

Perancangan Filter Analog Multistep pada Photoplethysmograph untuk Mengamati Detak Jantung Manusia Menggunakan Arduino

Anggunmeka Luhur Prasasti

Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No.1, Bandung 40257

Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Teknik Komputer, Gedung Barung, Ruang TE1.02.03 (N203)

anggunmeka@telkomuniversity.ac.id, anggunmeka@gmail.com

Abstrak

Jantung merupakan organ vital didalam tubuh manusia. Ada banyak cara untuk mengetahui kondisi jantung seseorang, salah satunya menggunakan Photoplethysmograph yang diterapkan untuk mengukur perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh penyerapan matriks sebelum dan sesudah perubahan volume darah karena adanya fase sistolik dari siklus jantung. Photoplethysmograph merupakan perangkat yang dapat mendeteksi perubahan volume darah tersebut. Data Photoplethysmograph dapat digunakan untuk mengetahui kondisi kesehatan jantung dan microvascular seseorang, beberapa diantaranya: untuk menghitung pulse rate, kadar oksigen (SpO2), glukosa, dan hemoglobin dalam darah, serta berbagai kandungan zat dalam darah secara non-invasive. Teknologi Photoplethysmograph ini semakin diminati karena kepraktisan penggunaannya dalam mengamati kesehatan jantung dan microvascular dalam tubuh manusia. Penelitian ini menggunakan photosensor dan sumber cahaya tertentu yang mampu diserap baik oleh darah. Filter analog digunakan untuk menghilangkan noise dan membuat tampilan sinyal photoplethysmograph menjadi bagus dan mudah diamati untuk diperoleh datanya. Arduino digunakan sebagai ADC (Analog to Digital Converter) sehingga data analog dapat ditransmisikan ke computer untuk ditampilkan dan diproses lebih lanjut. Sinyal hasil filter photoplethysmograph pada penelitian ini cukup baik dan sangat jelas untuk dilakukan proses pengamatan kesehatan jantung lebih lanjut.

Kata kunci— photoplethysmograph, denyut jantung, non-invasive, filter analog, arduino

Abstract

The heart is a vital organ in the human body. There are many ways to determine the condition of human's heart, one of them using Photoplethysmograph. Photoplethysmography is applied to measure changes in light intensity caused by the absorption of the matrix before and after blood volume change due to the presence of systolic phase of the cardiac cycle. Photoplethysmograph is a device that can detect changes in the blood volume. Photoplethysmograph data can be used to determine the health condition of a person's heart and microvascular, such as pulse rate, oxygen levels in the blood (SpO2), blood glucose levels, hemoglobin levels in the blood, and various substances in the blood. This non-invasive technique is highly desirable in checking heart and microvascular health. This research uses photo sensor and specific optic source which can be absorbed well by human blood. Multistep analog filter is needed to remove the noise and make acquired signal look good and the real data can be reached. Arduino is used as ADC (Analog to Digital Converter) so analog data can be transmitted to computer to be displayed and processed. Photoplethysmograph signal in this research is quite good and very clear to be conducted further observation for human heart health

Keywords— photoplethysmograph, pulse rate, non-invasive, analog filter, arduino

1. PENDAHULUAN

Jantung merupakan organ vital didalam tubuh manusia. Ada banyak cara untuk mengetahui kondisi jantung seseorang, salah satunya menggunakan Photoplethysmograph yang diterapkan untuk mengukur perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh penyerapan matriks sebelum dan sesudah perubahan volume darah karena adanya fase sistolik dari siklus jantung. Photoplethysmograph merupakan perangkat yang dapat mendeteksi perubahan volume darah tersebut[1]. Data Photoplethysmograph dapat digunakan untuk mengetahui kondisi kesehatan jantung dan microvascular seseorang, beberapa diantaranya: untuk menghitung pulse rate, kadar oksigen (SpO₂), glukosa, dan hemoglobin dalam darah, serta berbagai kandungan zat dalam darah secara non-invasive[2]. Teknologi Photoplethysmograph ini semakin diminati karena kepraktisan penggunaannya dalam mengamati kesehatan jantung dan microvascular dalam tubuh manusia..

2. TINJAUAN PUSTAKA

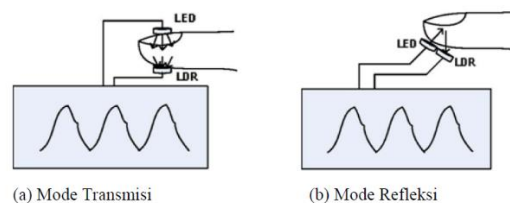
2.1. Teori Photoplethysmografi

Volume darah dalam suatu organ akan selalu berubah-ubah akibat dari pemompaan darah oleh jantung. Prinsip-prinsip photoplethysmography diterapkan untuk mengukur perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh penyerapan matriks sebelum dan sesudah perubahan volume darah yang disebabkan oleh adanya fase sistolik dari siklus jantung. Informasi dari sinyal perubahan volume darah ini dapat digunakan untuk menghitung detak jantung permenit karena setiap puncak gelombang yang terjadi berkorelasi dengan satu detak jantung[1].

Plethysmograph/PPG merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur perubahan volume darah di dalam suatu organ atau seluruh tubuh. Biasanya merupakan hasil dari fluktuasi darah atau udara yang terkandung di dalamnya. PPG (Photoplethysmograph) merupakan instrumen plethysmograph yang bekerja menggunakan sensor optic[3].

