

PERANCANGAN ELEKTROKARDIOGRAF DENGAN TIGA ELEKTRODA MENGGUNAKAN FPGA SPARTAN-3

Irvan Aditya Iskandar^{*)}, Munawar A.R., Darjat.

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email : irvanaditya.iskandar@yahoo.com

Abstrak

Alat pengukur tanda vital merupakan peralatan medis yang umum digunakan untuk mengukur kondisi kesehatan tubuh seseorang. Dengan data-data hasil pengukuran tanda vital yang didapatkan dari peralatan medis, para ahli medis dapat mendiagnosa kondisi tubuh seorang pasien. Salah satu tanda vital tersebut adalah kesehatan jantung. Salah satu cara untuk mengetahui kesehatan jantung adalah melakukan *medical check up* untuk mengetahui sinyal elektrokardiogram dari jantung sehingga dapat diketahui apakah ada gangguan pada jantung. Pada penelitian ini, kami merancang suatu sistem instrumentasi medis *non-invasive* yang dapat menampilkan grafik elektrokardiogram dan dapat mengukur frekuensi denyut jantung. Sadapan yang digunakan untuk perekaman sinyal listrik jantung merujuk pada *Lead I Standard Einthoven*. Processor yang digunakan untuk memproses data masukan menjadi data keluaran adalah FPGA yang dapat diprogram sesuai dengan alur yang diinginkan. Pada pengujian sistem, grafik sinyal PQRST elektrokardiogram yang dihasilkan tertampilkan pada monitor dengan baik, sedangkan pengukuran denyut jantung memiliki error pengukuran paling besar 5,2% bila dibandingkan dengan pengukuran manual.

Kata Kunci: FPGA, elektrokardiogram, frekuensi denyut jantung, instrumentasi medis

Abstract

Vital signs device measurement are medical device commonly used to measure the health condition of a person body. With vital signs measurement data obtained from medical equipment, medical experts can diagnose the current condition of patient body. One of the vital signs is heart condition. One method to find out heart condition is by doing lab medical check up for observe electrocardiogram signal to determine if there any abnormalities on heart. In this study, we designed a non-invasive medical instrumentation that can display the recorded electrocardiogram signal and measure heart rate. For recording the cardiac electrical activities used refer to Lead I Standard Einthoven. Processor that used to process input data into output data is FPGA, which FPGA can be programmed according to desired design. As the result, the PQRST electrocardiogram signal succesfully displayed on monitor, and for heartbeat measurement have the maximum error obtained when measuring is around 5,2% when compared with manual counting.

Keyword: FPGA, electrocardiogram, heart rate, medical instrumentation

1. Pendahuluan

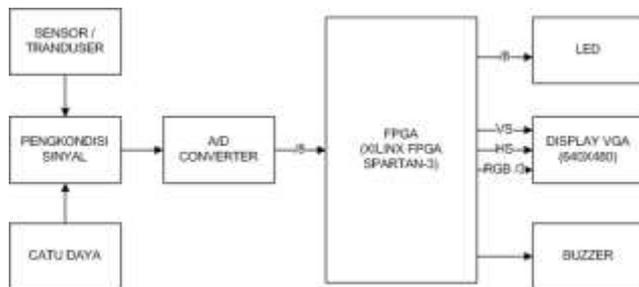
Dalam dunia medis diagnosa merupakan langkah awal yang dilakukan oleh para ahli medis untuk menentukan kondisi tubuh seorang pasien. Diagnosa merupakan langkah yang sangat penting, apabila terjadi kesalahan pada proses diagnosa maka akan memungkinkan terjadi kesalahan pada penanganan atau tindakan selanjutnya. Ada 4 tanda vital dasar yang biasa digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi kesehatan tubuh salah satunya dengan melakukan pengukuran frekuensi denyut jantung untuk mengetahui kondisi jantung secara umum [1] [2] [3]. Aktivitas jantung dalam memompa dan mengatur sirkulasi darah dalam tubuh merupakan efek dari aliran bioelektrik jantung [3]. Pergerakan bioelektrik ini mengakibatkan denyutan jantung dalam memompa darah.

