

# RANCANG BANGUN PULSE OXIMETRY DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROLLER

Andrey Arantra Putra<sup>1)</sup>, Kemalasari, Ir., M.T.<sup>2)</sup>, Paulus Susetyo W, S.T.<sup>3)</sup>

Teknik Elektronika - Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

ITS Surabaya Indonesia 60111

1) andreyap1990@gmail.com 2) @eepis-its.edu 3) @eepis-its.edu

**Abstrak** – Pulse oximetry adalah suatu metode non-invasif untuk mengukur persentase hemoglobin (Hb) yang saturasi dengan oksigen di dalam darah. Metode ini menggunakan perbedaan panjang gelombang dari cahaya merah (660 nm) dan cahaya inframerah (940 nm) yang ditangkap oleh sensor deteksi setelah melewati pembuluh balik dan pembuluh kapiler pada ujung jari telunjuk. Data dari sensor deteksi tersebut dikirim ke mikrokontroler kemudian ditampilkan ke LCD. Di mikrokontroler, data tersebut diolah kemudian diproses untuk mendapatkan data konsentrasi oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>), deoxyhemoglobin (RHb), dan oksigen saturasi (SpO<sub>2</sub>).

**Kata kunci** : *Pulse Oximetry, Noninvasive, Oxyhemoglobin, Deoxyhemoglobin, oksigen saturasi dan Mikrokontroler*

## I. PENDAHULUAN

Hemoglobin merupakan molekul protein di dalam darah yang dapat mengikat oksigen. Salah satu indikator yang sangat penting dalam supply oksigen didalam tubuh adalah Oksigen saturasi (SpO<sub>2</sub>). Karena oksigen saturasi bisa menunjukkan apakah hemoglobin dapat mengikat oksigen atau tidak. Sehingga kekurangan oksigen yang beresiko pada kerusakan organ-organ penting didalam tubuh dan kematian dapat ditanggulangi. Yang dimaksud dengan oksigen saturasi adalah persentase dari pada Hemoglobin yang mengikat oksigen dibandingkan dengan jumlah total hemoglobin yang ada di dalam tubuh. Hubungan antara tekanan parsial oksigen dalam darah (PO<sub>2</sub>) dan oksigen saturasi dalam darah adalah “Semakin tinggi PO<sub>2</sub> dalam darah maka semakin tinggi pula SaO<sub>2</sub>. Nilai PO<sub>2</sub> dalam keadaan normal adalah sekitar 90 mm Hg dan oksigen saturasi paling sedikit 95 %[1]. Oleh karena itu, sangat sulit untuk mengukur kadar oksigen yang saturasi dengan hemoglobin dalam darah.

Pada saat ini, metode pengukuran kadar oksigen yang saturasi dengan hemoglobin adalah dengan metoda invasive. Pada metode ini, sensor untuk mengukur kadar oksigen dimasukkan kedalam tubuh dengan cara melukai jaringan tubuh, sehingga ketidak tenangan karena sakit, dan kemungkinan timbulnya infeksi serta pendarahan merupakan kelemahan dari metode ini.

Pulse oximetri merupakan suatu metode non-invasif untuk memonitor persentase hemoglobin yang saturasi dengan oksigen. Metode ini menggunakan perbedaan panjang gelombang dari cahaya merah (660 nm) dan cahaya infra merah (910 nm) yang berasal dari sensor transmisi. Kemudian cahaya merah dan cahaya infra merah tersebut melewati pembuluh balik dan pembuluh kapiler pada jari tangan, dan ditangkap oleh sensor deteksi. Data dari sensor deteksi tersebut dikirim ke mikrokontroler kemudian ditampilkan ke LCD. Di mikrokontroler, data tersebut diolah kemudian diproses untuk mendapatkan data konsentrasi oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>), deoxyhemoglobin (RHb), dan oksigen saturasi (SpO<sub>2</sub>).