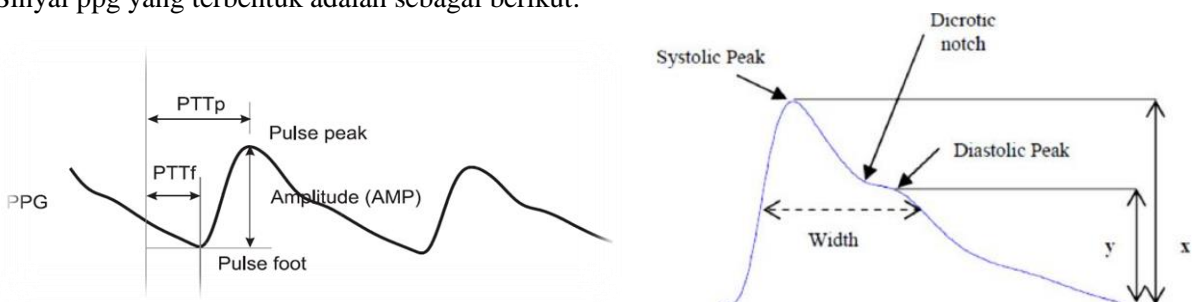
Dalam teknik *Plethysmografi* dikenal dua macam mode konfigurasi pemasangan sensor.

1. Mode transmisi : Sumber cahaya (LED) dipasang berhadapan dengan sensor cahaya (LDR) seperti pada Gambar 1(a) LDR mendeteksi perubahan cahaya yang dipancarkan oleh LED akibat penyerapan oleh organ (darah, kulit, dan daging/otot) secara langsung.
2. Mode refleksi : Dalam mode refleksi LED dan LDR dipasang berjajar. Sinyal/perubahan cahaya yang dideteksi oleh LDR adalah sinyal pantulan/refleksi. Konfigurasi mode refleksi dapat dilihat pada Gambar 1(b).



Gambar 1. Mode Konfigurasi *Photoplethysmography*^[3]

Sinyal ppg yang terbentuk adalah sebagai berikut:

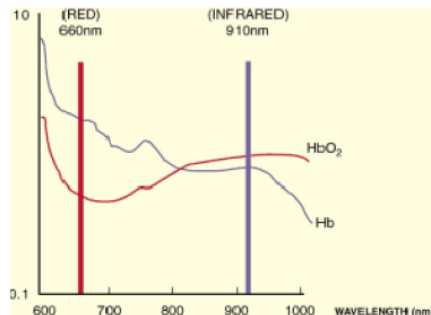


Gambar 2. Sinyal *Photoplethysmography*^[2,4]

Pada sinyal photoplethysmograf tersebut dapat diketahui kondisi *pulse transit time to the foot of the pulse (PTTf)*, *pulse transit time to the peak of the pulse (PTTp)*, dan *foot-to-peak amplitude (AMP)*. Puncak sistolik dan diastolik juga dapat diketahui beserta interval waktunya. Informasi ini sangat penting dalam menganalisis kesehatan jantung dan pembuluh darah manusia[2,4].

Penggunaan *Photoplethysmography (PPG)*[2]:

1. *Menghitung atau monitoring detak jantung.* Fluktuasi perubahan volume darah dipengaruhi oleh irama pemompaan darah oleh jantung, maka sinyal PPG dapat digunakan untuk menghitung denyut jantung. Setiap puncak pada sinyal PPG berkorelasi dengan satu detak jantung[5].
2. *Mengamati kinerja dan kelainan jantung.* Grafik PPG dapat digunakan oleh pihak medis untuk mengamati kinerja jantung dan untuk mengetahui kemungkinan adanya kelainan jantung dengan cara membandingkan sinyal tersebut dengan sinyal yang dihasilkan oleh jantung normal.
3. *Memonitor Pernapasan.* Dengan mengamati selubung sinyal ppg dapat diamati pengaruh pernapasan terhadap perubahan volume dara pada suatu organ.
4. *Mengukur saturasi oksigen dalam darah.* Dengan menggunakan pulse oximeter yang tersusun atas LED inframerah, LED merah, dan photodetector, ppg dapat digunakan untuk mengukur saturasi oksigen dalam darah. Hemoglobin yang mengandung banyak oksigen menyerap lebih banyak cahaya inframerah disbanding cahaya merah, dan sebaliknya. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

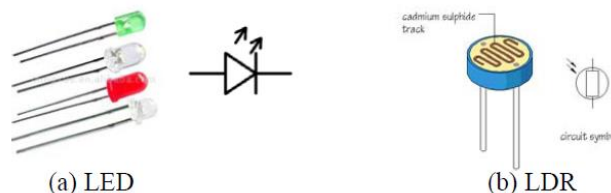


Gambar 3. Penyerapan Cahaya Merah dan Inframerah oleh Hemoglobin

5. Menghitung kadar glukosa dalam darah. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED yang mampu diserap baik oleh glukosa, yaitu dengan panjang 1620nm. Kadar glukosa tinggi identik dengan semakin banyaknya hamburan cahaya yang terjadi dengan jalur optic yang singkat.