Dengan perkembangan teknologi saat ini pendiagnosaan kesehatan tubuh dapat dilakukan dengan mudah menggunakan peralatan elektronika. Salah satu alat tersebut adalah elektrokardiograf. Elektrokardiograf merupakan alat yang digunakan untuk mendiagnosa kesehatan jantung secara *non-invasive* dengan menggunakan 3 atau 12 *lead* untuk merekam aktivitas listrik yang dihasilkan jantung saat berdenyut [1]. Hasil dari perekaman aktivitas listrik jantung disebut elektrokardiogram. Dari elektrokardiogram para ahli medis dapat melihat apakah terdapat gangguan pada jantung.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, maka dibuatlah suatu penelitian yang bertujuan untuk merancang suatu alat instrumentasi medis *non-invasive* yang dapat menampilkan sinyal elektrokardiogram yang memiliki fitur tambahan yaitu dapat mengukur frekuensi denyut

jantung. Sebagai masukan alat ini menggunakan elektroda Ag/AgCl yang umum digunakan dalam perekaman sinyal elektrokardiogram. Pemrosesan data hasil rekam elektroda akan dilakukan oleh FPGA Spartan-3. Sebagai keluaran sistem, hasil perekaman sinyal jantung akan ditampilkan pada *display* VGA dengan resolusi 640x480 pixel dalam bentuk grafik serta informasi denyut jantung dalam bentuk teks.

2. Metode



Gambar 1 Perancangan umum purwarupa EKG

Diagram blok seperti ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan gambaran umum dari keseluruhan sistem purwarupa EKG. Penjelasan dari Gambar 1 sebagai berikut :

- Elektroda (sensor/transduser) : bagian ini berfungsi untuk merekam sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan oleh jantung saat jantung memompa darah. Sensor/transduser yang digunakan dalam perancangan ini adalah elektroda kering Ag/Agcl yang umum digunakan untuk EKG.
- Pengkondisi Sinyal
 - i. Penguat Instrumentasi : penguat instrumentasi merupakan jenis penguat yang dikhususkan untuk menguatkan sinyal-sinyal yang memiliki amplitudo yang sangat kecil seperti keluaran pada sensor atau transducer. Jenis penguat yang digunakan pada perancangan ini adalah INA121.
 - ii. Penguat tahap 1 : penguat ini berfungsi untuk menguatkan kembali sinyal keluaran penguat instrumentasi yang hanya kurang dari 1 volt. Hal ini dilakukan agar saat proses penapisan, amplitudo sinyal tidak turun terlalu rendah.
 - iii. *Bandpass filter* : pada perancangan ini digunakan bandpass filter dengan topologi sallen-key dengan rentang frekuensi kurang lebih 0,5 hingga 40 Hz. Rentang frekuensi tersebut dipilih karena 0,67 – 40 Hz merupakan rentang frekuensi yang digunakan pada monitoring EKG.
 - iv. *Notch filter* : filter ini berfungsi untuk menekan derau yang berasal dari *powerline* (jala-jala) yang memiliki frekuensi 50/60 Hz.

- v. Penguat tahap 2 : rangkaian ini berfungsi untuk meningkatkan kembali amplitudo agar sinyal memenuhi rentang masukan untuk ADC yaitu 0 hingga 5V.
- vi. *Offset Adj* : berfungsi untuk mengatur offset sinyal, hal ini karena besar amplitudo sinyal setiap orang berbeda-beda dan untuk memastikan V_{max} sinyal menyentuh threshold peak detector (ADC bit ke 8) sehingga dapat diproses oleh FPGA.
 - ADC 8bit : berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dengan resolusi sebesar 255 level.
 - FPGA : berfungsi untuk proses perhitungan dan menampilkan hasil ke monitor yang mana menggantikan mikrokontroller.
 - Display VGA 640x480 : berfungsi untuk menampilkan bentuk sinyal EKG jantung dan informasi *heart rate*.
 - Buzzer : digunakan sebagai indikator apabila sinyal R pada EKG terdeteksi oleh *peak detector*.
 - Led : digunakan sebagai indikator saat nilai ADC diterima FPGA.
 - Catu daya : sebagai sumber tenaga pada blok pengkondisi sinyal.

