



Akuisisi Data Sinyal Photoplethysmograph (PPG) Menggunakan Photodiode

Chitra Annisa Pratiwi¹, Putri Madona² dan Yusmar Palapa Wijaya³

¹Politeknik Caltex Riau, email: chitraannisa.p@gmail.com

²Politeknik Caltex Riau, email: dhona@pcr.ac.id

³Politeknik Caltex Riau, email: yusmar@pcr.ac.id

Abstrak

Photoplethysmograph (PPG) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem kardiovaskular dengan mengukur perubahan volume darah pada jaringan kulit. Dalam penerapannya, metode ini menggunakan sensor optik untuk menangkap sinyal elektrik yang berasal dari sumber cahaya yang terpantul karena perubahan aliran darah selama jantung bekerja. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat yang mampu merepresentasikan aliran darah tubuh sebagai sinyal PPG dengan menggunakan photodiode sebagai sensor optik untuk menangkap cahaya dari LED Inframerah. Sinyal yang dihasilkan oleh photodiode adalah sinyal alami dari tubuh dengan frekuensi kecil yang bercampur dengan noise. Sinyal ini diproses terlebih dahulu menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal yakni high pass filter, penguat op-amp, low pass filter dan adder. Sinyal PPG yang difilter berada pada frekuensi 0,05 Hz – 20 Hz. Data hasil akuisisi sinyal PPG ini akan diolah oleh mikrokontroler kemudian hasil pengukuran tegangan puncak rata-rata dari sinyal ditampilkan pada LCD. Pengujian alat menunjukkan bahwa sistem yang dibuat telah mampu memperoleh dan menampilkan sinyal PPG untuk dapat di analisa lebih lanjut. Namun sistem yang dibuat masih sangat rentan terhadap pergerakan dari subjek yang diukur.

Kata-kata kunci : photoplethysmograph, photodiode, inframerah, akuisisi

Abstract

Photoplethysmograph (PPG) is a method used to know condition of cardiovascular system by measuring the change of blood volume in tissue. This method uses optical sensor to capture electrical signal coming from reflected light source due to the changes in blood flow during cardiac work. In this final project a tool is designed to represent the body's blood flow as PPG signal by using photodiode as an optical sensor to capture light from LED Infrared. Signal generated by photodiode is body's natural signals in small frequency mixed with noise. This signal processed using signal conditioning circuits which are high pass filters, op-amp amplifier, low pass filter and adder. The PPG signal is filtered at frequency of 0.05 Hz - 20 Hz. Data from the PPG signal acquisition processed by the microcontroller and the result of measuring average voltage displayed on the LCD. The results indicate that the system created has been able to acquire and display the PPG signal to further analyze. However, the system created is still very vulnerable to the movement of the subject being measured.

Keywords: photoplethysmograph, photodiode, infrared, acquisition

1. Pendahuluan

Saat ini ada banyak cara yang kini dikembangkan untuk pengukuran dalam dunia medis. Diantaranya adalah *Electrocardiogram* (ECG) dan *Photoplethysmograph* (PPG). Kedua metode ini umumnya digunakan dalam pemeriksaan jantung yang berkaitan dengan sistem kardiovaskular tubuh manusia. Photoplethysmograph (PPG) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem kardiovaskular dengan mengukur perubahan volume darah pada jaringan kulit. Dalam penerapannya, metode ini menggunakan sensor optik untuk menangkap sinyal elektrik yang berasal dari sumber cahaya yang terpantul karena perubahan aliran darah selama aktivitas jantung. Sinyal yang dihasilkan oleh metode photoplethysmograph telah banyak dikembangkan untuk pengukuran bermacam parameter kesehatan diantaranya detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), tingkat pernapasan (RR), gula darah dan saturasi oksigen dalam darah.

