

Rancang Bangun Elektrokardiograf 12-Leads untuk Sistem Pengawasan Kesehatan Jantung Jarak Jauh

Gde Bayu Adityaputra, Tasripan, dan Tri Arief Sardjono

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: sardjono@elect-eng.its.ac.id

Abstrak—Elektrokardiograf merupakan perangkat medis yang dapat merekam sinyal jantung. Hasil dari perekaman ini dinamakan elektrokardiogram (EKG). Dibutuhkan minimal 1 lead untuk monitoring sinyal EKG namun untuk memenuhi standar klinis diperlukan perangkat EKG yang mampu merekam sinyal dari 12 lead. Dalam perancangan EKG 12 lead ini digunakan teknik multipleksing. Kombinasi sadapan untuk membetuk masing-masing sinyal diatur oleh multiplekser 74HCT4051 dan mikrokontroler Arduino secara bergantian. Sinyal analog yang sudah melalui serangkaian pemrosesan secara analog kemudian dikonversi secara digital oleh ADC dengan frekuensi sampling 1KHz. Sinyal digital hasil konversi selanjutnya dikirimkan secara serial dengan baudrate 9600 menuju Raspberry Pi. Dari Raspberry Pi data-data tersebut kemudian ditransmisikan menuju database atau server. Tampilan sinyal EKG kemudian dapat dilihat sebagai grafik pada halaman website. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan bekerja dengan baik, dimana sinyal EKG lead I sampai lead V6 yang ditampilkan pada halaman website sesuai dengan pembacaan pada osiloskop dengan error heart rate pada rangkaian instrumentasi kurang dari 0.22%. Rangkaian filter analog yang dirancang memiliki error $\pm 1\text{Hz}$ mampu meredam noise dengan baik. Namun, masih terdapat kekurangan pada sisi pengiriman data, dimana terjadinya data losses apabila menggunakan koneksi internet yang kurang cepat. Perangkat EKG 12 lead ini tidak dapat menampilkan 12 lead secara bersamaan, namun dapat menampilkannya secara berurutan.

Kata Kunci—*Elektrokardiograf 12 Lead, Multipleksing, Internet of Things, Realtime Database, Mikrokontroler Arduino, Raspberry Pi.*

I. PENDAHULUAN

PENYAKIT kardiovaskuler merupakan salah satu jenis Penyakit Tidak Menular (PTM) yang telah memakan banyak korban. Menurut World Health Organization (WHO), penyakit kardiovaskuler merupakan suatu penyakit yang disebabkan oleh terganggunya fungsi serta kinerja dari jantung dan pembuluh darah [1]. Terdapat beberapa macam penyakit kardiovaskuler, tetapi yang paling umum adalah penyakit jantung koroner dan stroke. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi seseorang terkena penyakit kardiovaskuler, yaitu riwayat keluarga, usia, obesitas, kurangnya latihan fisik, gaya hidup tidak sehat, dan stress.

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju terutama di bidang kesehatan, penyakit kardiovaskuler dapat diketahui lebih awal dengan menggunakan perangkat medis elektrokardiograf (EKG). Perangkat EKG berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur aktivitas sinyal elektrik pada otot jantung. Elektrokardiograf merupakan suatu prosedur non-invasif yang sering digunakan untuk merekam perubahan sinyal elektrik pada jantung. Hasil perekaman sinyal elektrik ini

dinamakan elektrokardiogram, menunjukkan serangkaian gelombang yang berhubungan dengan impuls elektrik yang terjadi setiap jantung berdenyut [2]. Gelombang jantung normal yang terlihat pada kertas EKG maupun layar monitor perangkat dinamakan gelombang P, Q, R, S, dan T (urut sesuai abjad).

Namun pemanfaatan perangkat medis EKG yang tersedia di fasilitas kesehatan masyarakat, terutama puskesmas, kurang dioptimalkan. Hal ini terjadi dikarenakan tidak semua tenaga medis di puskesmas dapat mengoperasikan perangkat EKG dan menganalisa hasil rekamannya dengan benar. Dibutuhkan keterampilan dan pengetahuan yang lebih untuk dapat mengoperasikan dan menganalisa hasil dari EKG tersebut. Sehingga hasil rekaman dari perangkat EKG yang tersedia di puskesmas harus dikirimkan ke tenaga medis (dokter) yang terdapat di rumah sakit besar.