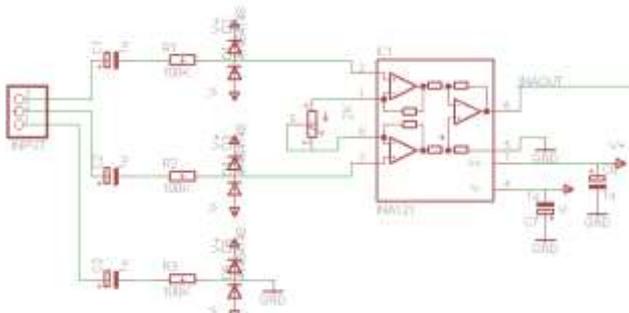
2.1 Perancangan Hardware (Blok Analog)

Blok analog ini tersusun oleh pengkondisi sinyal dan ADC. Pengkondisi sinyal digunakan untuk mengekstraksi sinyal informasi dan menguatkan sinyal sehingga dapat dibaca oleh ADC. Pengkondisi sinyal tersusun dari *preamp*, penguat tahap 1, tapis dan penguat tahap 2.

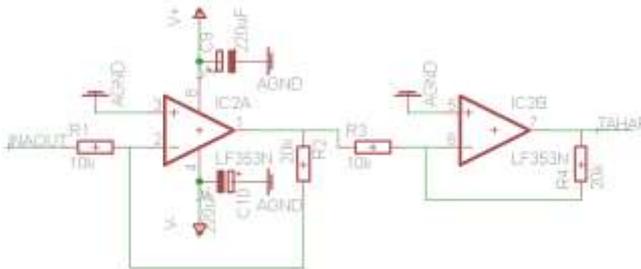
Pada gambar 2 merupakan rangkaian penguat awal (*preamp*) dengan menggunakan INA121 sebagai IC penguatnya. Rangkaian ini diatur untuk memberikan penguatan sebesar 101 kali. Rangkaian ini juga berfungsi untuk mengekstraksi sinyal EKG dari sinyal biopotensial yang terekam oleh elektroda.

Pada gambar 3 merupakan rangkaian penguat tahap satu yang memiliki fungsi untuk menguatkan kembali sinyal keluaran dari *preamp*. Rangkaian ini diperlukan karena output sinyal dari INA121 maksimal hanya berkisar 1 Volt. Besar penguatan yang diberikan oleh rangkaian ini adalah sebesar empat kali.

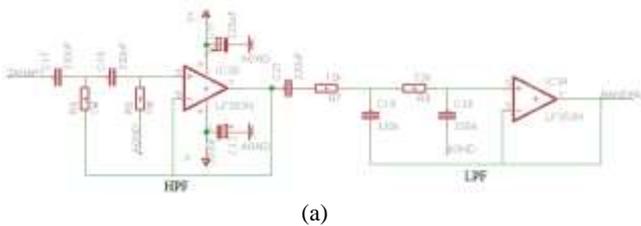
Pada gambar 4 merupakan rangkaian tapis yang digunakan pada perancangan ini yaitu *bandpass filter* gambar 4 (a) dengan rentang frekuensi 0,5 hingga 40 Hz dan *notch filter* gambar 4 (b) dengan frekuensi *cut-off* 50 Hz.