Pulse oximetry sudah pernah di buat dengan menggunakan metode FFT(Fast Fourier Transform), menggunakan ADC external dan menggunakan MCS51 dengan program assemblynya. Pada project tersebut digunakan tampilan PC. Namun hal tersebut tidak efisien karena tidak portable jadi tidak bias di bawa kemana-mana. Dikarenakan adanya permasalahan di atas maka dibuatlah pulse oximetry digital portable dengan pemilihan sensor deteksi yang tepat beserta dengan rangkaian pengkondisian sinyal yang tepat. Setelah itu hasilnya di tampilkan ke LCD dan di desain dengan paket yang minimalis agar mudah di bawa.

## II. DASAR TEORI

### A. PULSE OXIMETRY

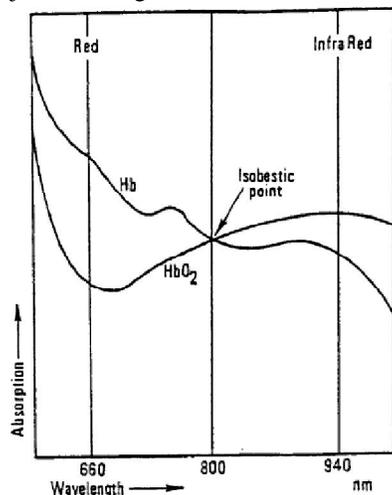
Pulse oximetry adalah suatu metode noninvasif untuk me-monitoring oksigen saturasi (SpO<sub>2</sub>) dari hemoglobin. Sekarang ini, alat pulse oximetry banyak digunakan di tempat pelayanan kesehatan yang mencakup perawatan intensif, ruang penyembuhan rehabilitasi, monitoring pasien anesthesia [2].

Alat pulse oximetry mengijinkan dua panjang gelombang cahaya yang berbeda (merah, biasanya 550 nm dan inframerah, biasanya 950 nm) untuk menembus sekeliling bagian peripheral dari tubuh pasien, biasanya ujung jari atau daun telinga, dan mengukur tiap panjang gelombang cahaya yang relatif berkurang (R-ratio). Jaringan biologi yang sedang diukur terdiri dari banyak unsur-unsur,

mencakup kapiler, arteri dan vena, kulit dan jaringan yang lainnya. Kecuali untuk pembuluh darah arteri, berkurangnya cahaya oleh unsur jaringan lainnya adalah relatif tetap. Transmisi cahaya melalui arteri adalah denyutan yang diakibatkan pemompaan darah oleh jantung [2].

Denyutan pembuluh darah arteri tersebut membawa tingkatan oksigen yang paling tinggi. Oksigen di dalam darah sebagian besar berbentuk hemoglobin. Hemoglobin adalah 100% oksigen yang disaturasi membawa empat molekul oksigen per molekul hemoglobin. Oksigen saturasi dari darah yang diukur oleh pulse oximetry adalah suatu ukuran rata-rata persentase saturasi suatu populasi hemoglobin. Bagaimanapun itu tidak mengukur oksigen saturasi untuk semua bagian tubuh karena oximeter terbatas dalam mengukur hemoglobin oksigen saturasi di dalam jaringan yang relatif tipis, seperti daun telinga atau jari. Apalagi, oximeter tidak langsung mengukur konsentrasi hemoglobin di dalam darah yang dapat mengakibatkan kesalahan pengukuran jika ada hemoglobin yang tidak normal. Misalnya, pada pasien dengan kasus anemia, konsentrasi hemoglobin darah rendah, dan pulse oximetry tidak memberikan suatu indikasi yang akurat tentang jumlah oksigen dalam aliran darah [2].

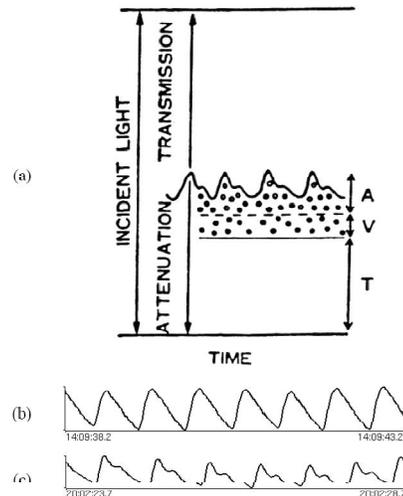
Pulse oximetry didasarkan pada prinsip tentang oxygenated hemoglobin ( $HbO_2$ ) menyerap cahaya yang berbeda dengan deoxygenated hemoglobin ( $Hb$ ), seperti ditunjukkan oleh gambar 2.1.