2.2. Sensor

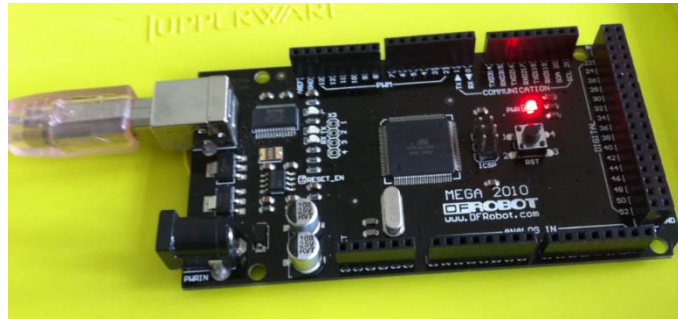
Sensor digunakan untuk mengubah suatu sinyal fisiologis menjadi sinyal listrik. Dalam hal ini digunakan LED sebagai sumber cahaya fisiologis yang akan diubah menjadi sinyal listrik oleh LDR yang bersifat resistif. Sensor cahaya yang digunakan dalam penelitian ini disusun dari LED merah dan LDR. LED berfungsi sebagai sumber cahaya sedangkan LDR sebagai penerima cahaya yang sudah melewati/dipantulkan oleh kulit. Cahaya yang diterima LDR berubah-ubah mengikuti perubahan kandungan/volume darah dalam kulit/ujung jari[6].



Gambar 4. Komponen Sensor yang digunakan

2.2. Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah sebuah piranti yang dirancang untuk mengubah sinyal-sinyal analog menjadi bentuk sinyal digital. Dalam perancangan ini ADC yang digunakan yaitu Arduino board seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Arduino yang digunakan

Arduino memiliki ADC pada input analognya yaitu dengan karakteristik mengubah tegangan dalam range 0 – 5 volt menjadi data 10 bit yaitu 0 – 1023. Sehingga untuk kenaikan tegangan input sebesar 4,88 mV maka data yang terbaca pada ADC akan mengalami kenaikan sebesar 1 nilai.

Arduino yang dilengkapi dengan IC mikrokontroler ATmega1280 ini memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Mikrokontroler	ATmega1280
Tegangan operasional	5V
Tegangan <i>input (recommended)</i>	7-12V
Tegangan <i>input (limits)</i>	6-20V
Pin <i>Digital I/O</i>	54 (15 pin menyediakan <i>PWM output</i>)
Pin <i>Analog Input</i>	16
Pin <i>DC Current per I/O</i>	40 mA
Pin <i>DC Current for 3.3V</i>	50 mA
Flash Memory	128 KB (4 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

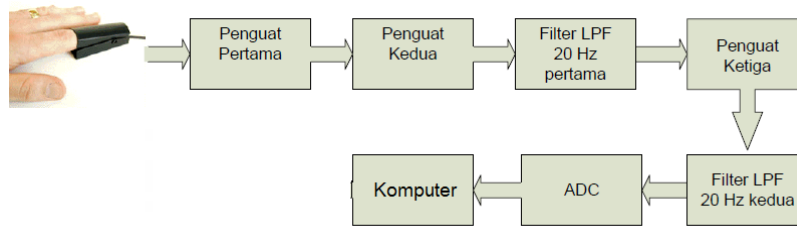
3. METODE PENELITIAN

Beberapa tahapan proses yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.
2. Perancangan Photoplethysmograph.
3. Analisis hasil perancangan.
4. Perbaikan desain (optional).
5. Perancangan Photoplethysmograph pada project board menggunakan komponen-komponen elektronika.
6. Testing menggunakan osiloskop.
7. Analisis.
8. Perbaikan desain (optional).
9. Menghubungkan rancangan Photoplethysmograph dengan arduino untuk analisis digital di komputer.
10. Menarik kesimpulan.

3.1. Diagram Blok Umum Photoplethysmograph

Secara umum, diagram blok PPG yang dirancang adalah sebagai berikut:

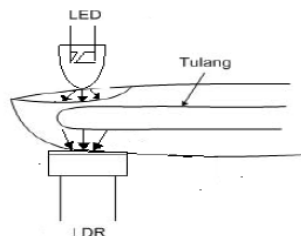


Gambar 6. Block Diagram Umum Photoplethysmograph

Sensor yang terdiri dari LED (Light Emitting Diode) dan LDR (Light Depending Resistor) akan mendeteksi adanya perubahan volume darah yang mengalir sehingga menimbulkan perubahan hambatan listrik yang mengakibatkan berubahnya tegangan, perubahan tegangan akan menyebabkan adanya sinyal yang berupa sinyal analog dengan amplituda sangat kecil dan mengandung noise, oleh karena itu diperlukan penguat dengan besar penguatan sesuai kebutuhan dan low pass filter untuk menekan noise[7]. Sinyal analog ini perlu dikonversi ke format digital dengan menggunakan Arduino ATmega1280. Selanjutnya sinyal dikirim secara serial ke laptop user dan ditampilkan grafik sinyal PPG.

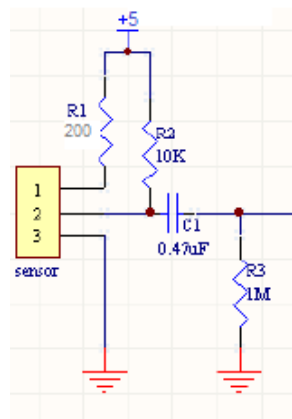
3.2. Rangkaian Sensor

Untuk mendeteksi adanya perubahan volume darah atau adanya aliran darah menggunakan sensor cahaya yang dibuat menggunakan LED dan LDR di pasang pada jari tangan (Gambar 7). LED digunakan untuk memancarkan cahaya ke jari tangan. Cahaya yang ditransmisikan melalui ujung jari kemudian diterima oleh LDR. Pada saat volume darah pada jari tangan bertambah maka lebih banyak cahaya yang diserap dan intensitas cahaya yang diterima LDR berkurang sehingga nilai hambatan LDR naik. Dengan naiknya hambatan LDR maka tegangan yang timbul pada LDR ikut naik. Sebaliknya jika volume darah pada jari berkurang semakin banyak cahaya yang diserap LDR, nilai hambatan LDR turun dan besar tegangan pada LDR turun.



