

PERANCANGAN SISTEM INSTRUMENTASI MEDIS PENGUKUR TIGA TANDA VITAL TUBUH MENGGUNAKAN CORE FPGA XILINX SPARTAN-6

Aminuddin Rizal^{*}), Munawar Agus Riyadi, and Darjat

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

^{*}E-mail: ir.dr.ar@gmail.com

Abstrak

Alat pengukuran tanda vital tubuh adalah peralatan instrumentasi medis yang umum digunakan untuk mengukur kondisi kesehatan tubuh seseorang. Praktisi medis dapat mengetahui informasi kondisi kesehatan tubuh seorang pasien dengan menganalisa data-data yang ditampilkan dari pengukuran tanda vital tubuh. Pada penelitian kali ini, kami mendesain sistem instrumentasi medis *non-invasive* untuk mengukur tiga tanda vital tubuh yang murah dan berbasis sistem *digital*. Tiga parameter pengukuran yang dilakukan adalah suhu tubuh yang memiliki jangkauan pengukuran dari 30°C sampai 40°C, frekuensi denyut jantung yang memiliki jangkauan pengukuran dari 0 sampai 200 BPM (*beat per minute*), frekuensi pernapasan yang memiliki jangkauan pengukuran dari 0 sampai 60 *breath per minute*. Sistem digital yang digunakan untuk memproses data *input* menjadi data *output* dirancang dengan memanfaatkan FPGA yang diprogram sesuai dengan alur yang diinginkan. Pada pengujian sistem, *error* rata-rata yang didapat saat pengukuran suhu tubuh, frekuensi denyut jantung, dan frekuensi pernapasan masing-masing sebesar 0,72%, 2,01%, 8,21%. Perancangan pada *core* FPGA memiliki *utility* keseluruhan hingga 19%.

Kata kunci: FPGA, frekuensi denyut jantung, frekuensi pernapasan, suhu tubuh.

Abstract

Biomedical instrumentation of vital signs measurement is a common instrumentation which measure or monitoring human's physiological condition. Medical practitioner assesses patient's health condition by analyzing the measurement result which shown in display. In this research, we design a non-invasive biomedical instrumentation that measure 3 parameter of human's vital signs (body temperature, heartbeat, and respiration rate). The aim of the design are low cost instrumentation and digital based design. The measurement of heartbeat has measurement range from 0 to 200 BPM (beat per minute). The measurement of body temperature has measurement range from 30°C to 40°C. The measurement of respiration rate has measurement range from 0 to 60 BPM (breath per minute). Digital system which processing input data into output data implemented on FPGA Xilinx Spartan-6. As the result of design, Error rate from measurement of heartbeat, body temperature, and respiration rate respectively by 0,72%, 2,01%, 8,21%. Summary of FPGA core usage has 19% of utilitation.

Keywords: Body temperature measurement, FPGA, Heartbeat measurement, Respiration rate measurement

1. Pendahuluan

Diagnosa, dalam dunia kedokteran, merupakan langkah awal yang dilakukan para praktisi medis untuk mengetahui kondisi tubuh seorang pasien. Langkah ini juga merupakan salah satu langkah yang paling krusial untuk dilakukan, karena apabila terjadi kesalahan ketika mendiagnosa seorang pasien maka akan memungkinkan terjadinya kesalahan pada tindakan medis selanjutnya. Pada dasarnya terdapat 4 tanda vital tubuh yang biasanya digunakan sebagai acuan kondisi kesehatan tubuh

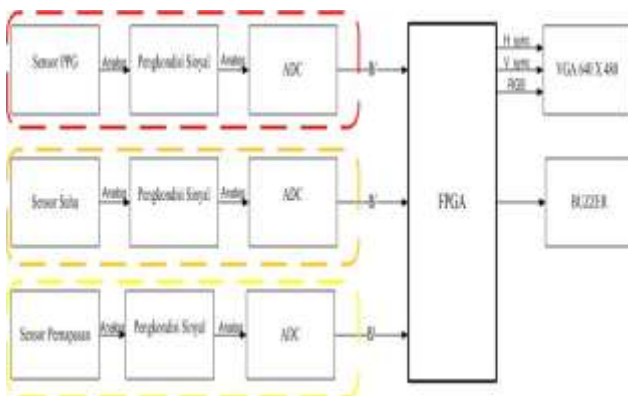
seseorang yaitu denyut jantung, suhu tubuh, tekanan darah, dan frekuensi pernapasan. Sehingga, dengan mendiagnosa keempat tanda vital tersebut dapat diketahui kondisi tubuh seseorang.[1]