**Gambar 1.** Penyerapan spectra  $Hb$  dan  $HbO_2$ . Titik pertemuan adalah panjang gelombang penyerapan dua format hemoglobin yang sama [3].

Alat pulse oximetry menggunakan led merah dan inframerah bersama-sama dengan photodetector untuk mengatur arus di dalam rangkaian relatif terintegrasi untuk penyerapan cahaya yang melalui jari atau daun telinga. Pengurangan cahaya dapat dilihat seperti gambar 2.2 dan dapat dibagi dalam tiga bagian besar : pengurangan cahaya akibat darah arteri,

pengurangan cahaya akibat darah vena, dan pengurangan cahaya akibat jaringan. Pengurangan cahaya akibat jaringan tetap dipertimbangkan dan hanya perubahan periode waktu yang sangat lama akibat kerugian atau keuntungan beban. Pengurangan cahaya akibat darah vena dapat menyebabkan beberapa sinyal akibat perubahan di dalam aliran darah dan juga perubahan akibat level oksigen darah. Bagaimanapun, pengurangan cahaya akibat aliran darah vena dan jaringan menciptakan suatu sinyal yang relatif stabil (DC) dan difilter di dalam perhitungan letak dari pulse oximetry.



**Gambar 2.** (a) Transmisi cahaya melalui jari ketika pengurangan cahaya disebabkan oleh darah arteri (A), darah vena (V) dan jaringan (T). (b) dan (c) menunjukkan sinyal denyutan umum yang dideteksi oleh perubahan intensitas dari pendeteksian cahaya ketika cahaya disorotkan melalui jari, setelah komponen dari pengurangan cahaya akibat darah vena dan jaringan terfilter [3].

Komponen pengurangan cahaya oleh aliran denyut dari darah arteri di dalam pulse oximetry adalah sinyal AC. Arus AC memantulkan absorpsi cahaya inframerah yang berbeda dengan absorpsi cahaya merah yang menyerap warna darah dari pemantulan langsung oksigen saturasi dari hemoglobin di dalam darah. Penyerapan lebih tinggi spektrum cahaya inframerah dari pada spektrum cahaya merah adalah indikasi dari oksigen saturasi yang tinggi dan absorpsi lebih tinggi spektrum cahaya merah dari pada spektrum cahaya inframerah adalah indikasi dari oksigen saturasi yang rendah.

Ketelitian dan kemampuan pulse oximetry dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek pengukuran mencakup cahaya luar atau lingkungan, hemoglobin abnormal, kecepatan dan irama pulsa, dan fungsi cardiac(jantung). Selain itu, pulse oximetry tidak dapat memberikan pengukuran yang akurat tentang pernapasan sehat. Misalnya, jika jalan udara pasien dihalangi dan ia

tidak mampu untuk bernapas, di sana ada suatu penundaan antara peristiwa hypoxic dan titik dimana alat pulse oximetry mengenali oksigen saturasi yang turun [2]. Sebagai tambahan unsur tertentu seperti karbon monoksida mungkin meningkat di hemoglobin sebagai pengganti oksigen. Bagaimanapun, pulse oximetry tidak akan mendeteksi adanya karbon monoksida karena hemoglobin akan nampak berwarna merah dan akan mempunyai spektrum penyerapan yang sama dengan oksigen saturasi.

## B. METODE PULSE OXIMETRY

Fungsi dari oksigen saturasi arteri ( $SpO_2$ ) digambarkan sebagai “perbandingan  $HbO_2$  dengan total jumlah Hb arteri yang tersedia untuk melepas oksigen”. Ketika diukur menggunakan pulse oximetry, perbandingannya yaitu,

$$SpO_2 = \frac{[HbO_2]}{[HbO_2] + [Hb]} \quad (1)$$

dimana tanda kurung menandakan konsentrasi dan “p” mewakili “pulse oximetry” [4].

Warna merah pada darah dihasilkan dari relatifitas penyerapan yang kuat pada panjang gelombang cahaya yang pendek oleh molekul Hb dan  $HbO_2$ . Warna yang lebih gelap pada darah vena dibandingkan dengan banyaknya oksigen darah arteri berkaitan dengan fakta bahwa Hb menyerap lebih merah dan lebih sedikit cahaya biru dibandingkan  $HbO_2$ . perbedaan warna molekul Hb dan  $HbO_2$  adalah kunci dari pulse oximetry [4].

