad (7)$$

Persamaan (7) menyatakan bahwa satu periode amplitudo tegangan EKG pada sadapan II sama dengan jumlah amplitudo tegangan EKG pada sadapan I dan III.

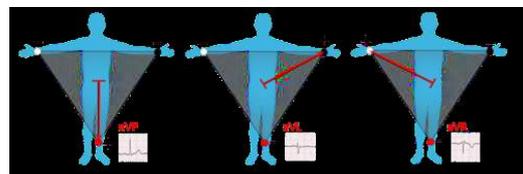
3.2. Sadapan Unipolar2

Pada tahun 1932, Frank Wilson menciptakan sadapan ekstremitas unipolar yang meletakkan tiga elektroda positif sama seperti metode Einthoven. Sadapan unipolar dibentuk dari pasangan elektroda positif dan pasangan elektroda negatif yang terdiri dari dua sambungan elektroda positif lainnya. Elektroda negatif ini digabung menjadi satu agar tegangan mereka masing-masing saling meniadakan (Zero Potensial) dan dinamakan terminal sentral.

Letak terminal sentral (karena memiliki zero potensial) dalam hubungannya dengan ujung jantung dapat diasumsikan sebagai pusat sistem triaksial Einthoven.

Sadapan Unipolar merekam perbedaan potensial dari dua elektroda yang ditandai dengan:

- a. Lead aVL : merekam potensial listrik pada tangan kiri (LA) yang bermuatan positif (+) dan muatan negatif (-) gabungan tangan kanan (RA) dan kaki kiri (LL).
- b. Lead aVF dihasilkan dari perbedaan antara muatan LL yang dibuat bermuatan (+) dengan RA dan LA.
- c. Lead aVR dihasilkan dari perbedaan antara muatan RA yang dibuat bermuatan (+) dengan LA dan LL.



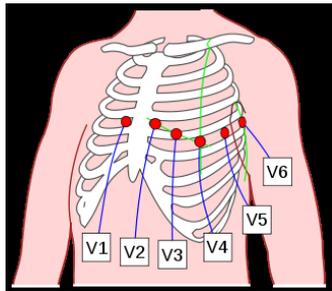
Gbr. 6. Sadapan Unipolar

3.3. Sadapan Prekordial3

Sadapan Prekordial merupakan elektroda positif yang diletakkan horizontal pada dada dan punggung mengelilingi jantung. Sedangkan negatifnya dihubungkan ke terminal sentral. Enam tempat yang umum dipakai untuk sadapan prekordial adalah:

- a. V1 : pada sisi kanan sternum disela iga keempat
- b. V2 : pada sisi kiri sternum iga keempat
- c. V3 : antara V2 dan V4
- d. V4 : pada garis midklavikular kiri di sela iga kelima
- e. V5 : pada garis aksilaris anterior kiri setinggi V4
- f. V6 : pada garis midaksilaris setinggi V4

Sadapan Dada V1 & V2 merekam ventrikel kanan dan septum interventrikular. Sadapan Dada V3 & V4 merekam dinding anterior jantung. Sadapan Dada V5 & V6 merekam dinding lateral jantung.



Gbr. 7. Posisi penempatan elektroda pada dada.

Mode pemilihan gelombang yang digunakan pada kalibrator EKG ini adalah ;

- a. 30BPM (Bradikardia)
- b. 60BPM (Normal)
- c. 120BPM (Takikardia)
- d. Fibrilasi Atrium
- e. Takikardi Ventrikel
- f. Infark Miokard

4. Kalibrasi EKG

Kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (traceable) ke standar nasional maupun internasional. Definisi kalibrasi Menurut ISO/IEC Guide 17025:2005 dan Vocabulary of International Metrology (VIM) adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dengan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Hasil pengukuran yang tidak konsisten atau diluar ambang batas dapat berpengaruh pada hasil diagnostik kesehatan. EKG Kalibrator adalah alat yang dapat menghasilkan pulsa jantung serta bisa diatur sesuai kebutuhan pengujian. Hasil rekaman pulsa jantung yang direkam kemudian discan dan diperbesar, serta dicetak pada kertas millimeter. Dengan mengambil

sampling rate dari gambar tersebut, maka dibuat 96 data digitasi EKG. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana membuat data EKG dikonversi menjadi signal EKG analog dengan nilai BPM yang berbeda beda.