Pengiriman hasil rekaman dari perangkat EKG tentu akan memakan waktu yang lama apabila data dikirimkan melalui jasa pengiriman konvensional (seperti pos). Sedangkan analisa yang terlampau lama dapat menyebabkan pasien tidak menerima tindakan yang sesuai. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem dimana hasil rekaman dari perangkat EKG yang berada di puskesmas dapat langsung diterima oleh tenaga medis ahli yang berada di rumah sakit. Sehingga kondisi kesehatan jantung pasien dapat dipantau secara real time walaupun pasien tidak berada di rumah sakit.

Mengacu terhadap hal diatas dan beberapa penelitian yang sesuai, maka diajukanlah proposal penelitian ini dengan harapan dapat membantu pasien yang membutuhkan perawatan penyakit jantung dan mempermudah tenaga ahli medis dalam mengolah dan menganalisa bentuk sinyal jantung yang terekam dari perangkat EKG secara lebih dalam tanpa terbatas waktu dan jarak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jantung

Jantung merupakan organ tubuh manusia yang tergolong sangat penting. Organ jantung yang tergabung dalam sistem kardiovaskular bertugas untuk memompa darah ke seluruh bagian tubuh secara terus menerus. Karena fungsi yang sangat penting itu maka apabila terjadi gangguan pada aktivitas jantung dapat memberikan dampak yang dapat berakibat fatal.

B. Anatomi dan Fisiologi Jantung

Di dalam tubuh manusia, posisi jantung terletak diantara kedua bagian paru-paru, di dalam rongga dada bagian tengah sedikit ke bagian kiri atau lebih tepatnya bagian basis terletak dibalik sternum setinggi kosta ke-3, dan bagian apeks setinggi kosta ke-5. Ukuran jantung manusia secara umum sebesar

genggaman tangan dengan berat sekitar 300 gram. Organ jantung tersusun dari 4 lapisan penting, yaitu lapisan perikardium, epikardium, miokardium, dan endocardium [3].

C. Biopotensial

Biopotensial adalah tegangan yang dihasilkan oleh jaringan pada tubuh manusia, terutama pada jaringan otot selama berkontraksi, atau dapat juga dikatakan potensial listrik yang terjadi di antara titik dalam sel, jaringan, ataupun organisme hidup. Sedangkan potensial aksi adalah sebuah mekanisme dari neuron-neuron yang terdapat di dalam otak untuk mengantar informasi dan memprosesnya kembali. Hubungan antar neuron ini tidak hanya sebatas aliran listrik yang terjadi secara otomatis, namun listrik yang dihasilkan berasal dari hasil difusi senyawa Na^+ dan K^+ yang berada di dalam akson [3].

D. EKG 12 Lead

Pada perangkat EKG, setiap sinyal yang diakuisisi merupakan hasil sadapan dari dua atau lebih elektroda yang dipasang pada permukaan tubuh. Setiap sinyal EKG mewakili orientasi vektor jantung pada masing-masing titik sadapan. Dengan menggunakan EKG 12 lead, maka seluruh aktivitas kelistrikan pada otot jantung dapat diamati sehingga dapat digunakan untuk diagnosa kelainan jantung. Sadapan pada EKG 12 lead secara umum terdiri dari:

1. Sadapan Frontal (Limb Lead)

Pada sadapan frontal ini menggunakan metode segitiga Einthoven (*Einthoven's triangle*) dimana akan menghasilkan sinyal EKG yang kemudian disebut Lead I, Lead II, dan Lead III. Sinyal jantung disadap dari tiga titik tubuh, yaitu tangan kanan (RA), tangan kiri (LA), dan kaki kiri (LL)[4]. Persamaan matematis untuk sadapan frontal adalah sebagai berikut:

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

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

$$\text{Lead III} = LA - RA \quad (3)$$

2. Sadapan Ekstrimitas Unipolar (Augmented Limb Lead)

Sadapan ini membandingkan tegangan pada satu titik tubuh terhadap tegangan rata-rata dua titik tubuh lainnya. Hasil dari sadapan ekstrimitas unipolar ini merupakan aVR, aVL, dan aVF. Resistor yang digunakan untuk mendapatkan sadapan aVR, aVL, dan aVF memiliki nilai yang sama, sehingga diperoleh tegangan rata-rata dari dua titik tubuh[4]. Persamaan matematis untuk sadapan ekstrimitas unipolar (*augmented limb lead*) adalah sebagai berikut:

$$\text{Lead aVR} = RA - \frac{LA+LL}{2} \quad (4)$$

$$\text{Lead aVL} = LA - \frac{RA+LL}{2} \quad (5)$$

$$\text{Lead aVF} = LL - \frac{RA+LA}{2} \quad (6)$$

3. Sadapan Precordial (Precordial Lead)

Sadapan *precordial* dimaksudkan untuk mendapatkan aktivitas elektrik jantung dilihat dari bidang horizontal (*horizontal plane*). Sadapan *precordial* diturunkan dari perbandingan antara elektroda yang ditempatkan di dada dengan rangkaian *Wilson Central Terminal* (WCT). Elektroda digunakan sebagai tegangan positif sedangkan rangkaian WCT digunakan sebagai tegangan negatif. Hasil dari sadapan *precordial* ini adalah V1, V2, V3, V4, V5, dan V6[4]. Persamaan matematis untuk mendapatkan sadapan *precordial* adalah sebagai berikut:

$$\text{Lead V1} = V1 - V_{WCT} \quad (7)$$

$$\text{Lead V2} = V2 - V_{WCT} \quad (8)$$

$$\text{Lead V3} = V3 - V_{WCT} \quad (9)$$

$$\text{Lead V4} = V4 - V_{WCT} \quad (10)$$

$$\text{Lead V5} = V5 - V_{WCT} \quad (11)$$

$$\text{Lead V6} = V6 - V_{WCT} \quad (12)$$

E. Instrumentasi Sinyal Analog

Prinsip kerja EKG sebenarnya sederhana dimana elektroda digunakan untuk mengukur potensial listrik tubuh dan menangkapnya menjadi suatu sinyal listrik. Karena sinyal potensial listrik yang ditangkap oleh elektroda memiliki nilai yang kecil, dimana nilai tersebut sulit digunakan untuk analisa, maka sinyal tersebut kemudian dilewatkan ke dalam rangkaian penguat instrumentasi. Sinyal yang sudah diperkuat kemudian di filter untuk menghilangkan sinyal yang tidak diinginkan. Untuk lebih mempermudah dalam melakukan analisa maka dilakukan data konversi dari analog ke digital melalui rangkaian ADC. Rangkaian instrumentasi sinyal analog ini terdiri dari:

1. Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi ini merupakan sebuah alat untuk memperkuat sinyal yang kecil dari elektroda. Sinyal yang telah tertangkap dari elektroda, dimasukkan ke dalam penguat instrumentasi, yang berukuran berkisar milivolt. Sinyal tersebut harus diperbesar menggunakan amplifier. Penguat instrumentasi terdiri dari rangkaian *double ended amplifier* dan rangkaian *differential amplifier*, serta rangkaian *driven left leg* (mengembalikan dan menyamakan tegangan ground pada kaki kiri).

2. Penjumlah Tak Membalik (Adder)

Rangkaian penjumlah tak membalik atau yang biasa dikenal dengan *non-inverting adder* merupakan suatu rangkaian yang dapat menjumlahkan sinyal masukan pada kaki tak membalik penguat operasional. Prinsip kerjanya mengikuti rangkaian penguat operasional pada umumnya dengan besar penguatan bergantung kepada nilai resistor *feedback*. Namun karena rangkaian ini digunakan hanya untuk menaikkan *baseline* tegangan, maka diberikan penguatan sebesar satu kali. Sehingga nilai keluaran yang di dapat merupakan hasil dari penjumlahan masukan V_1 dan V_2 .

3. Rangkaian Filter Analog

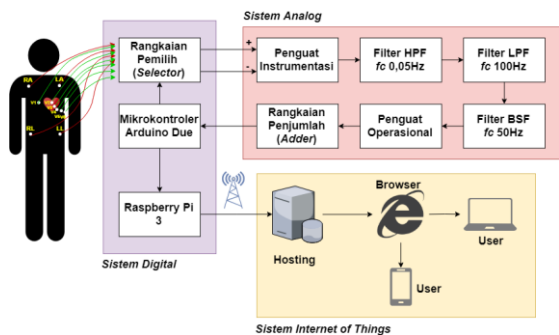
Rangkaian filter analog mempunyai fungsi sebagai penyaring yang melewatkan sinyal yang masuk pada daerah frekuensi tertentu dan melemahkan sinyal pada daerah frekuensi lainnya. Rangkaian filter terdiri dari empat jenis, yaitu LPF (*Low Pass Filter*), HPF (*High Pass Filter*), BPF (*Band Pass Filter*), dan BSF (*Band Stop Filter* atau *Notch Filter*). Dalam rangkaian filter pada umumnya, batas antara daerah sinyal yang akan dilewatkan dengan daerah sinyal yang akan diredam dipisahkan oleh nilai frekuensi *cut-off* yang penguatannya dapat dinyatakan dalam Persamaan 13.