Perambatan cahaya di dalam suatu medium yang sama diuraikan oleh hukum Beer-Lambert. Di sini, intensitas  $I$  dari cahaya di dalam medium sebanding intensitas yang dipancarkan  $I_0$  dan pengurangan bersifat eksponensial dengan koefisien medium penyerapan  $\varepsilon$ , konsentrasi dari medium penyerapan  $\beta$ , dan panjang lintasan  $l$  [4].

$$I = I_0 \cdot e^{-\varepsilon(\lambda)\beta L} \quad (2)$$

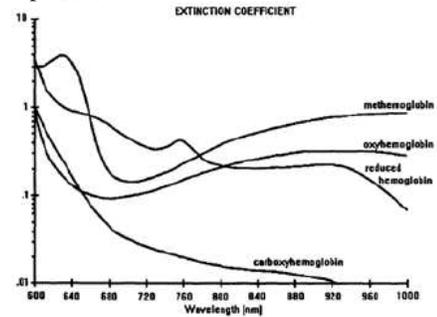
Pengambilan log dari kelebihan intensitas yang dipancarkan dengan intensitas yang diterima memberikan kita kerapatan cahaya  $A(\lambda)$ .

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\varepsilon(\lambda)\beta L = A(\lambda) \quad (3)$$

$$A_{total}(\lambda) = \sum_{i=1}^N \varepsilon(\lambda)_i \beta_i L \quad (4)$$

Dasar pulse oximetry melibatkan pemancaran dua frekuensi cahaya yang berbeda melalui suatu

contoh darah yang panjangnya diketahui berisi Hb dan  $HbO_2$  dan merekam jumlah cahaya yang diserap atas pertolongan suatu *photodetector*. Kedua molekul mempunyai koefisien berbeda pada masing-masing panjang gelombang (gambar 3.3). dengan membandingkan jumlah cahaya yang diserap pada dua frekuensi berbeda memungkinkan untuk menghitung persentase relatif  $HbO_2$  dengan total jumlah Hb yang tersedia atau  $SpO_2$  [4].



Gambar 3 Grafik Hb,  $HbO_2$ , methemoglobin, dan carboxyhemoglobin

Nilai R dihitung dari oximetry dengan pengambilan perbandingan yang dinormalkan menyangkut penyerapan cahaya merah dan inframerah. Nilai normal dihitung dengan pembagian komponen AC dari penyerapan pada frekuensi itu dan komponen DC yang mana pengambilan pada analog menggunakan waktu turunan dari penyerapan [4].

$$R = \frac{AC_{red} / DC_{red}}{AC_{ired} / DC_{ired}} \quad (5)$$

Nilai  $SpO_2$  dapat dihitung dengan memasukkan nilai R pada persamaan linier di bawah ini [5].

$$SpO_2 = 110 - 25 \times R \quad (6)$$

## C. RANGKAIAN

### 1. Oximetry

Sensor adalah sesuatu alat yang digunakan untuk mendeteksi adanya suatu perubahan lingkungan fisik atau kimia. Variabel keluaran dari sensor yang dirubah menjadi besaran-besaran listrik baik itu tegangan atau arus disebut Transduser.

Pada saat sekarang ini, sensor tersebut telah dibuat dengan ukuran sangat kecil bahkan hingga orde nanometer. Ukuran yang sangat kecil ini bertujuan untuk memudahkan pemakaian, efisiensi rangkaian maupun penghematan energi dari sebuah peralatan.

### ❖ Oxisensor D-25

Oxisensor D-25 ini terdiri dari LED dan Infrared sebagai transmitter dan LDR sebagai receiver



**Gambar 4.** Sensor oximetry

Salah satu penelitian yang telah dilakukan terkait penggunaan sensor oximetry ini adalah untuk pengambilan data saturasi oksigen dalam darah, khususnya ditujukan untuk orang pasca operasi.