Gambar 7. Konfigurasi Pemasangan Sensor pada Jari Tangan

Dibawah ini rangkaian pengkondisi sinyal luaran sensor.



Gambar 8. Rangkaian Sensor

Sensor dicatu dengan tegangan +5 volt, agar LED tidak cepat rusak maka dipasang hambatan berupa resistor dengan nilai 200 Ω untuk mengurangi arus yang masuk ke LED sehingga arus yang melalui LED sesuai, yaitu sekitar 25mA. Pin 1 merupakan kaki positif LED, pin 2 merupakan salah satu kaki LDR, pin 3 merupakan kaki negative LED dan salah satu kaki lainnya dari LDR. Pada rangkaian juga dipasang kapasitor dengan nilai 470nF untuk mengurangi noise yang timbul akibat frekuensi jala-jala listrik. Rangkaian tersebut berupa HPF (High Pass Filter) yang memiliki frekuensi cut-off sebesar 0,338 Hz.

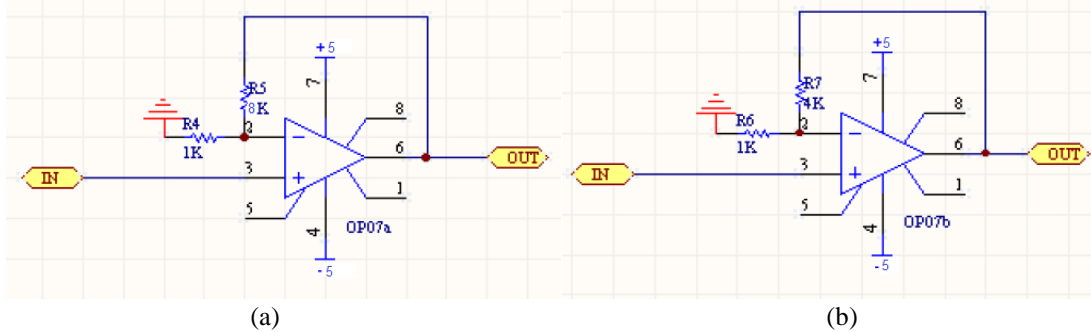
3.3. Perancangan Penguat (Op-Amp Non-Inverting)

Tegangan luaran sensor relatif sangat kecil umumnya ber-orde milivolt yang berkisar antara 10-30mV. Agar sinyal dapat diolah dengan mudah pada proses ADC maka tegangan perlu dikuatkan. Op-amp yang digunakan adalah tipe TL084.

Penguatan dilakukan bertingkat sebanyak 3 kali, hal ini dilakukan untuk meminimalisasi noise yang ditimbulkan perangkat. Penguat pertama dirancang dengan gain sebesar 9 kali, penguat kedua dirancang dengan gain 5 kali, dan penguat ketiga dirancang dengan gain 5 kali. Penguat ketiga diletakkan setelah low pass filter pertama. Rangkaian yang diaplikasikan menggunakan opamp dengan konfigurasi tak membalik (non-inverting Amplifier). Untuk penguat pertama dan kedua dipakai resistor dengan nilai 8 k Ω dan 1 k Ω sehingga didapatkan penguatan sebesar 9 kali.

$$G = 1 + \frac{8k}{1k} = 9 \text{ kali}$$

Berikut rangkaian penguat yang direalisasikan:



Gambar 9. (a) Rangkaian penguat pertama, (b) Rangkaian penguat kedua dan ketiga

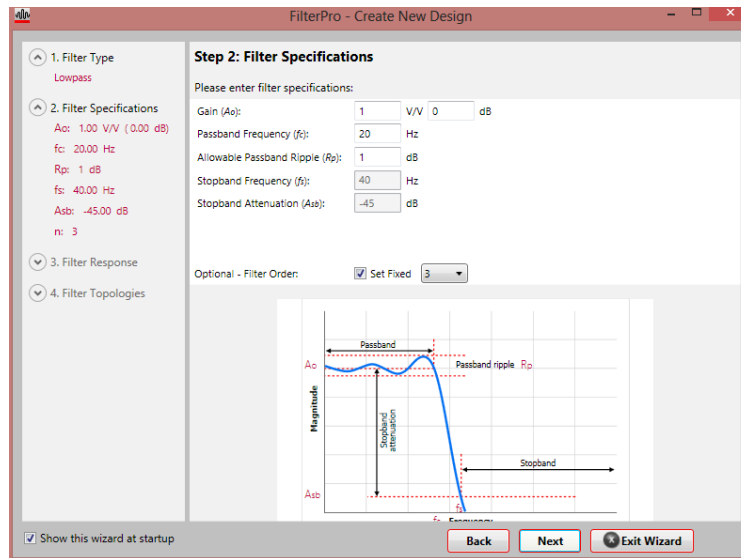
Untuk penguat kedua dan ketiga secara garis besar rangkaiannya sama dengan penguat sebelumnya hanya saja nilai resistornya yang berbeda yaitu 4 k Ω dan 1 k Ω , sehingga didapatkan penguatan sebesar 5 kali.