Data digitasi ini digunakan untuk menentukan waktu delay pada masing masing pemilihan BPM dengan persamaan sebagai berikut;

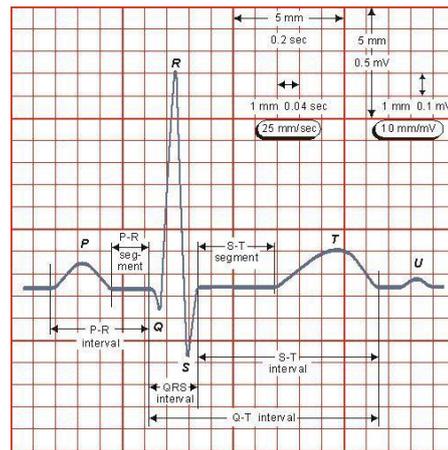
$$BPM=60 \times f \tag{8}$$

, maka $f=BPM/60$ (9)

Karena $T=1/f$ (10)

, sehingga $Delay=T/96data$ (11)

Waktu delay ini dibutuhkan untuk mengeluarkan setiap data digitasi EKG. Data digitasi ini disimpan pada mikrokontroler dalam bentuk biner. Luaran yang diharapkan adalah sinyal analog, oleh karena itu dibutuhkan rangkaian DAC untuk mengubah sinyal digital menjadi analog.



Gbr. 8. Grafik EKG pada kertas mm.

Hasil gelombang EKG digambarkan pada kertas grafik mm seperti pada Gbr. 8, dimana kotak kecil mempunyai ukuran 1mm×1mm dan kotak besar mempunyai ukuran 5mm×5mm. Dalam EKG ada dua variabel yang digunakan yaitu waktu dan tegangan. Variabel waktu dinyatakan dalam arah mendatar, dan variabel tegangan dalam arah tegak. Skala untuk variabel waktu adalah 0,04s/mm atau 25mm/s. Skala untuk tegangan adalah 0,1mV/mm atau 10mm/mV.

Heart Rate adalah besaran yang menyatakan kecepatan denyut jantung, yang dinyatakan dalam jumlah denyut per menit (beat per menit – bpm). Heart rate dapat diperoleh dari EKG dengan menghitung jumlah gelombang R selama satu menit. Untuk mengetahui jumlah BPM yang

terbaca pada hasil perekaman EKG dapat dihitung dengan cara

$$BPM = 300 / \text{jumlah kotak besar} \quad (12)$$

, atau

$$BPM = 1500 / \text{jumlah kotak kecil} \quad (13)$$

5. Teori Pendukung

5.1. Mikrokontroler

Mikrokontroler tipe AT89S51 merupakan mikrokontroler keluarga MCS-51 dengan konfigurasi yang sama persis dengan AT89C51 yang dilengkapi dengan ISP (In-System Programmable Flash Memori). Fitur ini memungkinkan mikrokontroler dapat diprogram langsung dalam suatu sistem elektronik tanpa melalui Programmer Board atau Downloader Board. Mikrokontroler dapat diprogram langsung melalui kabel ISP yang dihubungkan dengan paralel port pada suatu Personal Computer.

5.2. LCD

LCD merupakan sebuah display dot matriks yang berfungsi untuk menampilkan tulisan berupa huruf atau angka yang diinginkan sesuai dengan program yang ditentukan. Pada kalibrator elektrokardiogram, LCD sebagai display dengan mempunyai lebar display 2 baris 16 kolom atau biasa disebut LCD Character 2x16, dengan 16 pin konektor. Penggunaan LCD pada kalibrator elektrokardiogram bertujuan untuk menampilkan pemilihan BPM.