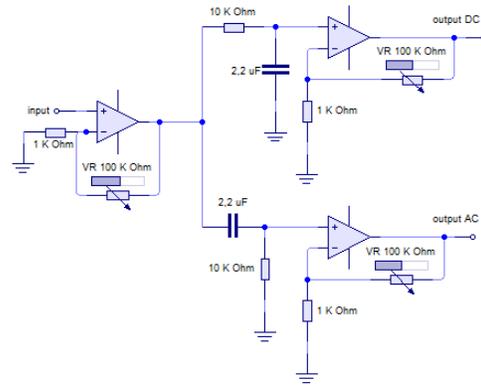


**Gambar 5.** Sensor oximetry sebelum di olah

#### ❖ Amplifier

Penguat operasional atau yang sering disebut OpAmp adalah suatu rangkaian terintegrasi yang berisi beberapa konfigurasi penguat diferensial. Penguat operasional memiliki dua masukan dan satu keluaran serta memiliki penguatan DC yang cukup tinggi. Agar dapat bekerja dengan baik, penguat operasional memerlukan tegangan catu (Vdc) yang simetris yaitu tegangan positif (+V) dan tegangan negatif (-V) terhadap tanah (ground). Pada gambar 2.17 adalah simbol dari penguat operasional.

Dalam perancangan, digunakan penguat kaskade (bertingkat) agar didapatkan penguatan yang cukup sekaligus memisahkan antara sinyal AC dengan sinyal DC dimana pada penguat ketiga, dikopling dengan kapasitor karena kapasitor akan memblok sinyal DC dan hanya melewatkan sinyal AC saja. Sedangkan pada penguat kedua, dikopling dengan diode germanium 0,3V agar hanya sinyal DC saja yang dikeluarkan. Penguat kaskade ini menggunakan jenis penguat Non-inverting sehingga sinyal outputnya masih sefase dengan sinyal inputnya.



**Gambar 6.** Rangkaian penguatan kaskade

Rangkaian ini memiliki penguatan sebesar

$$A_v = \frac{R_1}{R_f} + 1 \quad (7)$$

#### D. ATMEGA 32

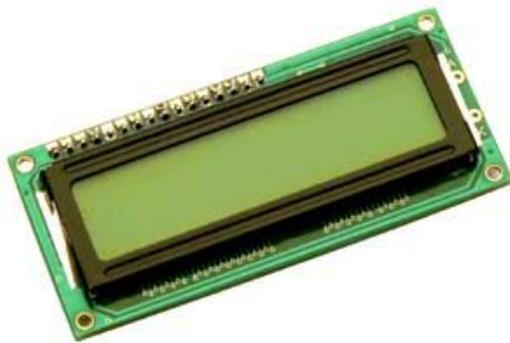
ATMEGA 8535 digunakan sebagai kontroler dalam proyek akhir ini. ATMEGA ini juga digunakan untuk konversi data analog menjadi data digital dan juga digunakan untuk fungsi timer. ATMEGA ini dapat digunakan dengan menggunakan supply sebesar 5 Volt.



**Gambar 7.** ATMEGA 8535

#### E. LCD 2 X 16

LCD merupakan kependekan dari Liquid Crystal Display yang berarti sebuah tampilan yang berasal dari sebuah cairan kristal. Karena jenis LCD yang digunakan pada tugas akhir ini adalah LCD 2x16, maka tampilannya sebanyak 16 karakter dan 2 baris. Susunan dari titik-titik inilah yang nantinya dapat menampilkan karakter yang beraneka ragam.