Gambar 2 Desain skematik preamp INA121



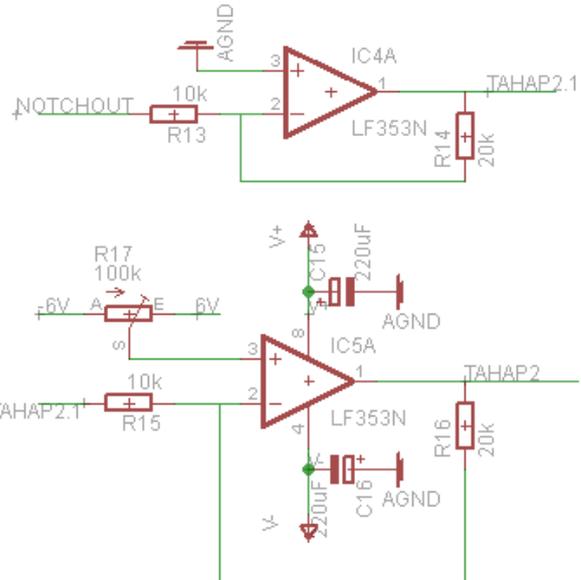
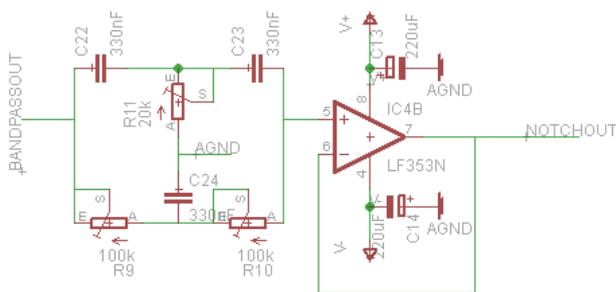
Gambar 3 Penguat tahap satu



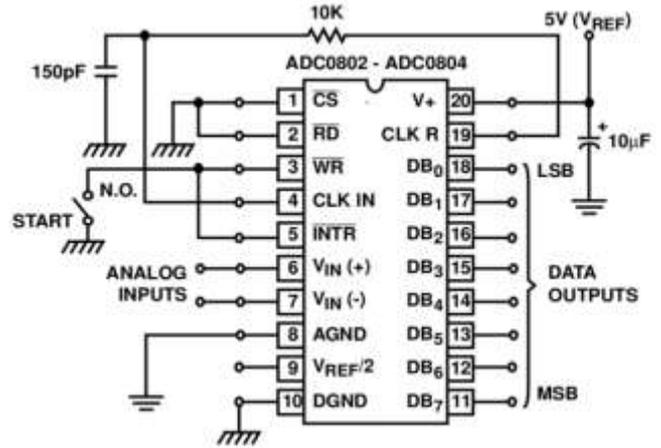
(a)

(b)

Gambar 4 Rangkaian tapis pada perancangan (a) Bandpass filter (b) Notch filter



Gambar 5 Penguat tahap kedua



Gambar 6 Perancangan ADC

Pada gambar 5 merupakan rangkaian penguat tahap satu yang memiliki fungsi untuk menguatkan kembali sinyal keluaran dari *preamp*. Rangkaian ini diperlukan karena output sinyal dari INA121 maksimal hanya berkisar 1 Volt. Besar penguatan yang diberikan oleh rangkaian ini adalah sebesar empat kali.

2.2 Perancangan ADC

IC ADC yang digunakan ialah ADC-0804. ADC ini mempunyai karakteristik resolusi keluaran berupa 8 bit data paralel dengan level logika TTL, yang berarti akan menghasilkan tegangan 0-0,5V jika berlogika 0 dan menghasilkan tegangan 2-3,3V jika berlogika 1. ADC-0804 memiliki fitur internal clock sehingga dapat dijalankan walaupun tidak mendapatkan suplai clock eksternal, karena fitur inilah dapat memungkinkan ADC-0804 dijalankan pada mode *free running*. Tegangan referensi ADC-0804 memiliki nilai sama dengan tegangan catu daya. Gambar 6 memperlihatkan

konfigurasi pin dan rangkaian yang digunakan pada perancangan.