Dengan perkembangan teknologi saat ini, mendiagnosa keadaan tubuh seseorang yang sebelumnya dilakukan secara manual (*analog*) dan kurang fleksibel dapat dilakukan dengan menggunakan instrumentasi medis yang bekerja secara otomatis (*digital*) dan lebih fleksibel. Pengukuran secara *digital* memiliki beberapa keuntungan

antara lain pengukuran dapat dilakukan secara individual(seorang diri), pengukuran lebih akurat, dan respon pengukuran lebih cepat. Pada umumnya, instrumentasi medis memiliki tiga komponen penting yaitu sensor sebagai masukan data, *processor* untuk memproses data, dan keluaran data berupa tampilan visual.[1]

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, maka dibuatlah suatu penelitian yang bertujuan untuk merancang sebuah alat pengukur *non-invasive* tiga tanda vital tubuh untuk mengetahui kondisi tubuh seseorang. Perancangan ini mengukur tiga parameter pengukuran yaitu suhu tubuh, frekuensi denyut jantung, dan frekuensi pernapasan. Sebagai input alat ini menggunakan sensor fotodioda untuk mengukur frekuensi denyut jantung dan sensor *thermistor* untuk mengukur suhu tubuh dan frekuensi pernapasan. Dengan menggunakan sensor tersebut, alat ini dapat digunakan untuk mengukur frekuensi denyut jantung hingga 200 BPM(*beat per minute*), suhu tubuh hingga 40°C dan frekuensi pernapasan hingga 60 *breath per minute*. Yang berbeperan sebagai *processor* yang memproses data masukan dari sensor ialah FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Sebagai output sistem, setelah FPGA melakukan aktivitas pemrosesan sesuai masukan yang diberikan sensor, maka hasil pengukuran akan ditampilkan pada VGA 640x480.

2. Metode



Gambar 1 Perancangan umum sistem

Perancangan sistem pengukuran tiga tanda vital tubuh secara umum disusun oleh blok-blok yang terlihat pada gambar 1 di atas. Blok tersebut antara lain,

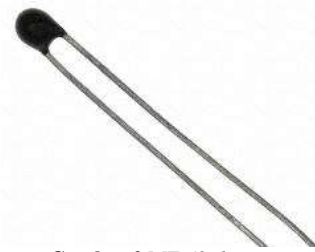
1. Blok analog pengukuran denyut jantung (berada dalam garis merah pada gambar), blok ini merupakan kumpulan sistem analog yang mengakuisisi *measurand* berupa aliran denyut arteri menjadi nilai biner agar dapat diproses dan ditampilkan. Blok ini tersusun oleh sensor PPG, pengkondisi sinyal, dan ADC.
2. Blok analog pengukuran suhu tubuh (berada dalam garis orange pada gambar), blok ini merupakan

kumpulan sistem analog yang mengakuisisi *measurand* berupa panas menjadi nilai biner agar dapat diproses dan ditampilkan. Blok ini tersusun oleh sensor panas (NTC-Thermistor), pengkondisi sinyal, dan ADC.

3. Blok analog pengukuran frekuensi pernapasan (berada dalam garis kuning pada gambar), blok ini merupakan kumpulan sistem analog yang mengakuisisi *measurand* berupa panas akibat udara napas menjadi nilai biner agar dapat diproses dan ditampilkan. Blok ini tersusun oleh sensor panas (NTC-Thermistor), pengkondisi sinyal, dan ADC.
4. Blok digital pemroses data. Blok ini merupakan bagian otak sistem yang memproses data masukan menjadi keluaran yang diinginkan, blok ini didesain menggunakan FPGA.
5. Blok digital *output* tampilan data. Data masukan yang diproses oleh FPGA lalu ditampilkan melalui VGA 640x480.

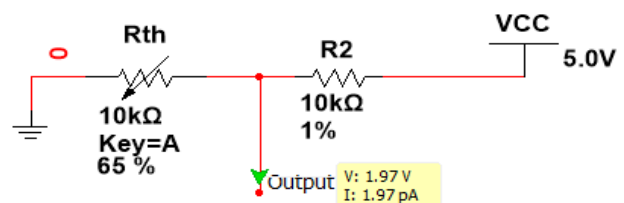
2.1 Blok Analog Pengukuran Suhu Tubuh

Sensor suhu yang digunakan ialah MF-52 Thermistor. MF-52 merupakan thermistor jenis NTC yang memiliki respon yang cepat. Gambar 2 merupakan penampakan dari MF-52.



Gambar 2 MF-52 thermistor

Rangkaian pengkondisi sinyal yang dapat digunakan untuk pembacaan suhu tubuh dapat dibentuk dengan rangkaian pembagi tegangan sederhana yang terlihat pada gambar 3 di bawah. Dimana, R_{th} merupakan thermistor dan R_2 ialah resistor pembagiannya.