$$G = 1 + \frac{4k}{1k} = 5 \text{ kali}$$

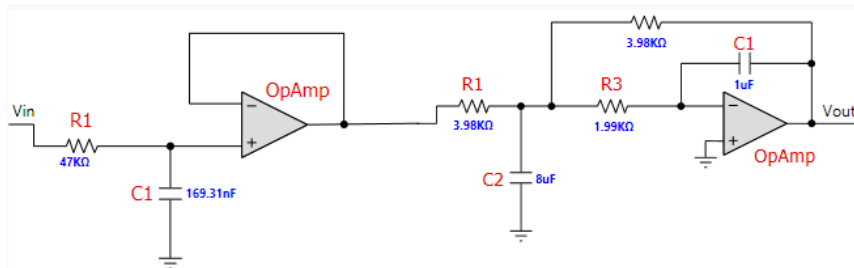
3.4. Low Pass Filter

Frekuensi sinyal PPG berada pada rentang 0-20 Hz, dengan demikian perlu dirancang filter yang meloloskan frekuensi dibawah 20 Hz untuk menghilangkan noise dengan frekuensi tinggi terutama noise 50 Hz yang dihasilkan oleh jala-jala listrik arus AC dari PLN. Pada penelitian ini digunakan LPF Aktif dengan orde 3 yang disusun dari 2 bagian IC TL084 (quad Op-amp). Proses filter dilakukan sebanyak dua kali yaitu diletakkan setelah penguat kedua dan setelah penguat ketiga, dengan harapan sinyal keluaran sudah benar-benar bersih dari noise.

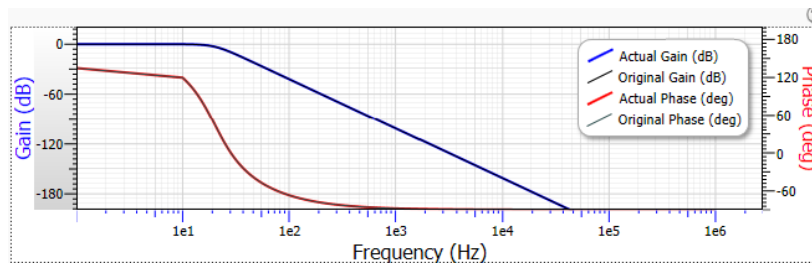
Berikut desain filter menggunakan aplikasi Filter Pro by Texas Instrumen:



Gambar 10. Desain Filter menggunakan Filter Pro (1)

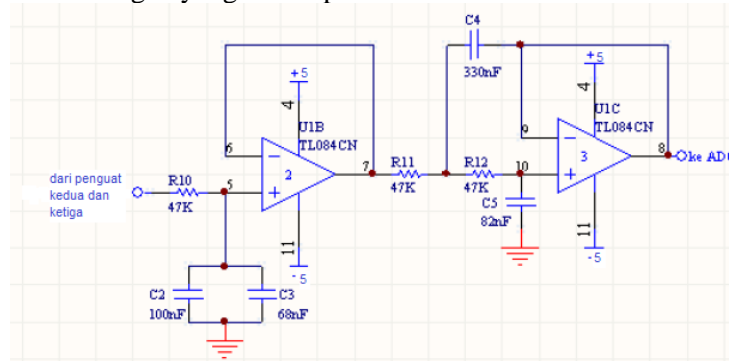


Gambar 11. Desain Filter menggunakan Filter Pro (2)



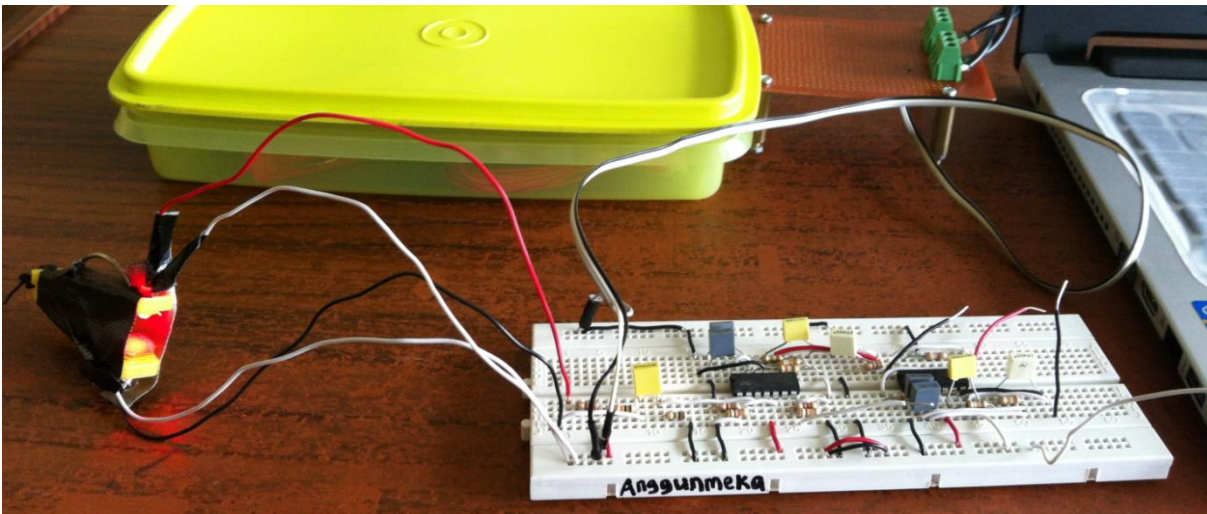
Gambar 12. Respon Filter

Namun, setelah mencari komponen di pasaran, maka hasil rancangan disesuaikan dengan komponen yang ada. Berikut hasil rancangan LPF orde 3 dengan frekuensi cut-off 20Hz yang komponennya disesuaikan dengan yang ada di pasaran.



