

PERANCANGAN DAN ANALISIS SINYAL PHOTOPLETHYSMOGRAPH UNTUK GULA DARAH

DESIGN AND ANALYSIS PHOTOPLETHYSMOGRAPH SIGNAL FOR BLOOD GLUCOSE MEASUREMENT

Redho Yurizal¹, Astri Novianty², Anggunmeka Luhur³

^{1,2,3}Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹yurizaldo@students.telkomuniversity.ac.id, ²astrinov@staff.telkomuniversity.ac.id,
³anggunmeka@staff.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Diabetes Mellitus adalah penyakit yang sudah meluas. Gejala penyakit diabetes mellitus dapat diindikasikan dengan mengukur kadar gula darah dalam tubuh. Penderita diabetes harus mengukur gula darah dengan rutin. Saat ini pengukuran glukosa masih menggunakan alat *invasive*, hal ini mengganggu kenyamanan pasien. Sehingga dibutuhkan alat *non invasive* untuk mengukur gula darah. Dengan metode *photoplethysmograph* dapat dilakukan pengukuran kadar gula darah secara *non invasive*. Perancangan *photoplethysmograph* pada penelitian ini menggunakan konfigurasi transmisi yang terdiri dari inframerah dengan panjang gelombang 1450nm sebagai sumber cahaya dan penerima *phototransistor*, dan mikroprosesor 328p sebagai konversi ke digital. Penelitian ini dilakukan pengkondisian sinyal digital terdiri dari *detrend signal* dan *lowpass filter*. Pengujian alat dilakukan dengan mengukur kadar gula darah pada 30 probandus dan melihat korelasi antara nilai kadar gula darah dan nilai *peak-to-peak*. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya yang diterima *phototransistor* yang direpresentasikan oleh nilai *peak-to-peak* pada tegangan output akan mengalami perubahan seiring dengan berubahnya kadar gula darah, mengikuti persamaan $Y = 11.033x - 85.348$. Nilai koefisien $R^2 = 0.95$ menunjukkan bahwa x (nilai *peak-to-peak*) berpengaruh besar terhadap y (nilai kadar gula darah). Nilai ketepatan alat adalah 98.07%.

Keyword : photoplethysmography, gula darah, pengukuran non invasif

Abstract

Diabetes is a disease that has been extended in the world. The symptoms of diabetes can be indicated by measuring blood glucose level in the body. Patients with diabetes need to measure blood glucose regularly. Currently, the measurement of glucose is still using an *invasive*, It is disturbing for patients comfort, so it takes a *non invasive* to measure blood glucose. *Photoplethysmography* is a method can perform measurements of blood glucose levels in *non invasive*. Design *photoplethysmograph* in this study used configurations with infrared transmission wavelength of 1450nm as a light source and a receiver *phototransistor*, and mikroprosesor 328p as the conversion to digital. This research was conducted digital signal conditioning and data processing with matlab 2015b. Testing tools is done by measuring the blood sugar levels in probandus and see the relationship with *peak-to-peak*. The test results showed that the intensity of the light received by the *phototransistor* is represented by the value of the peak to peak on the output voltage will change in line with changes in blood glucose levels, follows the equation $Y = 11.033x - 85.348$. The coefficient of $R^2 = 0.95$ indicates that x major effect on y. Values tool accuracy is 98.07%.

Keyword : *photoplethysmograph*, *glucose measurement*, *non invasive*

1. Pendahuluan

Penyakit diabetes melitus merupakan penyakit yang berhubungan dengan penumpukan atau kelebihan glukosa (gula) di dalam darah. Glukosa dibutuhkan oleh sel-sel tubuh untuk dapat bekerja dengan normal. Kelebihan glukosa dalam darah dapat disimpan didalam sel-sel tubuh dengan bantuan hormon insulin. Jika produksi insulin terganggu, gula tidak bisa disimpan dan akan menumpuk didalam darah. Hal tersebut disebabkan oleh ketidakmampuan pankreas memproduksi insulin dalam jumlah yang cukup. Penderita diabetes yang pola hidupnya tidak diatur dengan baik akan mengalami peningkatan kadar gula dalam darah yang disebut hiperglikemia. Hiperglikemia yang berlangsung terus menerus dalam waktu yang lama akan menyebabkan kerusakan fatal pada organ-organ penting dalam tubuh. Oleh karena itu, pengendalian kadar gula darah bagi penderita sangatlah penting.