Gambar 3 Pengkondisi sinyal pengukuran suhu tubuh

Nilai resistansi R_2 yang dipasang ialah 10KΩ dan memiliki toleransi 1% agar memiliki kepresisian yang tinggi. Hubungan nilai suhu, resistansi, dan tegangan keluaran dapat diketahui dengan menggunakan rumus pembagi tegangan. Berikut contoh perhitungan saat suhu 37°C,

Saat $T = 37^{\circ}\text{C}$, $R_{th} = 6446\Omega$

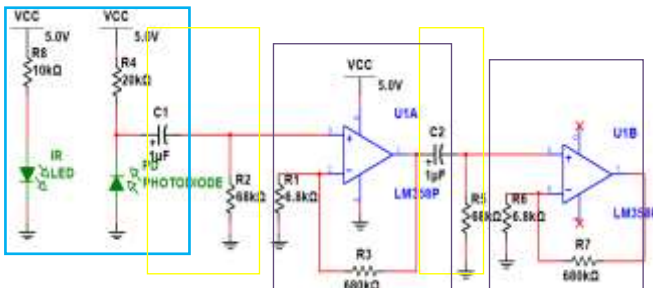
$$V_{out} = \frac{R_{th}}{R_{th} + R_2} \times V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{6446}{6446 + 10000} \times 5$$

$$V_{out} = 1,95\text{ V}$$

2.2 Blok Analog Pengukuran Denyut Jantung

Blok analog ini tersusun oleh sensor, pengkondisi sinyal, dan ADC. Sensor digunakan untuk mengubah *measurand* yang berupa aliran denyut arteri menjadi bentuk besaran elektrik yang dalam perancangan ini berupa arus. Pengkondisi sinyal digunakan untuk mengubah arus menjadi besaran yang dapat dibaca oleh ADC yakni tegangan. Gambar 4 di bawah merupakan skematik dari sensor dan pengkondisi sinyal pengukuran denyut jantung.



Gambar 4 Blok analog pengukuran denyut Jantung

Pada gambar 4 bagian yang berada di kotak berwarna biru merupakan sensor pengukuran denyut jantung. Sensor ini terdiri dari LED inframerah yang dibias maju dan dipasang dengan fotodiode yang dibias mundur

Bagian yang berada pada kotak kuning pada gambar tersebut merupakan rangkaian tapis lolos frekuensi tinggi (HPF) yang memiliki frekuensi *cut-off* 0,23Hz.

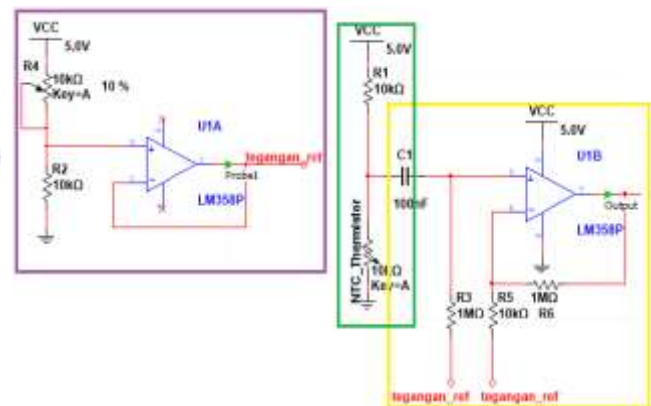
Sedangkan bagian yang berada di dalam kotak warna ungu merupakan tapis aktif lolos frekuensi rendah (*active filter*). Tapis ini menapis frekuensi di atas 2,4 Hz. Selain digunakan untuk menapis rangkaian ini digunakan untuk menguatkan sinyal sebesar 101 kali.

2.3 Blok Analog Pengukuran Frekuensi Nafas

Blok analog ini tersusun oleh sensor, pengkondisi sinyal, dan ADC. Sensor digunakan untuk mengubah *measurand* yang berupa aliran udara dari rongga hidung yang mengandung panas menjadi bentuk besaran elektrik yang dalam perancangan ini berupa tegangan. Gambar 5 di bawah merupakan skematik dari sensor dan pengkondisi sinyal pengukuran denyut jantung.

Pada gambar 5 Sensor pengukuran frekuensi pernapasan yang dipakai merupakan sensor termal yang memanfaatkan panas aliran udara dari hidung. Sehingga sensor yang digunakan pada perancangan kali ini ialah sensor *thermistor* MF-52, produk yang sama untuk pengukuran suhu tubuh .