5.3. DAC

DAC adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah data digital menjadi data analog. IC DAC terhubung ke Port 2.0 sampai Port 2.7 pada mikrokontroler. DAC Seri 0800 merupakan monolitik 8 bit yang mampu menghasilkan luaran dengan kecepatan tinggi. Rangkaian DAC ini dikenal sebagai DAC *binary-weighted*, yaitu sebuah variasi dari rangkaian op-amp pembalik dimana tegangan luaran merupakan kebalikan dari tegangan masukan. Untuk menentukan I_{ref} dapat digunakan persamaan

$$I_{ref} \cong V_{ref} / R \quad (14)$$

Untuk menentukan nilai tegangan luaran maksimal, dapat digunakan persamaan

$$V_0 = R_4 \times I_{ref} (A_1/2 + A_2/4 + A_3/8 + A_4/16 + A_5/32 + A_6/64 + A_7/128 + A_8/256) \quad (15)$$

, dimana $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ dan A_8 menyatakan nilai digit dari luaran DAC yang terdiri dari 8 digit.

5.4. Inverting

Rangkaian inverting merupakan penguat operasional sebagai penguat sinyal dengan karakteristik sinyal luaran memiliki fase yang terbalik dengan fase sinyal masukan. Pada dasarnya penguat operasional (Op-Amp) memiliki faktor penguat yang sangat tinggi (100.000 kali) pada kondisi tanpa rangkaian umpan balik.

Untuk menentukan nilai hambatan pada Op-Amp, maka digunakan persamaan berikut:

$$R_{ref} = V_{ref} / I_{ref} \quad (16)$$

5.5. Software

Pada alat kalibrator elektrokardiogram, mikrokontroler yang digunakan adalah AT89S51 dengan perangkat lunak menggunakan bahasa assembly. Bahasa assembly adalah sebuah program terdiri dari intruksi-intruksi yang menggantikan kode-kode biner dari bahasa mesin dengan mnemonik yang mudah diingat. Bahasa assembly memiliki beberapa kelebihan, seperti ukuran memori yang lebih kecil, lebih efisien (hemat memori) dan lebih cepat dieksekusi.

6. Rancang Bangun Kalibrator EKG

Kalibrator EKG dibuat sebagai alat pendukung dalam pelaksanaan kalibrasi mesin EKG. Modul ini terdiri dari beberapa rangkaian seperti rangkaian catu daya, rangkaian DAC, rangkaian display, rangkaian mikrokontroler dan rangkaian attenuator. Prinsip kerja alat ini adalah bagaimana menghasilkan simulasi sinyal/pulsa jantung yang dapat diatur sesuai kebutuhan pengujian. Dalam hal ini, Kalibrator EKG memiliki beberapa pemilihan yaitu 30BPM, 60BPM, 120BPM, Fibrilasi Atrium, Takikardi Ventrikel dan Infark Miokard.

Adapun diagram blok dari rangkaian kalibrator EKG diperlihatkan pada Gbr. 9, sedangkan rangkaian lengkapnya ditunjukkan oleh Gbr. 10.

Rangkaian mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali seluruh sistem dari rangkaian, dimana mikrokontroler yang digunakan adalah AT89S51.

VCC pada mikrokontroler mendapatkan catu daya sebesar 5V dan ground mikrokontroler yang terhubung ke tubuh alat. Port 0 terhubung ke LCD, Port 2 terhubung ke DAC, Port 3.0 dan Port 3.1 terhubung ke tombol pemilihan, Port 3.6 terhubung ke LED indikator.