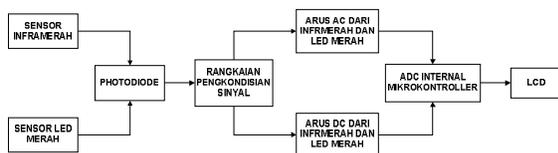


Gambar 8. LCD karakter 2x16

### III. PERENCANAAN SISTEM

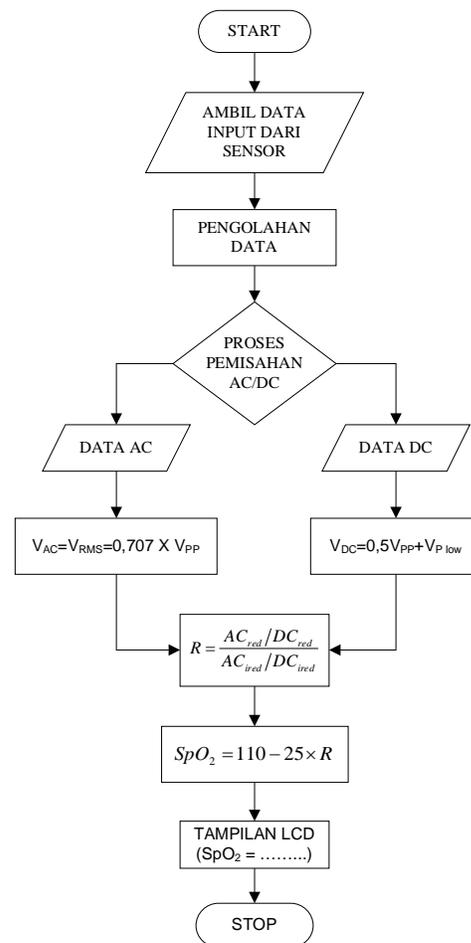
#### A. BLOK DIAGRAM DAN FLOW CHART SISTEM

Secara umum tugas akhir ini membahas tentang pengukuran kadar oksigen yang saturasi dengan hemoglobin dalam darah dan cara melakukan pemrograman agar mendapatkan hasil yang sesuai. Peralatan oximeter ini terbagi atas dua bagian dasar, yaitu bagian perangkat keras (hardware) dan bagian perangkat lunak (software). Pada alat oximeter ini akan digunakan mikrokontroler sebagai komunikasi data di bagian hardware. Secara umum gambaran sistem yang akan dirancang pada bab ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1. Blok Diagram Sistem

Dengan mengetahui blok diagram di atas, maka akan mempermudah dalam perencanaan dan pembuatan sistem alat pengukuran sinyal oximetry. Rangkaian oximeter tersebut akan bekerja dengan baik apabila sesuai dengan yang direncanakan. Adapun program yang akan dibuat mengikuti flowchart seperti gambar 4.2.



Gambar 4.2 Flowchart dari program

## B. INTEGRASI SISTEM DAN PACKAGING

Setelah semua bagian hardware bekerja dengan baik, semua hardware tersebut disatukan untuk menjadi satu bagian alat yang terintegrasi. Semua hardware yang telah terintegrasi kemudian dikemas atau di-package dalam box plastic sehingga terlihat rapi dan bagus.



Gambar 10. Packaging integrasi hardware

## IV. HASIL PENGUJIAN

Pada hasil akhir ini akan di tuliskan persentase nilai SpO2 pada orang lain beserta uji coba dengan alat oximetry standart.

Tabel 4.2 hasil pengujian level tegangan AC dan DC yang diterima oleh ADC

Nama	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Tegangan AC (volt)	Tegangan DC (volt)
Andre	174	76	0,6 - 1	1,2
Ghes	175	54	0,7 - 1	1,4
Berdy	157	57	0,6 - 1	1,4
Dessy	158	51	0,8 - 1	1,2
Semi	174	52	0,8 - 1	1,3
Yudi	170	60	0,6 - 1	1,3
Indra	168	51	0,8 - 1	1,2
Yohan	167	50	0,8 - 1	1,2
Hendy	173	50	0,8 - 1	1,3

Dari tabel 4.2 diatas adalah untuk mengetahui level tegangan yang dikeluarkan oleh LED dan infrared adalah berbeda-beda tiap orangnya. Untuk memudahkan perhitungan maka saya membuat program collect data. Yang artinya adalah menyimpan dulu nilai tegangan AC dan DC sebanyak 5 kali kemudian diambil rata-rata sehingga hasil yang didapat bisa mendekati akurat. Berikut adalah tabel yang menunjukkan nilai saturasi oksigen dari tabel 4.2

Tabel 4.3 hasil SpO2

Nama	AC(LED) / DC(LED)	AC(infrared) / DC(infrared)	R	SpO2 (%)
Andrey	2	2	1	85
Ghesdik	1	2	0,5	97,5
Berdy	1,8	2	0,9	87,5
Dessy	1.8	1.8	1	85
Semi	1,4	2	0,7	92,5
Yudi	1	1	1	85
Indra	2	2	1	85
Yohanes	1,4	1,4	1	85
Hendy	1,4	2	0,7	92,5