Dari gambar 5 pula bagian yang berwarna hijau adalah rangkaian pembagi tegangan sensor. Tegangan keluaran maksimal yang dapat dihasilkan rangkaian ini berkisar 2,5 Volt, hal ini terjadi saat suhu yang mempengaruhi *thermistor* berkisar pada 25°C dan nilai resistansi *thermistor* ialah 10 K Ω . Sedangkan perubahan panas yang ditimbulkan dari udara pernapasan hanya sekitar $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dari suhu awal yang mempengaruhi *thermistor*. Sehingga perubahan tegangan yang dapat dihasilkan pada rangkaian ini adalah $\pm 0,08$ Volt (80 mV), karena setiap perubahan 1°C akan menghasilkan perbedaan tegangan 0,04. Karena kecilnya perubahan tegangan yang dapat diukur maka dibutuhkan suatu rangkaian yang dapat membaca perubahan tegangan ini



Gambar 5 Blok analog pengukuran frekuensi nafas

Bagian kotak berwarna ungu adalah merupakan rangkaian pembentuk tegangan referensi. Rangkaian ini digunakan untuk memberi bias pada resistor dan memberi nilai referensi pada masukan *inverting* opamp. Rangkaian ini terdiri rangkaian pembagi tegangan dan rangkaian *buffer* pada opamp.

Bagian kotak berwarna kuning adalah rangkaian *comparator*. Dimana apabila tegangan di terminal V^+ pada opamp lebih besar daripada tegangan di sisi terminal V^- , maka nilai keluaran opamp bernilai logika '1'. Dan sebaliknya apabila tegangan di terminal V^- pada opamp lebih besar daripada tegangan di sisi terminal V^+ , maka nilai keluaran opamp bernilai logika '0'.

2.4 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

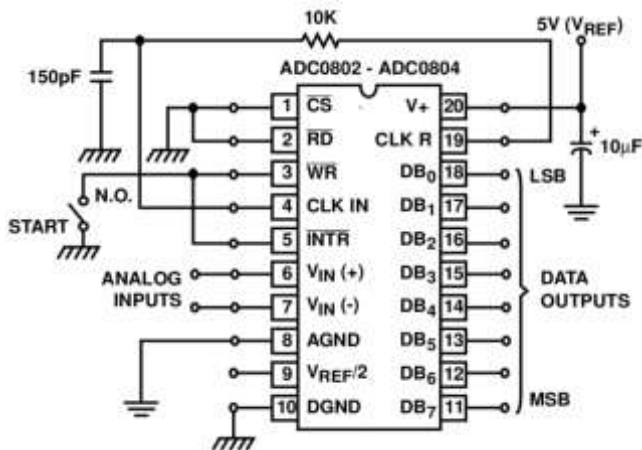
menghasilkan tegangan 0-0,5V jika berlogika 0 dan menghasilkan tegangan 2-3,3V jika berlogika 1. ADC-0804 memiliki fitur internal clock sehingga dapat dijalankan walaupun tidak mendapatkan suplai clock eksternal, karena fitur inilah dapat memungkinkan ADC-0804 dijalankan pada mode *free running*. Tegangan 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.

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

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

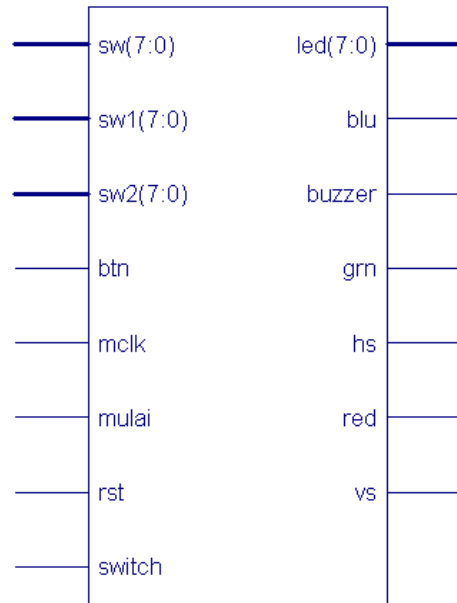
$$\text{Nilai Digital} = 100.$$



Gambar 6 Perancangan ADC

2.5 Blok Digital FPGA

Setelah melalui rangkaian ADC nilai-nilai analog dari sensor maupun rangkaian pengkondisi sinyal akan berubah menjadi nilai-nilai biner. Nilai biner inilah yang akan diproses dan ditampilkan secara visual agar pengguna dapat mengetahui keadaan parameter yang diukur. Untuk dapat ditampilkan pada VGA data biner ini diolah sedemikian rupa sehingga dapat dimengerti oleh pengguna.



Gambar 7 Core pengukuran tiga tanda vital tubuh

Blok digital yang memproses data ini disebut *Core* atau *Processor*. Pada perancangan ini *Core* dibuat dengan menggunakan FPGA Xilinx Spartan-6. Setiap perancangan *Core* pada FPGA, *Core* biasanya disusun oleh blok-blok yang memiliki fungsi masing-masing agar lebih memudahkan dalam pembentukan sistem *Core* itu sendiri.

Perancangan umum *Core* pada FPGA untuk pengukuran tiga tanda vital tubuh yang kami rancang terlihat pada gambar 7 di atas.

Pin sebelah kiri pada gambar merupakan input *Core* yang terhubung dengan beberapa komponen input seperti ADC. Sedangkan pin sebelah kanan pada gambar merupakan output *Core* yang terhubung dengan komponen output seperti VGA. Tabel 1 berikut memaparkan fungsi pin-pin pada gambar 7 di atas.