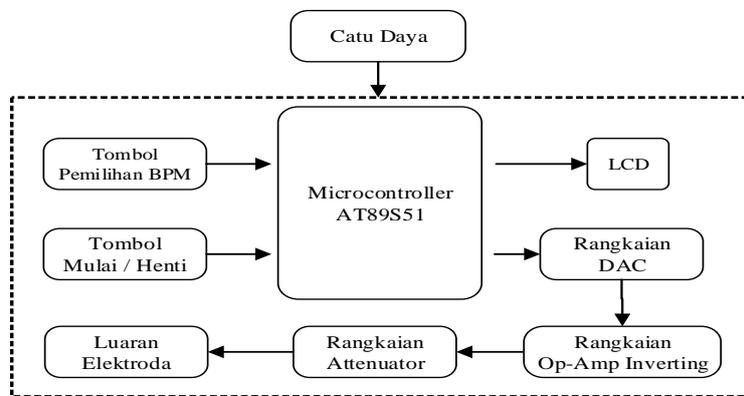
Ketika mikrokontroler mendapat suplai tegangan sebesar 5V, maka LCD mendapatkan perintah dari

mikrokontroler untuk melakukan tampilan awal. Pada LCD akan muncul tampilan untuk pemilihan BPM dimana dapat dipilih sesuai kebutuhan. Sebagaimana sudah dijelaskan di atas bahwa data digitasi kalibrator EKG untuk sebuah signal diambil sebanyak 96 data. Perbedaan BPM menunjukkan perbedaan waktu tunda ketika mengeluarkan setiap data EKG. Data digitasi (hexa) ini disimpan pada mikrokontroler dalam bentuk biner. Untuk menentukan waktu tunda setiap pemilihan BPM dapat digunakan persamaan (9) sampai (11). Dengan program yang sudah ada dalam mikrokontroler, maka mikrokontroler mengeluarkan data digital sesuai dengan pilihan BPM yang dibutuhkan untuk menghasilkan grafik elektrokardiogram. Data

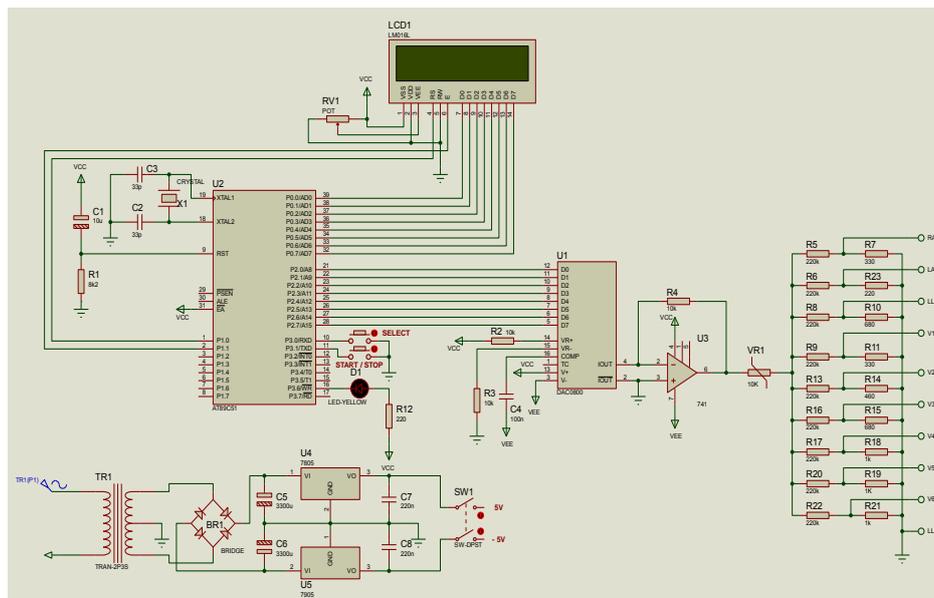
luaran digital dari mikrokontroler tersebut dimasukan ke IC DAC untuk dikonversi menjadi luaran analog. Luaran pada DAC masih dalam bentuk arus, oleh karena itu dibutuhkan rangkaian Op-Amp inverting untuk mengubahnya menjadi tegangan. Luaran Op-Amp dalam bentuk tegangan masuk kerangkaian attenuator untuk diturunkan menjadi tegangan setiap elektroda sadapan dari EKG.