Berikut contoh perhitungan nilai tegangan masukan ADC-0804 dan nilai digital yang dihasilkan pada saat masukan 1,95V.

$$\text{Nilai Digital} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times \text{Resolusi ADC}$$

$$\text{Nilai Digital} = \frac{1,95}{5} \times 255$$

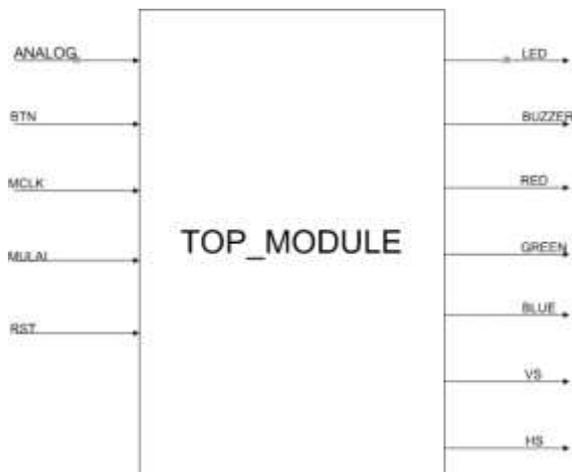
$$\text{Nilai Digital} = 100.$$

2.3 Blok Digital FPGA

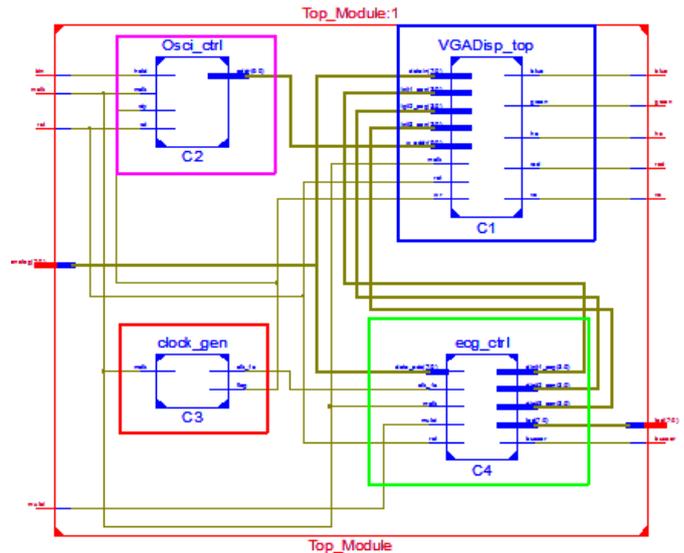
Setelah melalui rangkaian ADC nilai-nilai analog dari rangkaian pengkondisi sinyal akan berubah menjadi nilai-nilai biner. Untuk dapat ditampilkan pada VGA, data biner ini diolah sedemikian rupa sehingga dapat dimengerti oleh pengguna.

Blok digital yang memproses data ini disebut processor. Pada perancangan ini prosesor menggunakan FPGA Xilinx Spartan-3. Setiap perancangan pada FPGA, biasanya disusun oleh blok-blok yang memiliki fungsi masing-masing agar lebih memudahkan dalam pembentukan sistem itu sendiri. Perancangan umum prosesor pada FPGA untuk penampilan grafik EKG dan pengukuran frekuensi denyut jantung yang telah dirancang terlihat pada gambar 7.

Gambar 7 merupakan rancangan inti yang akan dibangun dan diimplementasikan ke dalam FPGA pada perancangan ini, terlihat pada inti tersebut terdapat pin yang disebut entity yang berfungsi sebagai pin input dan output. Pin sebelah kiri pada gambar merupakan input dari inti yang terhubung dengan beberapa komponen input seperti ADC. Sedangkan pin sebelah kanan pada gambar merupakan output yang terhubung dengan komponen output seperti VGA. Tabel 1 berikut memaparkan fungsi pin-pin pada gambar 7.



Gambar 7 Perancangan umum prosesor pada FPGA



Gambar 8 Komponen penyusun inti program FPGA

Tabel 1 Pin I/O inti program FPGA

No	Nama Pin	Jumlah Bit	Mode	Fungsi
1	Analog	8	Input	Input ADC
2	Btn	1	Input	Holding grafik keluaran
3	Mclk	1	Input	Master Clock eksternal 50MHz
4	Mulai	1	Input	Tombol mulai
5	Rst	1	Input	Tombol reset
6	Led	8	Output	Indikator input ADC
7	Blue	1	Output	Sinyal warna biru VGA
8	Buzzer	1	Output	Indikator adanya denyutan
9	Green	1	Output	Sinyal warna hijau VGA
10	Hs	1	Output	Sinyal sinkron Hsync VGA
11	Red	1	Output	Sinyal warna merah VGA
12	Vs	1	Output	Sinyal sinkron Vsync VGA