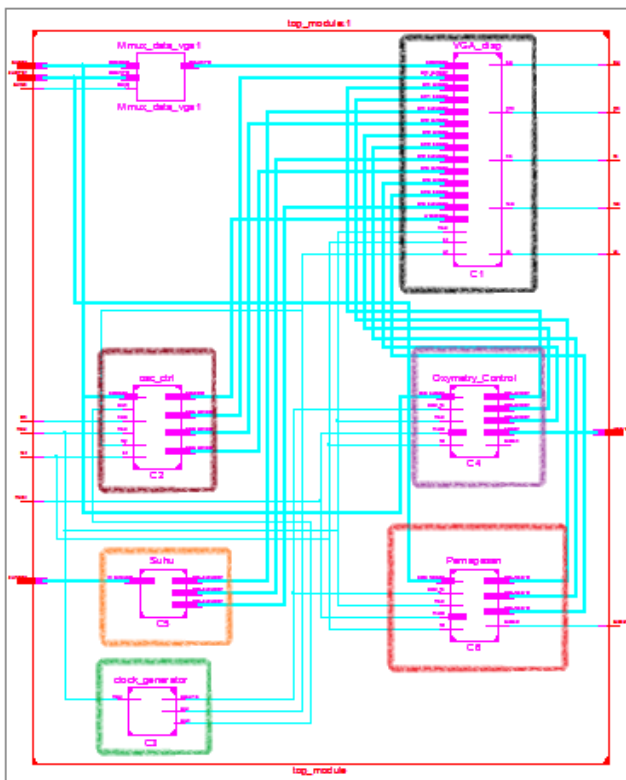
Tabel 1 Entity Core pengukuran tiga tanda vital tubuh

No	Pin	Bit	Mode	Fungsi
1	Sw	8	Input	Input ADC pengukuran suhu tubuh
2	Sw1	8	Input	Input ADC pengukuran denyut jantung
3	Sw1	8	Input	Input ADC pengukuran frekuensi nafas
4	Btn	1	Input	Holding grafik keluaran
5	Mclk	1	Input	Master Clock eksternal 50MHz
6	Mulai	1	Input	Tombol mulai
7	Rst	1	Input	Tombol reset
8	Switch	1	Input	Pengaturan mode gelombang keluaran
9	Led	8	Output	Indikator state
10	Blu	1	Output	Sinyal warna biru VGA
11	Buzzer	1	Output	Indikator adanya denyutan
12	Grn	1	Output	Sinyal warna hijau VGA
13	Hs	1	Output	Sinyal sinkron Hsync VGA
14	Red	1	Output	Sinyal warna merah VGA
15	Vs	1	Output	Sinyal sinkron Vsync VGA

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa *Core* biasanya tersusun dari beberapa komponen yang memiliki fungsi sendiri-sendiri. Skematik total perancangan *Core* pengukur tiga tanda vital tubuh terlihat pada gambar 8. Komponen-komponen digital yang menjadi penyusun *Core* pada perancangan kali ini adalah (terlihat pada gambar 8),

1. *Clock_generator* (berada pada kotak hijau) : berfungsi untuk membagi clock master 50MHz menjadi clock sesuai kebutuhan komponen-komponen lain.
2. *Osc_ctrl* (berada pada kotak coklat) : berfungsi mengatur aktivitas keluarannya sinyal gelombang yang dikirim ke komponen *VGA_disp*.
3. *VGA_disp* (berada pada kotak hitam) : berfungsi mengatur sinyal keluaran *VGA* agar dapat ditampilkan pada layar *VGA* sesuai dengan kebutuhan.
4. *Suhu* (berada pada kotak oranye) : berfungsi mengatur keluaran nilai suhu tubuh dari input *ADC*.
5. *Oximetry_control* (berada pada kotak ungu) : berfungsi mengatur keluaran nilai denyut jantung dari input *ADC*.
6. *Pernapasan* (berada pada kotak merah) : berfungsi mengatur keluaran nilai frekuensi pernapasan dari input *ADC*.

Komponen-komponen tersebut saling terhubung sesuai dengan tugasnya dan membentuk *Core* *FPGA* untuk mengukur tiga tanda vital tubuh.

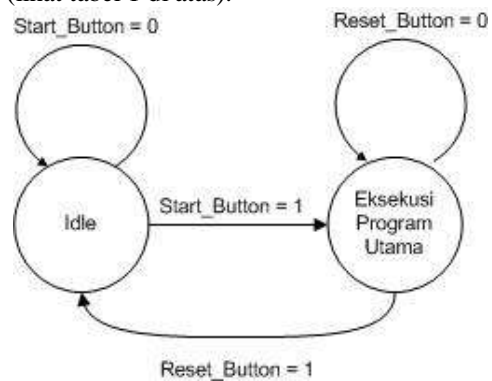


Gambar 8 Komponen penyusun *Core*

2.6 State Diagram

Karena mampu bekerja secara paralel, akan lebih mudah memahami alur kerja *FPGA* melalui *state diagram*nya (diagram tingkah laku). Pada perancangan kali ini *state diagram* sistem terlihat pada gambar 9 di bawah.