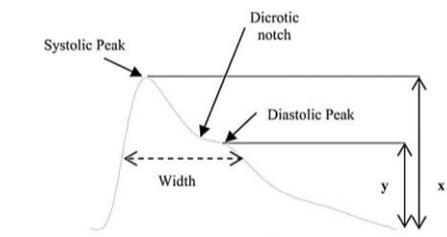
Swarup, Sarkar (2012) dalam jurnalnya yang berjudul '*Fingertip Pulse Wave (PPG Signal) Analysis and Heart Rate Detection*', menggunakan sinyal PPG untuk mendeteksi dan menganalisa detak jantung. Mallick, Bandana (2016) dengan jurnal berjudul '*Heart Rate Monitoring System Using Finger Tip Trough Arduino and Processing Software*' menggunakan sinyal PPG sebagai monitoring detak jantung permenit yang dikirimkan via SMS.

Pada penelitian ini dirancang sebuah alat yang mampu merepresentasikan aliran darah tubuh sebagai sinyal PPG dengan menggunakan photodiode sebagai sensor optik untuk menangkap cahaya dari LED Inframerah. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler Atmega 32 sebagai pusat pengakuisisi sinyal PPG yang diperoleh.

2. Landasan Teori

2.1 Photoplethysmograph

Photoplethysmograph (PPG) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengukur perubahan volume darah pada suatu organ atau tubuh dengan menangkap sinyal yang terbentuk saat sumber cahaya diteruskan pada jaringan kulit menggunakan sensor optik. Gambar 1 adalah pola dari sinyal PPG.

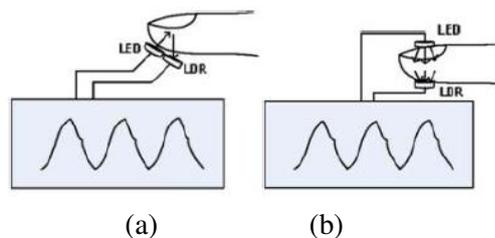


Gambar 1. Pola Sinyal PPG

Metode PPG yang berkembang menggunakan dua mode konfigurasi sensor optik yaitu:

- a. Mode Refleksi
- b. Mode Transmisi

Gambar 2 adalah mode konfigurasi pemasangan sensor.



Gambar 2. Mode konfigurasi pemasangan sensor optik: (a) Refleksi (b) Transmisi

Sinyal PPG adalah sinyal dengan frekuensi rendah. Beberapa peneliti menyatakan range frekuensi yang sedikit berbeda dari sinyal PPG, diantaranya (Geert, 2010):

- Sinyal PPG berada pada rentang frekuensi 0,05 Hz – 20 Hz (Sugondo, 2010)
- Sinyal PPG berada pada rentang frekuensi 1,54 – 2,34 Hz (Pico, t.t)
- Sinyal PPG berada pada rentang frekuensi 0,8 – 3,39 Hz (Cornell, t.t)

2.2 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah proses mengubah input berupa data analog menjadi data digital. Pada ADC terdapat dua hal utama yaitu sampling dan resolusi. Kecepatan sampling menentukan seberapa sering data analog diubah menjadi data digital pada suatu selang waktu. Sedangkan resolusi menentukan ketelitian dari nilai hasil konversi data ADC.

ADC bekerja dengan cara melakukan mencuplikan sinyal pada kecepatan tertentu. Kecepatan pengambilan data dari sinyal analog yang akan dikonversi harus memenuhi kriteria Nyquist yaitu :

$$f_s > 2 f_{in,max} \quad (1)$$

Frekuensi *sampling* (f_s) minimum harus lebih besar dari dua kali nilai frekuensi *input* (f_{in}) maksimum yang akan dikonversi. Apabila kriteria Nyquist tidak terpenuhi maka akan muncul efek *aliasing* dimana frekuensi tertentu terlihat seperti frekuensi lain (Hary, t.t).

2.3 Light Emitting Diode (LED)

Dioda pemancar cahaya atau *Light Emitting Diode* (LED) adalah dioda yang memancarkan cahaya bila diberi *forward bias*. Dengan menggunakan bahan semikonduktor campuran dapat dihasilkan LED yang dapat meradiasikan bermacam warna seperti merah, hijau, kuning, biru, oranye, atau inframerah (tak tampak).



Gambar 3. LED

2.4 Photodiode

Photodiode adalah sebuah piranti elektronika yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi cahaya. Saat tidak terkena cahaya, photodiode tidak dapat menghasilkan arus listrik. Namun saat terkena cahaya, photodiode menyerap photon, mengakibatkan photodiode *on* sehingga arus listrik akan mengalir.