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \quad (13)$$

III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem ini menjelaskan sistem secara keseluruhan yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak

yang digunakan untuk membangun EKG 12 lead. Gambaran secara umum dari sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



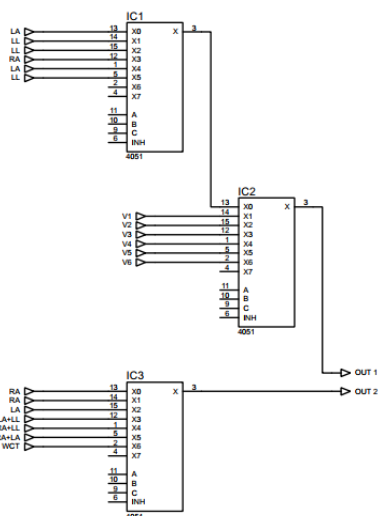
Gambar 1. Diagram blok keseluruhan sistem.

Dari diagram blok tersebut dapat di lihat bahwa sinyal diproses sebanyak tiga tahap. Tahap pertama pada sistem instrumentasi elektrokardiograf, dimana sinyal jantung diperoleh dengan menggunakan elektroda, diperkuat oleh penguat instrumentasi, dan dibersihkan dari sinyal pengganggu dengan rangkaian filter analog sehingga didapatkan sinyal analog yang siap untuk diproses ke mikrokontroler. Pada mikrokontroler, sinyal analog tadi diubah menjadi sinyal digital, difilter, dikomputasi, dan dihitung untuk mendapat nilai yang diinginkan. Kemudian sinyal dikirimkan melalui komunikasi serial ke Raspberry Pi. Data yang diterima oleh Raspberry Pi melalui komunikasi serial tersebut kemudian ditransmisikan ke database menggunakan jaringan internet.

A. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras elektrokardiograf secara garis besar terdiri atas 4 bagian, yaitu rangkaian pemilih (*selector*), rangkaian Wilson Central Terminal (WCT), rangkaian penguat instrumentasi (*amplifier*), rangkaian penyang (filter), dan rangkaian penambah (*adder*). Perangkat elektrokardiograf yang dirancang memiliki tujuan yaitu merubah sinyal dari sinyal jantung yang diambil dari tubuh dengan menggunakan elektroda dimana memiliki amplitudo yang kecil dan banyak *noise* menjadi sinyal jantung analog yang memiliki amplitudo cukup besar, bersih dari *noise*.

B. Rangkaian Pemilih (Selector)

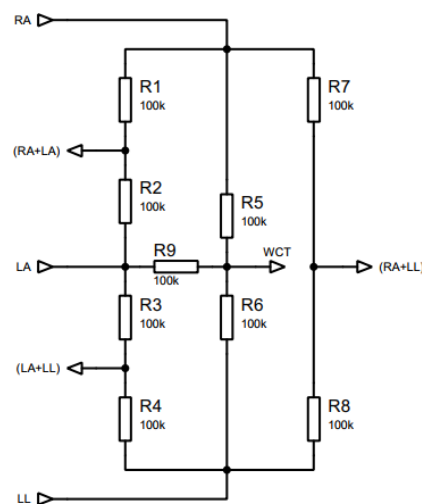


Gambar 2. Susunan dan konfigurasi pin IC 74HCT4051.

Rangkaian pemilih ini berfungsi untuk meneruskan sinyal jantung yang telah berhasil disadap oleh elektroda dan dikontrol oleh mikrokontroler. Pada rangkaian ini terdiri atas tiga buah multiplexer dengan tipe IC 74HCT4051 dimana ketiga IC multiplexer ini disusun sedemikian rupa agar dapat meneruskan sinyal dari *lead* 1 sampai dengan *lead* 6 secara bergantian [4]. (Gambar 2)

C. Rangkaian Wilson Central Terminal (WCT)

Rangkaian Wilson Central Terminal (WCT) ini merupakan rangkaian untuk mendapatkan tegangan referensi dari pengambilan di tiga titik tubuh yang berbeda untuk menghasilkan tegangan rata-rata antara tiga titik tubuh tersebut. Ketiga titik pengambilan tersebut adalah *Right Arm* (RA), *Left Arm* (RL) dan *Left Leg* (LL). Rangkaian WCT ini terhubung langsung dengan elektroda dan rangkaian pemilih. Skema dari rangkaian WCT dapat dilihat pada Gambar 3.