Terlihat pada gambar terdapat dua *state* utama yang menyusun sistem pengukuran tiga tanda vital tubuh ini. “*Start_button*” merupakan tombol masukan “mulai” pada entity dan “*Reset_button*” merupakan tombol “rst” pada entity (lihat tabel 1 di atas).

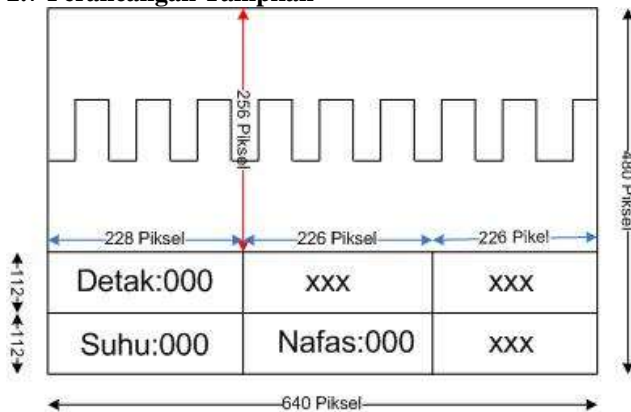


Gambar 9 *State diagram* blok digital

Dalam setiap *state* memiliki proses yang berbeda-beda, berikut penjelasan setiap *state*

- ❖ *State idle* : pada *state* ini terjadi proses kalibrasi sensor, dimana setelah sensor terpasang pada objek dan sistem telah dinyalakan maka pada *state* ini keluaran sinyal dari sensor akan ditampilkan pada layar tetapi tidak dihitung nilai parameternya. Hal ini akan terus berulang sebelum tombol “*Start_button*” bernilai 1. Dan apabila “*Start_button*” bernilai 1 maka sistem akan pindah ke *state* lain yakni *state* “*Eksekusi Program Utama*”.
- ❖ *State Eksekusi Program Utama* : pada *state* ini terjadi proses perhitungan parameter yang diukur yakni denyut jantung per menit (BPM), frekuensi napas per menit, dan suhu tubuh dalam °C. *State* ini pula parameter-parameter tersebut ditampilkan pada layar *VGA*. Hal ini akan terus berulang selama “*Reset_button*” bernilai 0. Dan apabila “*Reset_button*” bernilai 1 maka sistem akan pindah ke *state* lain yakni “*idle*”.

2.7 Perancangan Tampilan



Gambar 10 Perancangan tampilan

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 10 di atas.

2.8 Perancangan Pemasangan Sensor

Peletakan sensor pada objek pengukuran merupakan salah satu hal yang penting dalam pengukuran. Sehingga dibutuhkan suatu sistem mekanik agar memudahkan pengguna menggunakan alat pengukuran tiga tanda vital ini. Gambar 11a) merupakan gambar pemasangan sensor pengukuran denyut jantung. Gambar 11b) merupakan gambar pemasangan sensor pengukuran frekuensi pernapasan. Gambar 11c) merupakan gambar pemasangan sensor pengukuran suhu tubuh. Sedangkan gambar 11d) merupakan gambar pemasangan sensor pada keseluruhan sistem pengukuran.



Gambar 11 Pemasangan mekanik sensor

3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Pengukuran Suhu Tubuh

Pengujian pengukuran suhu tubuh dilakukan dengan menempelkan sensor *thermistor* di jari objek pengukuran. Sebagai pembandingan dari pengukuran suhu tubuh ini digunakan termometer digital. Berikut tabel perbandingan nilai pengukuran suhu tubuh dengan alat perancangan dan termometer suhu tubuh digital.

Berdasarkan tabel 2, dapat diketahui perbandingan antara hasil pengukuran suhu tubuh dengan menggunakan termometer tubuh digital dengan hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan alat. Berdasarkan hasil perbandingan, dapat diketahui *error* dari alat yang telah dibuat. Berikut merupakan contoh perhitungan *error* pada objek1.

$$E = \frac{S - Y}{S} \times 100\% = \frac{32,4 - 32}{32,4} \times 100\% = 1,23\%$$