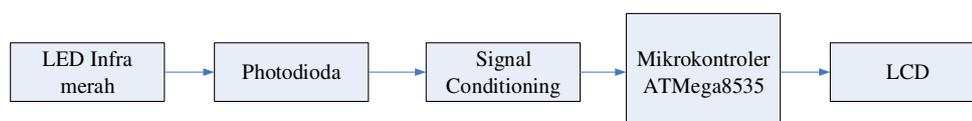


Gambar 4. Bentuk Fisik Photodiode

3. Perancangan

3.1 Perancangan Sistem

Agar alat yang dirancang ini dapat menjalankan fungsi sebagaimana yang diharapkan, maka dapat dipaparkan blok diagram sebagai berikut:



Gambar 5. Blok Diagram

LED Inframerah digunakan sebagai sumber cahaya untuk menyinari jari tangan. Cahaya yang dihasilkan oleh LED Inframerah mampu menembus jaringan kulit sekitar 1mm-100mm

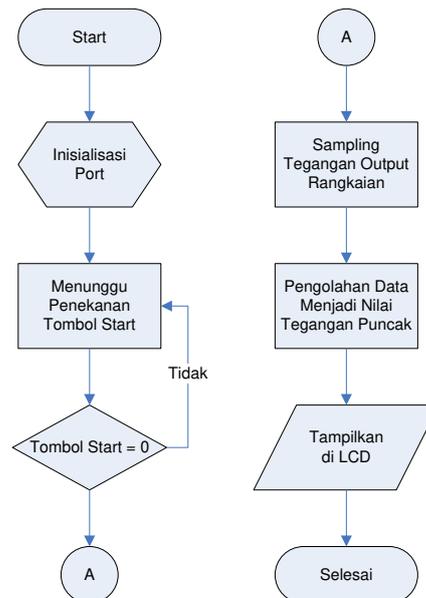
(Anwar, t.t). Penyinaran jaringan kulit pada rentang ini dapat menangkap pola perubahan aliran darah yang mengikuti irama detak jantung manusia dan merupakan bagian dari sistem kardiovaskular dalam tubuh manusia. Pola perubahan aliran darah inilah yang diterima oleh photodiode yang kemudian membentuk sinyal PPG sebagai representasi dari perubahan aliran darah pada sistem kardiovaskular dalam tubuh manusia.

Sinyal yang dihasilkan oleh photodiode adalah sinyal alami dari tubuh dengan frekuensi kecil yang bercampur dengan *noise*. Sehingga sinyal ini harus diproses secara rangkaian menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal. Bagian dari rangkaian pengkondisian sinyal yang digunakan adalah rangkaian *high pass filter* untuk menyaring sinyal-sinyal yang dapat mengganggu sinyal PPG pada frekuensi rendah, penguat *op-amp*, rangkaian *low pass filter* untuk menyaring *noise* pada frekuensi tinggi dan rangkaian adder. Pada penelitian ini digunakan teori frekuensi sinyal PPG oleh Sugondo yaitu 0,05 Hz – 20 Hz.

Sinyal keluaran dari rangkaian berupa sinyal PPG merupakan sinyal analog. Agar dapat diolah di mikrokontroler diperlukan ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital melalui program yang di masukkan ke mikrokontroler. Data-data hasil akuisisi sinyal PPG kemudian ditampilkan pada LCD.

3.2 Flowchart

Gambar 6 adalah diagram alir untuk perancangan program yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 6. Flowchart

Flowchart ini menunjukkan sistematika pembuatan program yang akan dibuat pada mikrokontroler. Sebelum melakukan pemrograman lebih lanjut dilakukan inisialisasi port mikrokontroler yang akan digunakan. Setelah inisialisasi, selanjutnya mikrokontroler menunggu penekanan tombol start untuk memulai proses penyamplingan data. Jika tombol start sudah di tekan maka proses penyamplingan data akan dimulai.