Gambar 13. Realisasi LPF yang digunakan

Hasil perancangan PPG secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 14. Implementasi PPG pada Project Board

3.4. Digitalisasi Sinyal PPG

Digitalisasi sinyal PPG menggunakan Arduino ATmega1280, dengan pengkodean sebagai berikut:

Code Arduino:

```
int sensor = A0; //pin untuk input dari keluaran penguat instrumentasi
int input = 0; //variabel untuk menyimpan data input dari keluaran penguat instrumentasi
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inisialisasi komunikasi serial
}
void loop()
{
  input = analogRead(sensor); //pembacaan input disimpan pada variabel input
  Serial.println(input); //menampilkan data pada variabel input
}
```

Code Processing:

```
import processing.serial.*;
Serial myPort; // The serial port
int xPos = 1; // horizontal position of the graph

void setup ()
{
  // set the window size:
  size(1300, 300);
  // List all the available serial ports
  println(Serial.list());
  // Pastikan port Arduino pada serial list di PC sesuai
  // dengan yang ada di program ini: Serial.list()[0].
  // Open whatever port is the one you're using.
  myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
  // don't generate a serialEvent() unless you get a newline character:
  myPort.bufferUntil('\n');
  // set initial background:
  background(0);
}
void draw ()
{
  // everything happens in the serialEvent()
}
void serialEvent (Serial myPort)
{
  // get the ASCII string:
```



```

String inString = myPort.readStringUntil('\n');
if (inString != null) {
  // trim off any whitespace:
  inString = trim(inString);
  // convert to an int and map to the screen height:
  float inByte = float(inString);
  inByte = map(inByte, 0, 1023, 0, height);
  // draw the line:
  stroke(0, 126, 255);
  line(xPos, height - inByte + 7, xPos, height - inByte);
  // at the edge of the screen, go back to the beginning:
  if (xPos >= width) {
    xPos = 0;
    background(0);
  }
  else {
    // increment the horizontal position:
    xPos++;
  }
  println(inString); //show result inString
}
}

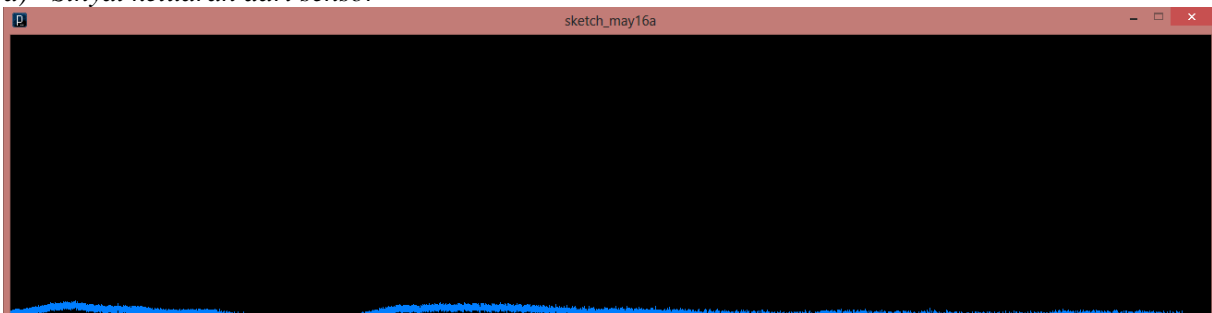
```

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi Tiap Blok

Berikut hasil simulasi yang ditampilkan pada processing tiap bloknnya.

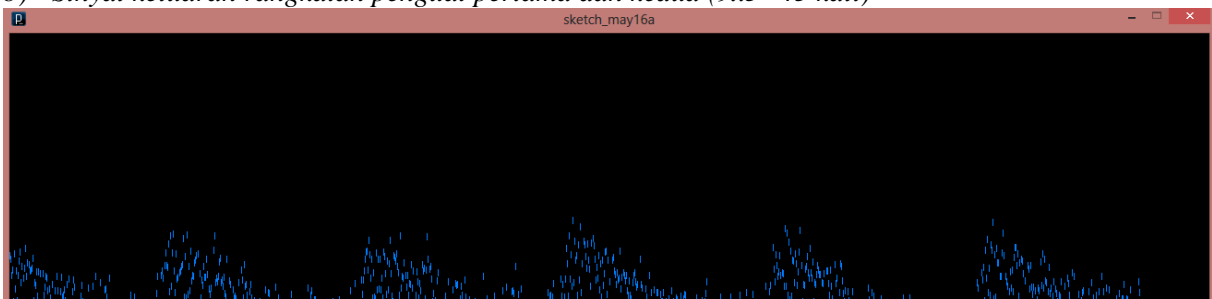
a) Sinyal keluaran dari sensor



Gambar 15. Sinyal keluaran dari sensor

Gambar di atas adalah output pengkondisian sinyal luaran sensor yang melalui HPF (High Pass Filter dengan frekuensi cut-off sebesar 0,338 Hz. Tampak bahwa sinyal tidak periodik sehingga tidak dapat didefinisikan. Nilai tegangan yang didapatkan juga tidak dapat didefinisikan sebagai sinyal periodik dengan perubahan nilai tegangan yang sangat kecil.