Nilai SpO2 disini memang berubah-ubah sesuai dengan darah yang mengalir pada ujung jari kita. Nilai normal dari saturasi oksigen dalam darah adalah diatas 75%. Umumnya saturasi oksigen dalam darah yaitu 85% namun Seseorang bisa saja mengalami penurunan kadar oksigen dalam darah ketika orang tersebut baru saja melakukan operasi atau sedang koma. Kekurangan oksigen yang sebentar saja pasca operasi dapat berakibat fatal, Karena otak juga butuh oksigen dan jika supply oksigen ke otak itu terganggu sebentar saja orang tersebut bisa meninggal. Untuk itu dirancanglah pulse oximetry agar bisa memonitor kadar oksigen dalam tubuh kita terutama bagi orang pasca melakukan operasi.

Tabel 4.4 Persentase error

Nama Pasien	Oximetry Proyek Akhir (%)	Oximetry standart (%)	Error (%)
Yanto	69	70	1,5
Andik	62	64	3,1

Pada tabel 4.4 di atas adalah hasil pengujian pada pasien yang menderita penyakit asma, pengambilan data dilakukan pada saat asma pada pasien kambuh, dan didapatkan hasil yang memiliki persentase error 1,5% - 3,1%.

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari pengujian pada peralatan serta hasil yang didapat dari proses oximetry ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil pengambilan data nilai saturasi oksigen, dapat disimpulkan bahwa besar persentase nilai SpO2 berbanding terbalik dengan nilai R. semakin besar nilai R maka persentase nilai SpO2 akan semakin kecil.
2. Pada rangkaian penguatan kaskade yang berfungsi untuk memisahkan sinyal AC dan sinyal DC perlu di tambahkan low pass filter pada sisi DC dan high pass filter pada sisi AC. Besar dari filter tersebut adalah sebesar

- 7 Hz, karena pada sinyal input dari sensor menghasilkan frekuensi sebesar 10 Hz.
3. Disain sensor harus benar dalam peletakan oxisensor, karena apabila peletakan tidak sesuai maka hasil tidak akan akurat.
  4. Pada rangkaian driver oximetry menggunakan IC 4053 sebagai switching, karena IC 4053 adalah IC multiplexer yang mampu melakukan switching dengan PWM yang diatur pada program.

Setelah melakukan perbandingan data dengan oximetry standart yang ada di rumah sakit, maka didapatkan persen error sebesar 1,5%

## VI.DAFTAR PUSTAKA

- [ 1 ] John Enderle, Susan Blanchard, Joseph Bronzino, "Introduction to Biomedical Engineering", Academic Press, California-USA, 1999. (Bab 17 : Biomedical Optics and Laser, halaman 843-900)
- [ 2 ] Hill, E. & Stoneham, MD, "*Practical applications of pulse oximetry*", Practical Procedures.  
[http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u11/u1104\\_01.htm](http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u11/u1104_01.htm) accessed on February 9th, 2006.
- [ 3 ] Adapted Figure, Townshend, Neil, "*Pulse Oximetry*", Medical Electronics.  
[http://www.robots.ox.ac.uk/%7Eneil/teaching/lectures/med\\_elec/notes6.pdf](http://www.robots.ox.ac.uk/%7Eneil/teaching/lectures/med_elec/notes6.pdf).
- [ 4 ] Suzanne M. Wendelken, "*Using a Forehead Reflectance Pulse Oximeter to Detect Changes in Sympathetic Tone*", Thayer School of Engineering Dartmouth College Hanover, New Hampshire 03755, USA, 2004.  
<http://www.ists.dartmouth.edu/library/144.pdf>
- [ 5 ] JG Webster, "*Design of Pulse Oximeters*", Intitute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia Medical Science Series.
- [ 6 ] Achmad Basuki, Jozua F. Palandi, Fatchurrochman, "*Pengolahan Citra Digital Menggunakan Visual Basic*", Graha Ilmu, 2005.
- [ 7 ] <http://www.dspguide.com/CH12.PDF>