Proses penyamplingan data dilakukan dengan mencari nilai maksimum dan minimum dari sinyal keluaran rangkaian yang merupakan sinyal PPG dalam selang waktu 1 detik. Selang waktu satu detik dipilih karena frekuensi detak jantung manusia berkisar antara 1-1,67 Hz (Khairunnisa, 2014) atau dengan periode 1-0.6 detik. Penulis mengambil frekuensi sinyal yang akan disampling berdasarkan frekuensi detak jantung 1Hz.

Proses pencarian nilai maksimum dan minimum dari sinyal PPG dilakukan tiap satu detik dalam selang waktu 12 detik. Nilai maksimum dan minimum dari tiap periode 1 detik akan dijadikan nilai tegangan *peak to peak* (V_{pp}) menggunakan persamaan (2).

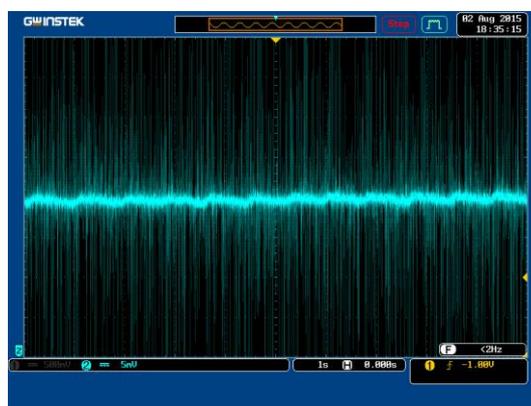
$$V_{pp} = \max - \min \quad (2)$$

Proses pencarian nilai V_{pp} dilakukan dalam selang waktu 12 detik, berarti akan didapatkan 12 tegangan V_{pp} . Tegangan V_{pp} inilah yang akan ditampilkan pada LCD.

4. Pengujian dan Analisa.

4.1 Pengujian Rangkaian Sensor Photodioda

Pengujian rangkaian sensor photodioda dilakukan ketika jari ditempatkan didalam *probe*.



Gambar 7. Output Sensor Photodioda

Berdasarkan sinyal hasil pengujian sensor photodioda, *output* yang didapatkan mengandung banyak *noise* sehingga pola sinyal PPG belum bisa terlihat. Maka dibutuhkan rangkaian untuk mem-*filter* dan menguatkan sinyal keluaran photodioda tersebut agar dapat diolah di mikrokontroler.

4.2 Pengujian *Output* Rangkaian setelah Dihubungkan dengan Rangkaian *High Pass Filter*

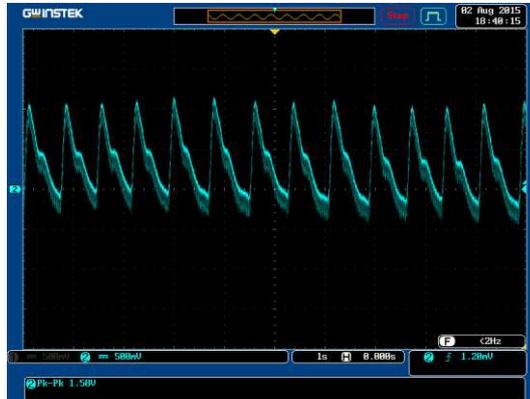
Output rangkaian sensor photodioda kemudian dihubungkan dengan rangkaian *high pass filter* untuk melihat pengaruh *high pass filter* terhadap sinyal keluaran photodioda. Gambar 8 menunjukkan hasil keluaran sensor photodioda setelah *high pass filter*.



Gambar 8. Hasil Keluaran Sensor Setelah *High Pass Filter*

Setelah dihubungkan dengan rangkaian *high pass filter*, pola sinyal PPG sudah mulai terlihat walaupun masih mengandung *noise*. Namun amplitudo sinyal keluaran masih kecil.

4.3 Pengujian *Output* Rangkaian setelah Dihubungkan dengan Rangkaian Penguat *Non-Inverting*



Gambar 9. Hasil keluaran sensor setelah penguat kedua

Setelah dikuatkan, amplitudo keluaran sensor menjadi lebih besar yaitu berada pada level 1,58 Vp-p. Penguatan yang dilakukan secara bertingkat ini memperkecil *noise* yang sebelumnya cukup banyak terdapat pada sinyal keluaran sensor. Walaupun sudah cukup teredam, masih terlihat adanya *noise* yang mempengaruhi sinyal keluaran sensor.