Dari tabel terdapat 26 jumlah pin I/O yang dipakai dalam perancangan ini. 12 pin digunakan untuk terminal masukan dan 14 pin digunakan untuk terminal keluaran. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa inti merupakan suatu program yang tersusun dari beberapa komponen yang memiliki fungsi sendiri-sendiri. Skematik total perancangan purwarupa elektrokardiogram terlihat pada gambar 8.

Komponen-komponen digital yang menjadi penyusun pada perancangan kali ini adalah (gambar 8),

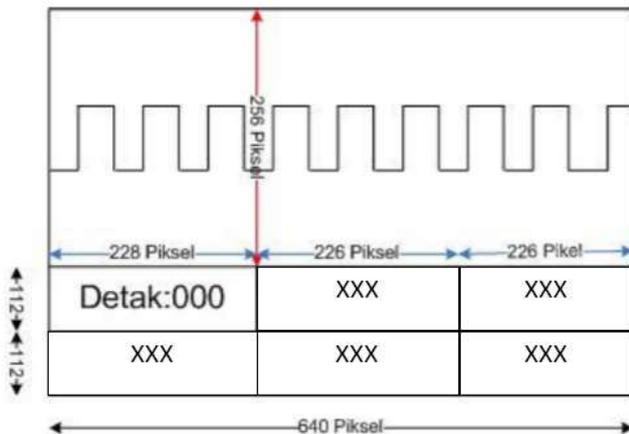
1. Clock_generator (kotak merha) : berfungsi untuk membagi clock master

50MHz menjadi clock sesuai kebutuhan komponen-komponen lain.

2. Osc_ctrl (kotak ungu) : berfungsi mengatur aktivitas keluarannya sinyal gelombang yang dikirim ke komponen VGA_disptop.
3. VGA_disptop (kotak biru) : berfungsi mengatur sinyal keluaran VGA agar dapat ditampilkan pada layar VGA sesuai dengan kebutuhan.
4. ECG_control (kotak hijau) : berfungsi mengatur keluaran nilai denyut jantung dari input ADC

Komponen-komponen tersebut saling terhubung sesuai dengan tugasnya dan membentuk suatu inti yang mana akan di dimplementasikan ke dalam FPGA sehingga FPGA dapat menjadi pemroses grafik EKG dan pengukuran frekuensi denyut jantung dalam perancangan purwarupa elektrokardiograf.

2.4 Perancangan Tampilan



Gambar 9 Desain tampilan pada monitor dengan resolusi 640x480

Parameter-parameter yang telah diukur secara analog dan diproses secara digital, sebagai komponen yang harus ada pada sistem instrumentasi, data akan ditampilkan pada komponen *display*. Komponen *display* yang dipakai pada perancangam merupakan *display* VGA 640x480. Pemilihan VGA sebagai *display* yang dipakai dikarenakan luas area yang dapat dipakai sehingga banyak parameter yang bisa ditampilkan dan juga memiliki kemampuan menampilkan sinyal gelombang. Secara umum perancangan tampilan pada layar diperlihatkan pada gambar 9.

Dari Gambar 10 terlihat posisi-posisi variabel yang disusun sedemikian agar para pengguna dapat membaca hasil pengukuran dengan mudah. Berikut keterangan dari perancangan tampilan pada VGA.

- Area sinyal gelombang : area ini akan menampilkan sinyal dari blok analog yang telah diterjemahkan menjadi biner oleh adc. Area ini memiliki tinggi 256 piksel (dihitung dari atas) dan lebar 640 piksel. Pada area ini 1 pixel merupakan nilai dari 1 bit adc.
- Area teks hasil pengukuran : area ini menampilkan nilai ASCII dari hasil pengukuran denyut jantung. Area ini terdiri dari 6 kotak parameter yang masing-masing memiliki tinggi 112 piksel dan lebar 226 piksel. Setiap kotak mampu menampilkan 9 karakter ASCII dengan panjang dan lebar tiap karakter 16-bit piksel. Letak karakter hasil pengukuran terletak seperti pada gambar 10.