b) Sinyal keluaran rangkaian penguat pertama dan kedua (9x5=45 kali)

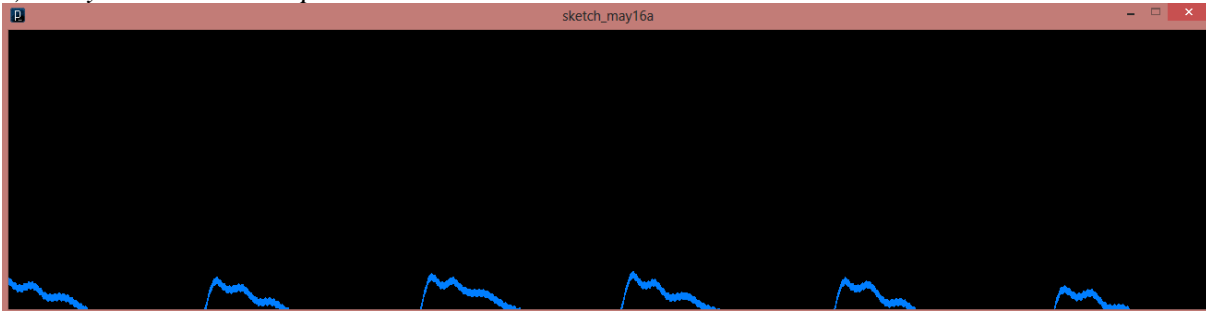


Gambar 16. Sinyal keluaran rangkaian penguat pertama dan kedua (45 kali)

Gambar di atas adalah output penguat pertama dan kedua dengan konfigurasi tak membalik (non-inverting Amplifier) sebesar 45 kali. Sinyal tersebut sudah memiliki nilai perubahan tegangan yang cukup signifikan namun masih belum terdefinisi karena sebaran noise. Noise disini merupakan

informasi yang tidak berada pada rentang informasi sinyal PPG, yaitu 0-20 Hz. Maka dari itu perlu dilanjutkan dengan filter untuk melolosnya sinyal pada rentang 0-20 Hz saja.

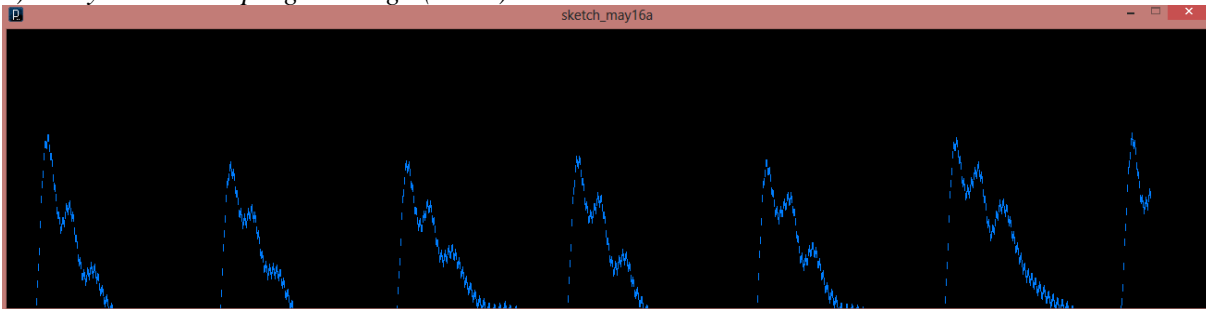
c) *Sinyal keluaran LPF pertama*



Gambar 17. Sinyal keluaran LPF pertama

Gambar di atas merupakan sinyal informasi perubahan serapan pembuluh darah pada ujung jari manusia yang sudah difilter dengan menggunakan LPF untuk meloloskan frekuensi dibawah 20 Hz karena frekuensi sinyal PPG berada pada rentang 0-20 Hz. Sinyal yang didapatkan sudah periodik dan dapat didefinisikan berdasarkan perubahan nilai tegangannya, namun perubahan nilai tegangannya menjadi tidak terlalu signifikan sehingga perlu dilakukan penguatan tahap berikutnya.

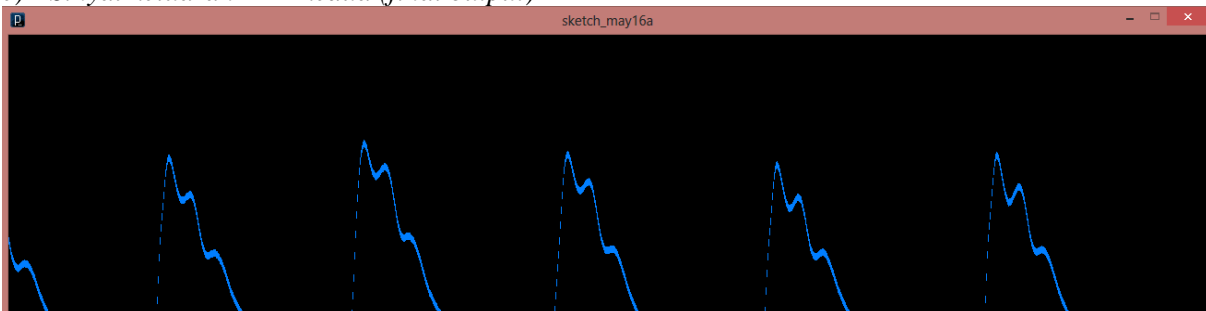
d) *Sinyal keluaran penguat ketiga (5 kali)*