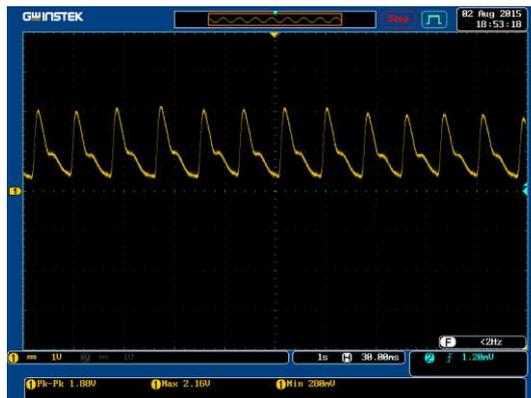
4.4 Pengujian *Output* Rangkaian setelah Dihubungkan dengan Rangkaian *Low pass filter*



Gambar 10. Hasil Pengujian Keluaran Rangkaian Setelah *Low pass filter*

Setelah dihubungkan dengan rangkaian *low pass filter*, sinyal keluaran sensor menjadi lebih bersih dari *noise* dan pola sinyal PPG sudah dapat terlihat. Namun pada sinyal keluaran sensor ini masih ada amplitudo yang negatif. Agar sinyal keluaran rangkaian dapat dibaca oleh ADC pada mikrokontroler maka sinyal keluaran ini harus digeser agar amplitudo sinyal bernilai positif.

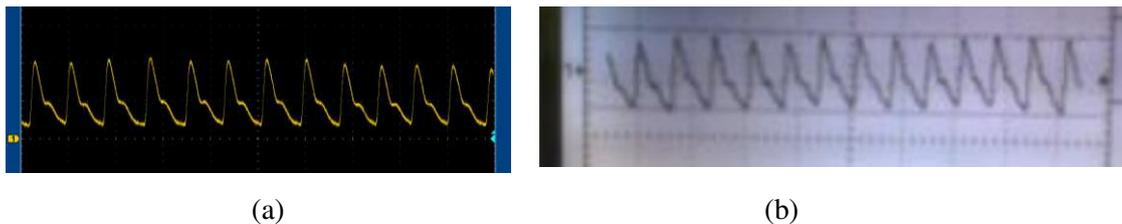
4.5 Pengujian *Output* Rangkaian setelah Dihubungkan dengan Rangkaian *Adder*



Gambar 11. Sinyal keluaran sensor setelah rangkaian *adder*

Pada gambar ini dapat terlihat bahwa setelah menggunakan rangkaian *adder*, keseluruhan amplitudo sinyal keluaran sensor telah berada pada sisi positif dan tidak ada lagi amplitudo negatifnya. Maka hal ini menunjukkan bahwa rangkaian *adder* bekerja dengan baik dalam menaikkan level tegangan dan tidak mempengaruhi besar sinyal keluaran sensor.

Gambar 12 menunjukkan perbandingan sinyal output rangkaian dengan sinyal dari referensi yang penulis gunakan Sugondo Hadiyoso,2010.



Gambar 12. *Output* Sinyal PPG dari alat (a), *Output* sinyal PPG dari referensi (b)

Dari gambar 12 dapat dilihat output sinyal PPG yang dihasilkan oleh alat yang penulis buat dengan output sinyal PPG dari referensi yang penulis gunakan. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa sinyal PPG yang diperoleh telah hampir sesuai dengan *output* sinyal PPG dari referensi. Sinyal inilah yang akan diolah di mikrokontroler.