7. Perangkat Lunak

Dalam perancangan alat kalibrator EKG, selain diperlukan perancangan perangkat keras diperlukan juga perancangan perangkat lunak (software) untuk menunjang bekerjanya alat.



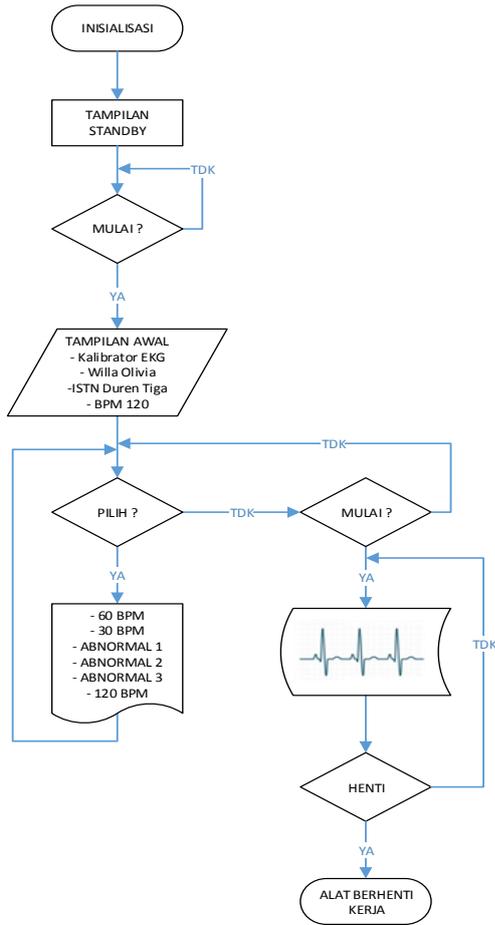
Gbr. 9. Diagram blok rangkaian kalibrator EKG



Gbr. 10. Rangkaian lengkap kalibrator EKG

Tabel 1. Kombinasi sadapan Elektrokardiogram

	SI	SII	SIII	AVR	AVL	AVF	V1	V2	V3	V4	V5	V6
RA	√	√		√	√	√						
LA	√		√	√	√	√						
RL												
LL		√	√	√	√	√						
V1							√					
V2								√				
V3									√			
V4										√		
V5											√	
V6												√



Gbr. 11. Diagram Alir Kalibrator EKG

Adapun dalam pembuatan program ini didasarkan pada diagram alir yang ditunjukkan oleh Gbr. 11. Berikut ini adalah penjelasan tentang Diagram Alir Kalibrator EKG. Saat menyalakan alat akan muncul tampilan awal, kemudian tekan mulai untuk masuk ke menu pemilihan BPM, tulisan yang muncul pada display adalah 120BPM. Jika yang dipilih 120BPM langsung tekan ‘mulai’, tetapi bila ingin memilih jenis BPM lainnya tekan pemilihan BPM kemudian display akan menampilkan pilihan BPM lainnya yaitu 60BPM,

30BPM, abnormal 1, abnormal 2 dan abnormal 3. Setelah salah satu BPM dipilih tekan ‘mulai’. Kemudian alat akan mulai bekerja dan indikator LED akan berkedip sesuai kecepatan BPM yang dipilih. Kalibrator akan terus bekerja mengeluarkan pulsa EKG. Jika ingin menghentikan alat, tekan tombol henti dan alat langsung berhenti mengeluarkan pulsa EKG kemudian display menunjukkan tampilan BPM yang terakhir dipilih.

8. Analisa Data

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat EKG, kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan pengukuran dengan Kalibrator EKG terhadap Phantom EKG (Pabrik). Dari perbandingan terhadap hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan, ternyata untuk 30 BPM didapat hasil sebagai berikut:

- Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap EKG sebesar 0,23%.
- Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap Phantom sebesar 0,46%.