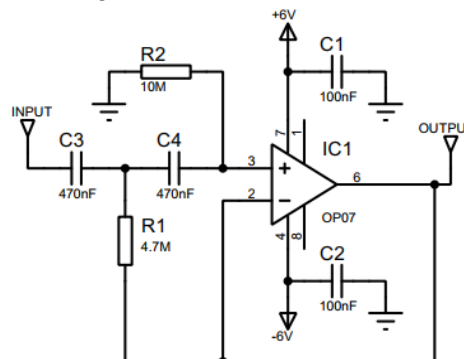


Gambar 3. Skema rangkaian WCT.

D. Rangkaian Penguat Instrumentasi

Rangkaian penguat instrumentasi pada perangkat EKG bertujuan untuk memperkuat sinyal jantung yang sebelumnya memiliki amplitudo berkisar pada skala milivolt (mV) sekaligus untuk mereduksi *noise* selama akuisisi sinyal dilakukan. Penguat instrumentasi merupakan susunan dari beberapa penguat operasional. Namun dalam pengerjaan kali ini digunakan IC AD620 sebagai penguat instrumentasi. Pemilihan AD620 didasari pada nilai CMRR yang tinggi yang dimiliki oleh IC tersebut [5].

E. Rangkaian High Pass Filter (HPF)

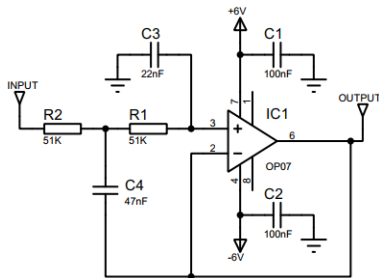


Gambar 5. Skema rangkaian HPF.

Rangkaian *High Pass Filter* ini ditujukan untuk meredam *noise* dari sinyal gerakan otot maupun yang berasal dari tegangan DC yang terbawa rangkaian. Rangkaian filter ini di desain menggunakan topologi *Sallen-key* dan berorde 2 dengan 1 tahapan. Untuk menghindari terpotongnya sinyal jantung, HPF di rancang untuk memiliki frekuensi *cut-off* sebesar 0.05Hz. (Gambar 5)

F. Rangkaian *Low Pass Filter (LPF)*

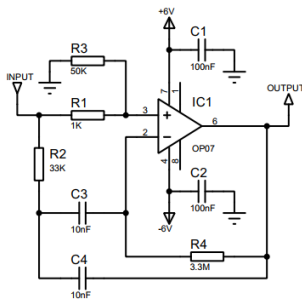
Rangkaian *Low Pass Filter* ditujukan untuk meredam *noise* yang berasal dari interferensi radio (RF) dan mencegah *anti aliasing* ketika disampling yang terjadi karena lingkungan sekitar. Rangkaian filter ini di desain menggunakan topologi, orde, dan tahapan yang sama dengan filter HPF, yaitu topologi *Sallen-key*, orde 2, dan tahapan sebanyak 1 kali. Frekuensi *cut-off* pada filter LPF ini dirancang pada 100Hz.



Gambar 6. Skema rangkaian LPF.

G. Rangkaian *Band Stop Filter (BSF)*

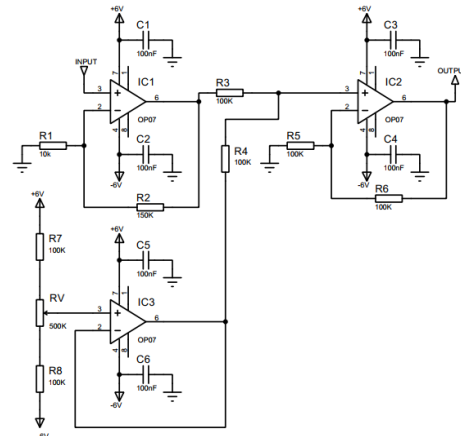
Rangkaian *Band Stop Filter* ini ditujukan untuk meredam *noise* yang berasal dari jala-jala listrik. Interferensi dengan sinyal jala-jala ini terjadi karena adanya komponen-komponen yang terbuka sehingga dapat menangkap frekuensi dari jala-jala (di Indonesia frekuensi jala-jala sebesar 50Hz). Oleh karena itu, rangkaian filter ini di desain untuk memiliki frekuensi *cut-off* yang sama dengan frekuensi jala-jala yaitu pada 50Hz. Seperti rangkaian filter sebelumnya, rangkaian BSF ini dirancang dengan menggunakan topologi *Sallen-key*, berorde 2, dan dengan 1 kali tahapan.