4.6 Pengujian Akuisisi Data Sinyal PPG

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan *output* rangkaian dengan pin ADC mikrokontroler untuk dilakukan akuisisi data dari sinyal PPG yang diperoleh. Untuk melakukan akuisisi data sinyal PPG, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan oleh subjek pengukuran (*preparation step*) sebagai berikut :

1. Subjek yang menggunakan *probe* sensor memposisikan tubuhnya dalam keadaan rileks.
2. Setelah subjek memasang *probe* sensor pada jari tangan dan memposisikan tubuhnya dalam keadaan tenang dan tidak bergerak lalu menekan tombol *Start*.
3. Setelah penekanan tombol *Start* sistem akan menjalankan delay selama 5 detik lalu proses akuisisi data sinyal PPG dimulai.
4. Selama proses akuisisi data yang berlangsung selama 12 detik subjek tidak melakukan pergerakan agar data yang diperoleh nantinya tidak mengalami *error*.



Gambar 13 Tampilan awal pada LCD

Gambar 13 merupakan tampilan awal LCD pada alat sebelum proses sampling sinyal dimulai. Setelah delay beberapa saat, tulisan seperti yang terlihat pada gambar 14 muncul

sebagai instruksi untuk penekanan tombol A pada *keypad* setelah subjek memasang sensor pada jari tangannya. Setelah subjek dalam kondisi tenang dan tidak melakukan pergerakan, penekanan tombol A dapat dilakukan.



Gambar 14. Instruksi Penekanan Tombol



Gambar 15. Tampilan LCD dengan delay sebelum akuisisi data sinyal PPG

Setelah tombol A ditekan tampilan LCD akan seperti yang terlihat pada gambar 15. Tampilan ini akan muncul selama 5 detik untuk memastikan kembali agar subjek tidak bergerak. Lalu tampilan akan berubah seperti pada gambar 16.



Gambar 16. Tampilan LCD saat akuisisi data berlangsung

Setelah proses akuisisi data sinyal PPG selesai, LCD akan menampilkan data hasil akuisisi sinyal sebanyak 12 sinyal dalam satuan mVpp seperti pada gambar 17 dan gambar 18.



Gambar 17. Tampilan akuisisi enam sinyal pertama



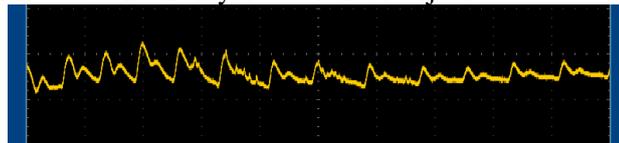
Gambar 18. Tampilan akuisisi enam sinyal kedua



Gambar 19. Tampilan nilai rata-rata Vpp

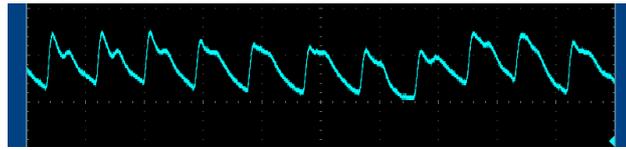
Tampilan hasil akuisisi 12 sinyal dibuat menjadi 2 bagian seperti pada gambar karena keterbatasan dari jumlah karakter yang dapat ditampilkan pada LCD yang digunakan.

Selama melakukan pengujian sistem terhadap beberapa subjek, penulis menemukan beberapa permasalahan yang sering muncul. Diantaranya osilasi yang muncul pada saat pengukuran dilakukan terhadap subjek. Osilasi yang muncul ini mempengaruhi besar amplitudo dan merusak bentuk sinyal sehingga dapat berpengaruh terhadap sinyal PPG yang disampling. Gambar 20 adalah salah satu bentuk sinyal saat osilasi terjadi.



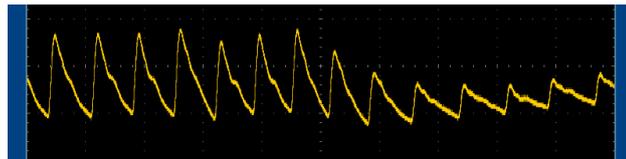
Gambar 20. Bentuk Sinyal saat terjadi osilasi

Sistem yang dibuat saat ini juga masih cukup rentan terhadap pergerakan, untuk itu subjek diharapkan untuk tidak melakukan pergerakan pada saat akuisisi data berlangsung. Gambar 21 adalah bentuk sinyal akibat pergerakan.