Selanjutnya, perbandingan terhadap hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan untuk 60 BPM didapat hasil sebagai berikut:

- Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap EKG sebesar 0,22%.
- Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap Phantom sebesar 0,22%.

Terakhir, perbandingan terhadap hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan untuk 120 BPM didapat hasil sebagai berikut:

- Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap EKG sebesar 0,00%.

-Penyimpangan atau tingkat kesalahan perbandingan antara kalibrator EKG terhadap Phantom sebesar 0,058%.

Adapun hasil keseluruhan perbandingan terhadap hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan untuk ketiga; 30 BPM, 60 BPM dan 120 BPM ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Persentase Kesalahan

No.	Pemilihan BPM	Kalibrator EKG	Phantom EKG (pabrik)
1.	30 BPM	0.23%	0.46%
2.	60 BPM	0.22%	0.22%
3.	120 BPM	0%	0.0583%

Tabel 3. Tabel Persentase Keakurasian

No.	Pemilihan BPM	Kalibrator EKG	Phantom EKG (pabrik)
1.	30 BPM	99.77%	99.54%
2.	60 BPM	99.78%	99.78%
3.	120 BPM	100%	99.9417%

Disisi lain bahwa keakurasian pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3 dimana perbandingan antara Kalibrator EKG dan Phantom EKG (pabrik) menggunakan alat EKG masih dalam batas yang diizinkan. Dengan demikian Kalibrator EKG yang dirancang-bangun ini dapat digunakan untuk

melakukan sebagai alat kalibrasi untuk peralatan EKG.

DAFTAR PUSTAKA

[1] **Dharma, Surya.** “Pedoman Praktis Sistematika Interpretasi EKG”. Cetakan Kedua. EKG. Jakarta. 2010.

[2] **Malcolm S. Thaler,** Alih Bahasa Prof. Dr. Dr. Samik Wahab, Sp. A. K, “Satu Satunya Buku EKG Yang Anda Perlukan” , Edisi Kedua, Cetakan Pertama, Hipokrates, 2000.

[3] **Dr. Sjukri Karim dan Dr. Peter Kabo** “EKG Dan Penanggulangan Beberapa Penyakit Jantung Untuk Dokter Umum”, Fakultas Kedokteran UI, 1996.

[4] Pearce, Evelyn C., Sri Yuliani Handoyo (Penterjemah). 2006. Anatomi dan fisiologi untuk paramedis. Jakarta: PT. Erlangga.

[5] Laporan Akhir Penelitian Riset Pembinaan Tenaga Kesehatan, Pengujian Akurasi Luanan Gelombang Fisiologi Dari Rancang Bangun Simulator EKG Terhadap Jenis Masukan Gelombang Fisiologi.

[6] **Goldberger E.** A simple indifferent electrocardiographic electrode of zero potensial and technique of obtaining augmented unipolar extreemly leads. Am Heart J, 1942; 23: 483.

[7] **Goldberger AL and Goldberger E.** Clinical Electrocardiography: A simplified Approach. St. Louis, Mosby Year Book, 1990.

[8] **Goldman MJ.** Principles of Clinical Electrocardiography. Tenth Ed, Lange Medical Publications, San Francisco, 1979.

[9] **Cranefield PF.** Ventricular fibrillation. N Engl J Med, 1973; 289: 732

[10] **Olshanky B and Waldo AL.** Atrial fibrillation : update on mechanism, diagnosis and management. Modern Concept of Cardiovacular Disease, 1987; 56:23

[11] <http://www.alodokter.com/bradikardia>

[12] <http://www.alodokter.com/takikardia>

[13] <http://www.alodokter.com/ventricular-tachycardia>

[14] <http://www.alodokter.com/fibrilasi-atrium>

[15] <https://mediskus.com/penyakit/infark-miokard>