Gambar 7. Skema rangkaian BSF.

H. Rangkaian *Penjumlah (Adder)*

Tahap *adder* penting dilakukan karena sinyal EKG memiliki rentang tegangan dengan rata-rata negatif. Hal ini yang membuat sinyal tersebut tidak dapat terbaca oleh ADC pada mikrokontroler yang hanya memiliki *range* pembacaan 0V hingga 3.3V. Rangkaian penjumlah atau *adder* berfungsi untuk menaikkan *baseline* sinyal EKG yang memiliki *range* antara -1V hingga 1V. Sehingga diharapkan sinyal *output* dari EKG memiliki tegangan minimum berada diatas 0V.



Gambar 8. Skema rangkaian penjumlah (*adder*).

I. *Perancangan Perangkat Lunak*

Setelah sinyal jantung melalui tahapan pengolahan secara analog, tahap berikutnya adalah pengolahan sinyal secara digital. Sinyal analog tersebut diteruskan ke komponen *analog to digital converter* (ADC) yang terdapat pada mikrokontroler Arduino Due untuk dapat diolah secara digital. Kemudian sinyal yang sudah terkonversi menjadi bilangan-bilangan digital dikirimkan ke Raspberry Pi melalui kabel serial. Dari Raspberry Pi, data-data tersebut dikirimkan ke layanan *realtime* database, Firebase, kemudian kumpulan data tersebut secara *realtime* ditampilkan sebagai grafik melalui halaman *website*.

J. *Perancangan Analog to Digital Converter (ADC)*

Dengan menggunakan komponen *analog to digital converter* yang terdapat pada mikrokontroler Arduino Due, sinyal analog *disampling* dan dikonversikan menjadi sinyal digital. Proses pembacaan dan konversi oleh ADC ini wajib dilakukan dengan tujuan sinyal dapat dibaca dan diproses oleh mikrokontroler. Dalam proses *sampling* digunakan fitur millis pada Arduino yang kemudian digunakan sebagai *timer* untuk memastikan frekuensi *sampling* yang diinginkan, yaitu sebesar 1000Hz.

$$T_{sampling} = \frac{1}{1000Hz} = 1 \times 10^{-3} = 0.001s = 1ms \quad (14)$$

$$Resolusi = \frac{V_{ref}}{2^{12}-1} = \frac{3300mV}{4095} = 0.80586 mV/bit \quad (15)$$

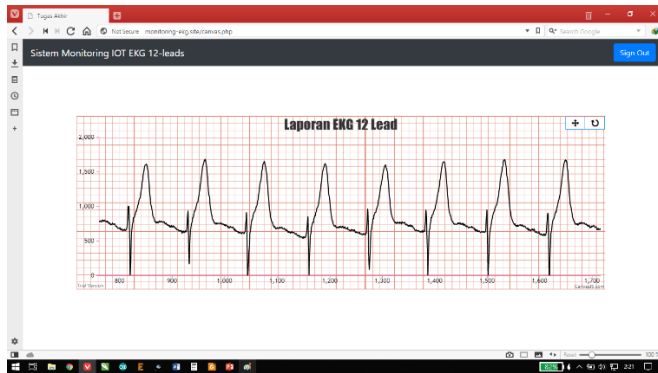
K. *Perancangan Komunikasi Serial*

Komunikasi antara mikrokontroler Arduino Due dengan Raspberry Pi dilakukan menggunakan kabel *Universal Serial Bus* (USB). Kabel USB yang digunakan yaitu *micro USB to USB tipe-A*. *Micro USB* dihubungkan ke *port programming* pada Arduino Due dan *USB tipe-A* dihubungkan ke *port USB* pada Raspberry Pi. Komunikasi serial ini diatur dengan *baudrate* berada pada angka 9600. Data serial yang terbaca oleh Raspberry Pi kemudian ditransmisikan ke *database* Firebase menggunakan jaringan internet. Sebelumnya Raspberry Pi wajib terhubung ke jaringan internet, baik menggunakan kabel LAN ataupun menggunakan koneksi *wireless*.