3 Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Output VGA



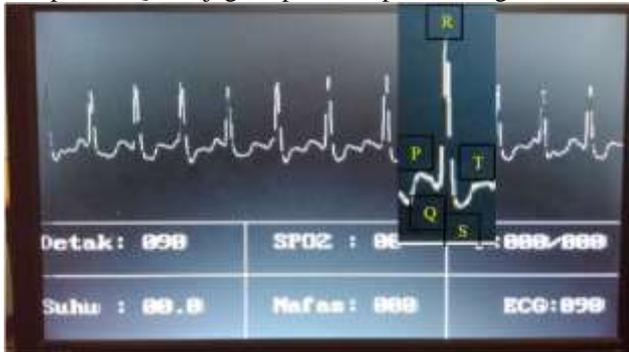
Gambar 10 Tampilan warna RGB pada monitor

Gambar 10 merupakan hasil pengujian tampilan, pengujian dimulai dengan penampilan warna RGB. Mekanisme pengujian dengan mengubah 3 switch yang mana mewakili 3 bit sinyal masukan untuk mengatur sinyal RGB pada FPGA yang masing-masing R satu bit pertama G satu bit kedua dan B satu bit ketiga. Pada Gambar 4.8 terlihat 4 warna yang tampil yaitu merah, hijau, biru dan putih yang mana masing-masing memiliki nilai RBG 001,010,100 dan 111. Hasil warna yang ditampilkan sesuai dengan kode biner yang diberikan.

3.2 Pengujian Hasil Gelombang PQRST EKG

Pada Gambar 11 terlihat informasi yang ditampilkan pada monitor berupa grafik sinyal EKG dan hasil pengukuran

frekuensi denyut jantung yang ditampilkan berupa huruf dan angka. Pengujian plotting data EKG pada monitor VGA untuk melihat hasil pemplotan kembali sinyal hasil rekam EKG pada monitor. Pada Gambar 11 terlihat grafis data hasil rekam EKG terlihat cukup jelas dan sinyal kompleks PQRST juga dapat ditampilkan dengan baik.



Gambar 11 Tampilan Grafik EKG pada monitor

3.3 Pengujian Pengukuran Frekuensi Demyut Jantung

Pengujian alat pengukur denyut jantung ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan alat dalam mendeteksi denyut jantung. Sebagai pembanding pengukuran dilakukan dengan membandingkan pengukuran manual selama satu menit dan perhitungan dengan melihat frekuensi pada osiloskop yang dikalikan 60. Hasil pengukuran dari 5 koresponden dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran denyut jantung dengan alat TA, osiloskop dan manual

No	Subjek	Kelami n/ Umur	Alat TA (Y)	Osiloskop (S)	Manual (X)	Error (%)	
						Osiloskop	Manual
1	Subjek 1	L 22	84	85 (1,430)	86	1,19	2,38
2	Subjek 2	L 22	96	90 (1,591)	91	6,25	5,20
3	Subjek 3	L 22	84	83 (1,381)	84	1,19	0
4	Subjek 4	L 22	90	89 (1,492)	89	1,11	1,11
5	Subjek 5	L 22	102	101(1,684)	103	0,98	0,98
Rata-rata error (%)						2,145	1,936

Dari tabel 2 diketahui perbandingan antara hasil pengukuran denyut jantung antara hasil pengukuran dengan alat TA dengan perhitungan frekuensi denyut jantung dengan menggunakan osiloskop serta

perbandingan pengukuran denyut jantung antara hasil pengukuran alat TA dengan perhitungan secara manual. Berdasarkan hasil perbandingan, dapat diketahui error dari alat yang telah dibuat. Berikut merupakan contoh perhitungan error pada subjek 1.