Gambar 18. Sinyal keluaran penguat ketiga (5 kali)

Gambar di atas merupakan output dari penguatan sinyal sebesar 5 kali agar diperoleh perubahan nilai tegangan yang lebih signifikan. Penguatan ini membuat sinyal PPG menjadi tidak terlihat *smooth* sehingga perlu dilakukan proses *smoothing* di akhir.

e) *Sinyal keluaran LPF kedua (final output)*



Gambar 19. Sinyal keluaran LPF kedua (final output)

Gambar di atas merupakan sinyal akhir keluaran PPG yang telah dilakukan proses penguatan dan *filtering* secara bertingkat. Sinyal PPG menghasilkan perubahan output tegangan yang cukup signifikan pada interval 0-5 volt, bersifat periodik, dan dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendefinisikan beberapa penyakit yang berhubungan dengan pembuluh darah manusia

4.2. Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan sinyal keluaran akhir PPG yang sudah baik dan sesuai dengan karakteristik sinyal PPG pada umumnya. Sinyal keluaran sensor masih belum bersih dan sangat banyak terdapat noise. Setelah dikuatkan sebesar 45 kali, noise juga akan meningkat sebanyak 45 kali. Sinyal PPG dianalisis pada interval 0-20 Hz sehingga perlu dilakukan filter dengan menggunakan LPF hingga frekuensi 20 Hz yang dilewatkan, sinyal pulse rate cukup bersih namun sangat kecil. Maka dikuatkan kembali sebesar 5 kali agar terlihat perubahan output tegangan yang lebih signifikan. Hasil penguatan tersebut membuat sinyal menjadi tidak smooth sehingga perlu dilakukan filter smoothing kembali untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa sinyal keluaran PPG final sudah bagus dan dapat dilakukan identifikasi lebih lanjut. Jumlah sinyal puncak yang terbentuk sudah teruji sesuai dengan denyut jantung pasien. Sama halnya dengan sinyal EKG (Elektrokardigram) yang memiliki nilai pada setiap gelombang PQRST-nya untuk mengidentifikasi berbagai penyakit, sinyal PPG (photoplethysmogram) juga memiliki nilai PTTp, PTTf, Pulse peak, AMP (lihat gambar 2) yang dapat mengidentifikasi berbagai penyakit yang berkaitan dengan pembuluh darah seperti: denyut jantung yang tidak normal, tekanan darah yang tidak normal, pengecekan kadar oksigen dalam darah, pengecekan kadar glukosa dalam darah, dan lain-lain.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian desain dan implementasi photoplethysmograph (PPG) ini telah dirancang PPG dengan penguatan total sebesar 225 kali dan dua kali filter menggunakan LPF orde 3 dengan frekuensi cut-off 20Hz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sinyal keluaran akhir PPG yang sudah baik dan sesuai dengan karakteristik sinyal PPG pada umumnya. Maka dari itu, dapat dilakukan analisis lebih lanjut terhadap sinyal keluaran PPG tersebut untuk mendeteksi kesehatan jantung dan microvascular pada tubuh subjek.

Hasil uji coba pada subjek telah diketahui bahwa jumlah sinyal puncak yang terbentuk sesuai dengan denyut jantung pasien. Sinyal PPG (photoplethysmogram) yang dihasilkan memiliki nilai PTTp, PTTf, Pulse peak, AMP yang dapat mengidentifikasi berbagai penyakit yang berkaitan dengan pembuluh darah.

5. SARAN

1. Penggunaan sensor pada ujung jari subjek harus pada posisi yang tetap karena perubahan posisi subjek (gerakan) akan mengganggu proses pendeteksian sinyal pulse rate.
2. Desain packaging sensor sebaiknya didesain se-ergonomis mungkin dan nyaman digunakan sehingga interferensi perubahan cahaya dari luar dapat diminimalisir.
3. Penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan proses pengolahan sinyal digital untuk mendapatkan jumlah pulse rate subjek.
4. Perubahan sumber LED dengan panjang gelombang yang berbeda dan sensor yang digunakan dapat dianalisis lebih lanjut untuk pendeteksian kadar SpO2 dan berbagai zat yang terkandung dalam darah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Webster, J. G. (1998). *Medical Instrumentation Application and Design*, John Wiley & Son, Inc, New York.
- [2] Allen, John. "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiol. Measurements*" in IOP 2007
- [3] Webster, J. G. (2004). *Bioinstrumentation*, John Wiley & Son, Inc, Singapore.
- [4] Elgendi, Mohamed "On The Analysis of Fingertip Photoplethysmogram signals" in *Current Cardiology Reviews* 2012

- [5] Embedded Lab. “*Introducing Easy Pulse: A DIY photoplethysmographic sensor for measuring heart rate*”. www.Embedded-Lab.com. Accessed on: 24 April 2013
- [6] Wesley Nguyen and Ryan Horjus. 2011. “*Heart-Rate Monitoring Control System Using Photoplethysmography (PPG)*”. Senior Project. California Polytechnic State University: San Luis Obispo.
- [7] Heather Jones and David Luong. 2004. “*Measuring Heart Rate Using A Photoplethysmographic Cardiometer*”. Engineering 72 Final Project.