L. *Perancangan Sistem Monitoring Sinyal EKG*

Sistem monitoring sinyal elektrokardiogram (EKG) dibuat dalam bentuk sebuah tampilan *website*. Sistem ini digunakan

untuk melihat bentuk dari sinyal EKG, dimana data sinyal yang sudah ditransmisikan ke *database* kemudian ditampilkan menggunakan *line chart*. Tampilan *website* monitoring sinyal EKG ini terbagi ke dalam tiga bagian, yaitu tampilan untuk *login*, tampilan sinyal EKG secara *realtime*, dan tampilan sinyal EKG dari semua data yang ada di *database* (tidak *real-time*). *Website* yang digunakan untuk memonitoring sinyal EKG dapat diakses di halaman www.monitoring-ekg.site. Layanan *website* ini menggunakan jasa hosting dari Hostinger Indonesia.

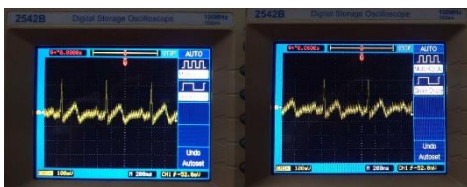


Gambar 9. Tampilan monitoring sinyal EKG.

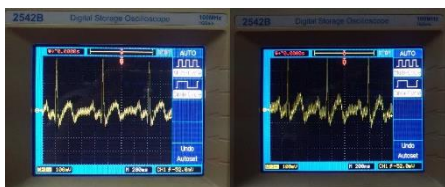
IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

A. Pengujian Elektrokardiograf 12 Lead

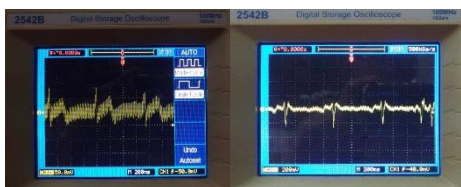
Pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan perangkat dalam mengakuisisi sinyal lead I, II, III, aVF, aVL, aVR, V1, V2, V3, V4, V5, dan V6 dan bagaimana bentuk ketika sinyal analog tersebut sudah dikonversi ke dalam bentuk digital. Berikut adalah hasil akuisisi 12 sinyal EKG yang ditampilkan pada layar osiloskop.



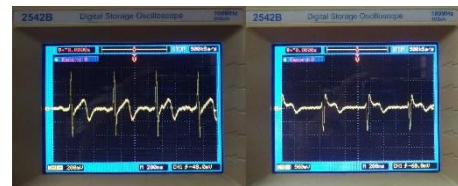
Gambar 10. Tampilan monitoring sinyal EKG lead 1 (kiri) dan lead 2 (kanan)



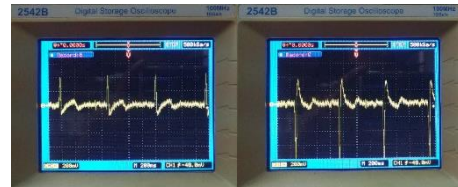
Gambar 11. Tampilan monitoring sinyal EKG lead 3 (kiri) dan lead aVF (kanan)



Gambar 12. Tampilan monitoring sinyal EKG lead aVL (kiri) dan lead aVR (kanan)



Gambar 13. Tampilan monitoring sinyal EKG lead V1 (kiri) dan lead V2 (kanan)



Gambar 14. Tampilan monitoring sinyal EKG lead V3 (kiri) dan lead V4 (kanan)

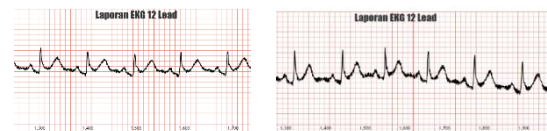


Gambar 15. Tampilan monitoring sinyal EKG lead V5 (kiri) dan lead V6 (kanan)

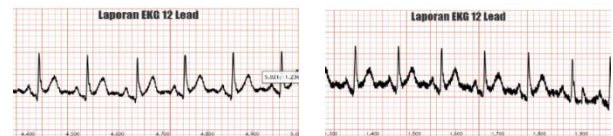
Melihat Gambar 10 sampai dengan Gambar 15, perangkat elektrokardiograf, mampu untuk mengakuisisi sinyal dengan baik.