$$E(\text{Osiloskop}) = \left| \frac{Y - S}{Y} \right| \times 100\% = \left| \frac{84 - 85}{84} \right| \times 100\% = 1,19\%$$

$$E(\text{Osiloskop}) = \left| \frac{Y - S}{Y} \right| \times 100\% = \left| \frac{84 - 85}{84} \right| \times 100\% = 1,19\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui error rata-rata sistem dengan perhitungan sebagai berikut,

$$\text{Error Rata - rata}(\text{Osiloskop}) = \frac{\sum E}{5} = \frac{10,72}{5} = 2,145\%$$

$$\text{Error Rata - rata}(\text{Manual}) = \frac{\sum E}{5} = \frac{2,958}{5} = 1,936\%$$

Error tersebut dikarenakan metode perhitungan yang dilakukan dengan cara menghitung peak yang terdeteksi dan kemudian dikalikan dengan suatu konstanta. Sehingga angka yang didapat merupakan kelipatan dari konstanta tersebut.

3.5 Hasil Perancangan Core pada FPGA

Desain core yang dibuat pada FPGA Xilinx memiliki beberapa parameter *design summary* seperti tabel 3.

Tabel 1 Design Summary Perancangan FPGA

No	Logic	Digunakan	Tersedia	Penggunaan (%)
1	Slice	351	3584	9
2	Slice Flip-Flop	127	7168	1
3	4 Input LUT	1291	7168	18
4	I/O Block	26	173	15
5	Block RAM	1	16	6
6	Gate Clock	3	8	37

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Telah berhasil dirancang elektrokardiograf dengan menggunakan 3 elektroda menggunakan FPGA Spartan-3 yang dapat berfungsi cukup baik. Sinyal PQRST EKG dapat direkonstruksi ulang pada monitor dengan baik dengan menggunakan FPGA Spartan-3.

Informasi frekuensi denyut jantung dapat diekstraksi dengan mendeteksi jumlah peak. Pada pengujian pengukuran denyut jantung diketahui error rata-rata terhadap perhitungan dengan menggunakan osiloskop adalah 2,145% dan error terhadap pengukuran secara manual adalah 1,93%.

Referensi

- [1]. G. D. Baura, *Medical Device Technologies A System Based Overview Using Engineering Standards*, Oxford: Elsevier, 2012.
- [2]. J. G. Webster, *Medical Instrumentation Application and Design*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [3]. E. B. L. dan L. A. Geddes, *Priciples of Applied Biomedical Instrumentation* 3rd edition, New York: J. Wiley, 1989.
- [4]. Y. Yang, X. Huang dan X. Yu, "Real-Time ECG Monitoring System Based on FPGA," *The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, vol. 33, pp. 2136-2140, 2007.
- [5]. J. D. Enderle dan J. D. Bronzino, *Introduction to Biomedical Engineering*, Hartford: Elsevier, 2012.
- [6]. E. S. Nugroho, "Pengenalan pola sinyal elektrokardiograf (EKG) dengan jaringan syaraf tiruan backpropagation untuk diagnosa kelainan jantung manusia," *Diponegoro University, Semarang*, 2002.
- [7]. R. M. Jones dan R. M. Rospond, "General assessment and vital signs," dalam *Patient assessment in pharmacy practice*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2009.
- [8]. A. P. Malvino dan D. J. Bates, *Electronic Priciples* 7th, New York: McGraw-Hill, 2007.
- [9]. D. Prutchi dan M. Norris, *Design and Development of Medical Electronic Instrumentation A Practical Perspective of the Design Construction, and Test of Medical Devices*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [10]. H. W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic System*, New York: Wiley, 1988.
- [11]. P. P. Chu, *FPGA Prototyping by VHDL Examples Xilinx Spartan-3 Version*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [12]. I. Xilinx, *Spartan-3 Starter Kit Board User Guide*, Xilinx, Inc., 2005.
- [13]. W. Jatmiko, *Implementasi berbagai Algoritma Neural Network & Wavelet pada FPGA*, Jakarta: Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, 2011.
- [14]. Corporation, Burr-Brown, *Datasheet BB INA121*, Tucson: Burr-Brown Corporation, 1998.