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

$$\text{Error Rata-rata} = \frac{\sum E}{10} = \frac{7}{10} = 0,72\%$$

Tabel 2 Pengujian pengukuran suhu tubuh

No	Nama	Suhu Tubuh (°C)			
		Validasi (S)	Alat TA (Y)	Error (°C)	Error (%)
1.	Objek1	32,4	32	0,4	1,23
2.	Objek2	32,8	32,5	0,3	0,91
3.	Objek3	33,2	33	0,2	0,60
4.	Objek4	32,2	32	0,2	0,62
5.	Objek5	33,1	33	0,1	0,30
6.	Objek6	33,5	33	0,5	1,49
7.	Objek7	32,5	32,5	0	0,00
8.	Objek8	33,3	33	0,3	0,90
9.	Objek9	32,6	32,5	0,1	0,31
10.	Objek10	32,8	32,5	0,3	0,91
Error Rata-rata = $\frac{\sum E}{10}$				0,28	0,72

3.2 Pengujian Pengukuran Denyut Jantung

Pengujian pengukuran frekuensi denyut jantung dilakukan dengan menempelkan sensor PPG di jari objek pengukuran. Sebagai pembandingan pada pengujian kali ini digunakan osiloskop sebagai pembandingan. Perhitungan BPM dengan osiloskop dilakukan dengan mencari frekuensi gelombang lalu dikalikan dengan 60. Berikut tabel perbandingan nilai pengukuran frekuensi denyut dengan alat perancangan dan perhitungan dengan osiloskop.

Tabel 3 Pengujian pengukuran denyut Jantung menggunakan alat

No	Nama	Denyut Jantung (BPM)		Error (BPM)	Error (%)
		Validasi (S)	Alat TA (Y)		
1.	Objek1	74	72	2	2,70
2.	Objek2	78	76	2	2,56
3.	Objek3	78	76	2	2,56
4.	Objek4	69	68	1	1,45
5.	Objek5	80	80	0	0,00
6.	Objek6	78	76	2	2,56
7.	Objek7	75	72	3	4,00
8.	Objek8	69	68	1	1,45
9.	Objek9	76	76	0	0,00
10.	Objek10	70	68	2	2,86
Error Rata-rata = $\frac{\sum E}{10}$				1,5	2,01

Berdasarkan tabel 3, dapat diketahui perbandingan antara hasil perhitungan frekuensi denyut Jantung dengan menggunakan osiloskop dengan hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan alat. Berdasarkan hasil perbandingan, dapat diketahui *error* dari alat yang telah dibuat. Berikut merupakan contoh perhitungan *error* pada objek1.

$$E = \frac{S - Y}{S} \times 100\% = \frac{74 - 72}{74} \times 100\% = 2,7 \%$$

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

$$\text{Error Rata-rata} = \frac{\sum E}{10} = \frac{20,1}{10} = 2,01 \%$$

3.3 Pengujian Pengukuran Frekuensi Pernapasan

Pengujian pengukuran frekuensi pernapasan dilakukan dengan menempelkan sensor *nebullizer* di bagian wajah objek pengukuran. Sebagai pembanding dilakukan pernapasan manual, objek dimohon melakukan nafas bervariasi setiap menit. Ketika menggunakan alat TA objek bernapas sepertiga dari pernapasan dengan perhitungan. Karena perhitungan nafas setiap 20 detik.

Tabel 4 Pengujian frekuensi nafas

No	Nama	Frekuensi Nafas (BPM)		Error (BPM)	Error (%)
		Validasi (S)	Alat TA (Y)		
1.	Objek1	9	9	0	0,00
2.	Objek2	12	12	0	0,00
3.	Objek3	10	9	1	10,00
4.	Objek4	15	15	0	0,00
5.	Objek5	12	12	0	0,00
6.	Objek6	11	9	2	18,18
7.	Objek7	8	6	2	25,00
8.	Objek8	13	12	1	7,69
9.	Objek9	20	18	2	10,00
10.	Objek10	17	15	2	11,76
Error Rata-rata = $\frac{\sum E}{10}$				1	8,26

Tabel 4 di atas merupakan perbandingan nilai pengukuran frekuensi pernapasan dengan alat perancangan dan

perhitungan manual. Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui perbandingan antara hasil perhitungan frekuensi pernapasan dengan menggunakan perhitungan manual dengan hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan alat. Berdasarkan hasil perbandingan, dapat diketahui *error* dari alat yang telah dibuat. Berikut merupakan contoh perhitungan *error* pada objek1.

$$E = \frac{S - Y}{S} \times 100\% = \frac{9 - 9}{9} \times 100\% = 0 \%$$

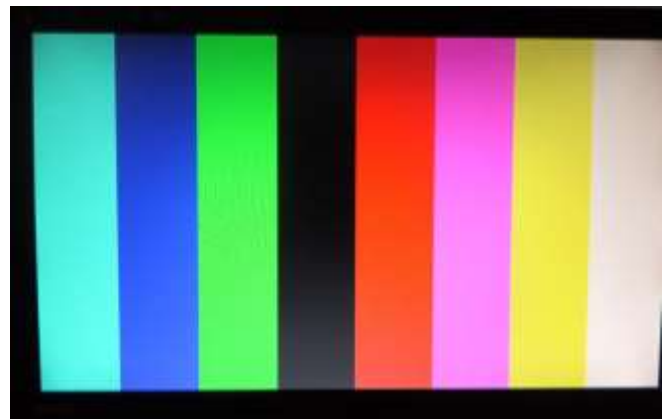
Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui *error* rata-rata sistem dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Error Rata-rata} = \frac{\sum E}{10} = \frac{82,6}{10} = 8,26 \%$$

Margin *error* yang cukup besar ini dikarenakan faktor pengali 3 pada alat TA. Alat ini hanya dapat mengeluarkan nilai yang memiliki faktor nilai kelipatan 3.