B. Pengujian Sistem Internet of Things

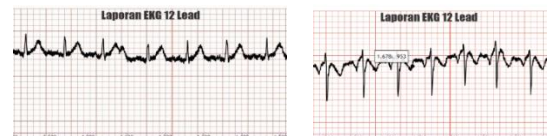
Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data sinyal EKG sebanyak 12 lead ke *database* atau *server* kemudian dari data-data yang dikirimkan tersebut ditampilkan pada halaman *website* dalam bentuk grafik.



Gambar 16. Grafik pada *website* untuk Lead 1 (kiri) dan Lead 2 (kanan).



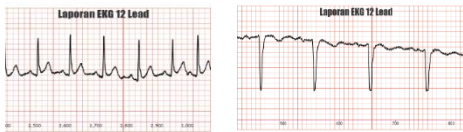
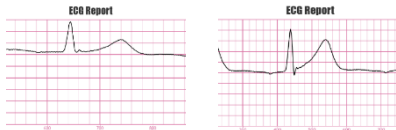
Gambar 17. Grafik pada *website* untuk Lead 3 (kiri) dan Lead aVF (kanan).



Gambar 18. Grafik pada *website* untuk aVL (kiri) dan Lead aVR (kanan).



Gambar 19. Grafik pada *website* untuk V1 (kiri) dan Lead V2 (kanan).

Gambar 20. Grafik pada *website* untuk Lead V3 (kiri) dan Lead V4 (kanan).Gambar 21. Grafik pada *website* untuk Lead V5 (kiri) dan Lead V6 (kanan).

V. KESIMPULAN

Dari bagian perancangan, pengujian, serta analisa sistem, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari pengerjaan penelitian ini. Pertama, perangkat elektrokardiograf 12 lead dapat dirancang hanya dengan menggunakan satu penguat instrumentasi. Rangkaian WCT dapat digunakan untuk memberikan tegangan rata-rata dari dua atau tiga titik pengambilan di tubuh. Penguat instrumentasi yang digunakan yaitu AD620, dengan diatur penguatan sebesar ± 1000 kali dapat menguatkan sinyal jantung yang memiliki tegangan dalam orde milivolt. Rangkaian filter yang dirancang memiliki *error* frekuensi *cutoff* ± 1 Hz. Penguatan sinyal jantung dilanjutkan dengan menggunakan penguat tak membalik dengan nilai penguatan sebesar 5 kali. Kemudian supaya sinyal analog dapat diolah secara digital, maka sinyal tersebut perlu dinaikkan ke polaritas positif dengan memberikan tegangan *offset* melalui *adder*. Setelah melalui proses secara analog, kemudian sinyal jantung memasuki komponen ADC pada mikrokontroler. Proses *sampling* atau konversi sinyal analog ke digital

menggunakan resolusi ADC pada mikrokontroler Arduino Due sebesar 12bit dengan frekuensi *sampling* 1KHz. Sinyal yang sudah menjadi angka digital kemudian ditransmisikan ke Raspberry Pi menggunakan komunikasi serial *micro USB to USB*. Data serial yang diterima oleh Raspberry Pi ditransmisikan ke *database* atau server menggunakan jaringan internet.

Berdasarkan hasil dari pengujian, dapat disimpulkan bahwa keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik, dimana data dari masing-masing lead dapat ditampilkan di *website* sesuai dengan pembacaan yang terlihat pada osiloskop.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Situasi Kesehatan Jantung." Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI, 2014.
- [2] Thomson Gale (Firm), *Gale encyclopedia of medicine*. Detroit: Thomson Gale, 2006.
- [3] F. Martini, *Fundamentals of anatomy & physiology*. 2015.
- [4] S. Hadiyoso, M. Julian, A. Rizal, and S. Aulia, "Pengembangan Perangkat EKG 12 Lead dan Aplikasi Client-Server untuk Distribusi Data," vol. 3, pp. 91–105, 2015.
- [5] "Datasheet AD620." Analog Devices.
- [6] T. Wiranadi, "Sistem Pengawasan Irama Jantung dan Indikasi Serangan Jantung dengan Elektrokardiografi Portabel yang Terintegrasi Android," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [7] N. Aritama, "Perancangan Sistem Pengawasan Kondisi Jantung Jarak Jauh dengan Menggunakan Elektrokardiograf dan Phonocardiograph," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [8] "Firebase Realtime Database," *Firebase*. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database/?hl=id>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [9] A. Widodo, "Sistem Akuisisi ECG Menggunakan USB untuk Deteksi Aritmia," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.