Gambar 21. Bentuk Sinyal Akibat Pergerakan

Selain itu terjadi ketidakstabilan pada bentuk sinyal walaupun subjek tidak melakukan pergerakan saat pengukuran berlangsung sehingga sangat mempengaruhi pembacaan nilai keluaran rangkaian. Gambar 22 adalah bentuk sinyal saat terjadi ketidakstabilan.



Gambar 22. Bentuk Sinyal Saat Terjadi Ketidakstabilan

Masalah yang dipaparkan pada bagian pengujian ini menyebabkan sistem belum mampu menghasilkan output yang stabil. *Output* yang tidak stabil ini berakibat pada nilai rata-rata V_{pp} karena sistem yang dibuat saat ini belum mampu memisahkan nilai-nilai puncak sinyal yang memiliki selisih cukup besar dengan nilai puncak sinyal lainnya melainkan langsung mencari rata-rata dari keseluruhan nilai V_{pp} 12 puncak sinyal.

Menurut Nopriansyah dalam penelitiannya tentang alat ukur gula darah menggunakan metode photoplethysmography menunjukkan bahwa sinyal PPG dapat dijadikan acuan informasi gula darah. Beliau mengambil nilai maksimum dan minimum dari sinyal-sinyal PPG yang diperoleh. Dari nilai maksimum dan minimum diperoleh nilai V_{pp} dari sinyal-sinyal yang disampling. Nilai V_{pp} yang didapat dibandingkan dengan nilai gula darah yang terukur. Dari pengukuran beberapa orang subjek diperoleh korelasi yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan gula darah dalam tubuh seseorang, maka nilai V_{pp} yang diperoleh semakin kecil dan sebaliknya semakin rendah gula darahnya maka nilai V_{pp} yang diperoleh semakin besar (Nopriansyah, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum dan minimum dari sinyal PPG dapat dijadikan acuan dalam perolehan nilai gula darah.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa terhadap sistem yang dibuat pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibuat telah mampu mengidentifikasi dan menampilkan data sinyal PPG yang sesuai dengan referensi yang ada. Namun sistem ini masih sangat rentan terhadap pergerakan dari subjek yang diukur.

5.2 Saran

Agar sistem yang telah dibuat ini dapat lebih dikembangkan dan disempurnakan kedepannya, terdapat saran dari penulis diantaranya :

1. Merancang bentuk probe sensor yang lebih baik.
2. Menggunakan pemancar cahaya (LED Inframerah) dengan panjang gelombang yang lebih panjang (mid infrared LED).
3. Mencari metode yang lebih efektif agar dapat mengurangi pengaruh pergerakan dan respirasi terhadap sinyal keluaran sensor.
4. Sistem yang memanfaatkan sinyal PPG ini dapat dikembangkan untuk pengukuran detak jantung, saturasi oksigen dan kadar gula darah.

Daftar Pustaka

- [1] Swarup, Sarkar. (2012). *Fingertip Pulse Wave (PPG Signal) Analysis and Heart Rate Detection*. International Jurnal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
- [2] Mallick, Bandana. (2016). *Heart Rate Monitoring System Using Finger Tip Trough Arduino and Processing Software*. International Jurnal of Science, Engineering, and Technology Research (IJSETR), Volume 5, January 2016.
- [3] Langereis, Geert. (2010). Photoplethysmography (PPG) System. Dalam CS tau Home Page. Diambil pada 10 September 2015 dari :
www.cs.tau.ac.il/~nin/Courses/.../PPG%20Sensor%20System.pdf
- [4] Hadiyoso, Sugondo. (2010). *Monitoring Photoplethysmograph Digital Dengan Wireless Lan (802.11b)*. Institut Teknologi Telkom : Bandung.
- [5] Hary. (t.t). Modul Codec dan Sampling. Dalam Lecturer Pens Home Page. Diambil pada 10 September 2015 dari
http://www.bima.lecturer.pens.ac.id/.../ps2_codec_sampling.pdf
- [6] Anwar, Bobby. (t.t). *Perancangan Dan Implementasi Alat Pengukur Kadar Glukosa Dalam Darah Secara Non-Invasive Berbasis Arduino*. Telkom University.