3.4 Output VGA

Gambar 12 di bawah merupakan pengujian terhadap komponen sinkron FPGA kepada VGA. Terlihat pada gambar garis-garis warna, warna diberikan pada setiap kotak yang diberi lokasi piksel x dan piksel y tertentu. Karena resolusi warna yang dipakai 8 bit, maka akan terdapat 8 warna berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar. Komponen sinkron sudah bekerja dengan baik karena sudah terhubung dan mampu memberi perintah kepada VGA.



Gambar 12 Pengujian warna dan sinkron VGA

Gambar 13 di bawah merupakan tampilan keluaran pada VGA hasil dari desain yang dibuat di dalam *core* FPGA. Terlihat pada gambar tersebut bahwa nilai pada parameter yang dicari (“Detak”, “Suhu”, dan “Nafas”) sudah dapat ditampilkan sesuai dengan pengukuran.



Gambar 13 Pengujian komponen sinkron VGA

3.5 Hasil Perancangan Core pada FPGA

Desain core yang dibuat pada FPGA Xilinx memiliki beberapa parameter *design summary* seperti tabel 5.

Tabel 5 *Design summary* perancangan FPGA

No	Slice Logic	Digunakan	Tersedia	Penggunaan(%)
1	Register	167	18.224	1
2	LUT	570	9.112	6
3	Memory	125	2.176	5
4	Interconnection	108	4.556	2
5	Fanout Average	4	-	-

4. Kesimpulan

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

1. Telah berhasil dibuat suatu alat pengukur tiga tanda vital tubuh yang mengukur suhu tubuh, frekuensi denyut jantung dan frekuensi pernapasan.
2. Penggunaan FPGA sebagai core dari sistem pengukuran tiga tanda vital tubuh telah mampu dibuat dengan spesifikasi penggunaan 19% dari total spesifikasi yang dimiliki Spartan-6.
3. Pengujian keseluruhan dari pengukuran suhu tubuh memperlihatkan *error* rata-rata sebesar 0,72% jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan termometer digital.
4. Pengujian keseluruhan dari pengukuran denyut jantung memperlihatkan *error* rata-rata sebesar 2,01 % jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan osiloskop.
5. Pengujian keseluruhan dari pengukuran frekuensi pernapasan memperlihatkan *error* rata-rata sebesar 8,26% jika dibandingkan dengan pengukuran secara manual.
6. Spesifikasi alat berdasarkan pengujian keseluruhan sistem yaitu :
 - Range pengukuran suhu tubuh : 30-40°C

- Range pengukuran denyut Jantung : 0–200 BPM
- Range pengukuran frekuensi nafas : 0-60 BPM
- Resolusi pengukuran suhu tubuh : $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- Resolusi pengukuran denyut Jantung : ± 4 BPM
- Resolusi pengukuran frekuensi nafas : ± 3 BPM
- *Error* Rata-Rata pengukuran suhu tubuh: 0,72 %
- *Error* Rata-Rata pengukuran denyut Jantung: 2,0 %
- *Error* Rata-Rata pengukuran frekuensi nafas : 8,2 %

Referensi

- [1] G. D. Baura, *Medical Devices Technologies*, Elsevier, 2012.
- [2] J. G. Webster, *Medical Instrumentation : Application and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [3] H. Freeman, "Skin and Body Temperature of Normal Individuals Under Cold Condition," pp. 597-606, 1938.
- [4] J. Enderle, *Biomedical Engineering*, Elsevier, 2010.
- [5] S. Lopez, *Pulse Oximeter Fundamentals and Design*, Japan: Freescale Semiconductor, 2011.
- [6] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensor*, Springer, 2010.
- [7] P. P. Chu, *FPGA Prototyping by VHDL Examples*, Wiley, 2008.
- [8] J. F. Wakerly, *Digital Design : Principles & Practice*, Prentice Hall, 1999.
- [9] W. Jatmiko, *Implementasi Berbagai Algoritma Neural Network & Wavelet Pada FPGA*, Jakarta: Universitas Indonesia, 2011.
- [10] Xilinx.Inc, *Datasheet NEXYS 3 Spartan 6*, 2013.