Melihat bahwa pengecekan kadar gula darah secara rutin sangat diperlukan oleh penderita diabetes,

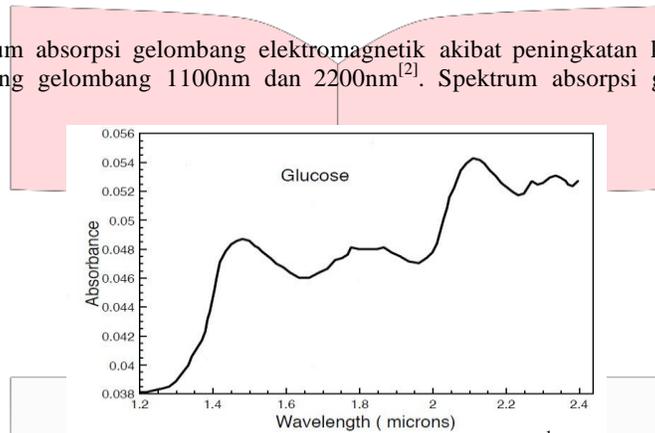
diperlukan alat yang dapat mengukur kadar gula darah. Selain harus memiliki akurasi yang baik, alat tersebut juga harus memberikan kenyamanan saat digunakan dan sederhana dalam penggunaannya karena frekuensi pemakaiannya yang rutin. Saat ini, dipasaran tersedia alat pengukur kadar gula darah secara *invasive*. Cara penggunaannya adalah dengan mengambil sampel darah pasien pada sebuah strip untuk dilakukan pengecekan pada alat. Alat yang telah ada saat ini hasilnya cukup akurat namun relatif tidak nyaman dalam penggunaannya. Jika ingin mengukur gula darah, setiap orang harus mengambil sampel darah dengan melukai bagian tubuh. Selain tidak nyaman, cara *invasive* juga menghabiskan waktu yang cukup lama.

Hal tersebut juga melatarbelakangi pembuatan tugas akhir ini, yaitu suatu alat yang dapat mengukur kadar gula darah dengan metode *plethysmography*.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Spektrum Absorpsi Gula Darah

Perubahan spektrum absorpsi gelombang elektromagnetik akibat peningkatan konsentrasi gula dalam darah berada pada kisaran panjang gelombang 1100nm dan 2200nm^[2]. Spektrum absorpsi gula darah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Spektrum absorpsi gula darah¹

2.2. Hukum Beer-Lambert

Hukum *Beer-Lambert* menyatakan bahwa nilai absorbansi cahaya yang diserap oleh suatu materi akan sebanding dengan konsentrasi materi tersebut dalam larutan tertentu^[3]. Persamaan hukum *Beer-lambert* adalah sebagai berikut.^[4]

$$I_{out} = I_{in} e^{-\epsilon(\lambda)cd} \tag{1}$$

$$T = \frac{I_{out}}{I_{in}} = e^{-\epsilon(\lambda)cd} \tag{2}$$

$$A = -\ln(T) = \epsilon(\lambda)cd \tag{3}$$

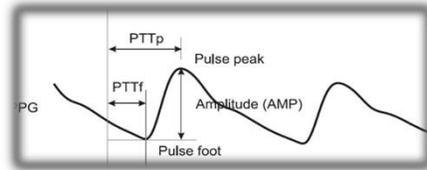
Keterangan :

- I_{out} = Intensitas cahaya yang keluar dari medium
- I_{in} = Intensitas cahaya yang masuk ke dalam medium
- $\epsilon(\lambda)$ = Koefisien peluruhan pada panjang gelombang tertentu
- c = Konsentrasi medium
- d = Panjang gelombang optic yang melalui medium
- T = Transmittansi
- A = Absorbansi

2.3. Photoplethysmograph

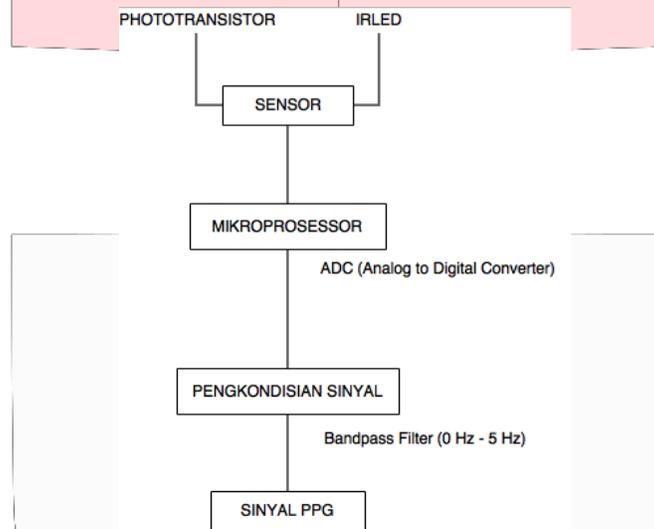
Volume darah dalam suatu organ akan selalu berubah-ubah akibat dari pemompaan darah oleh jantung. Prinsip-prinsip *photoplethysmography* diterapkan untuk mengukur perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh

penyerapan matriks sebelum dan sesudah perubahan volume darah yang disebabkan adanya fase sistolik dari siklus jantung. Informasi dari sinyal perubahan volume darah ini dapat digunakan untuk menghitung gula darah karena setiap puncak gelombang yang terjadi berkorelasi dengan konsentrasi gula darah.^[5]



Gambar 2 Sinyal Photoplethysmograph⁵

Plethysmograph 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 didalamnya. PPG merupakan instrumen *plethysmograph* yang bekerja menggunakan sensor optik.^[5] Berikut gambar diagram blok dari perancangan photoplethysmograph pada penelitian ini.



Gambar 3 Diagram blok photoplethysmograph

Perancangan sensor menggunakan phototransistor dan inframerah dengan panjang gelombang 1450nm dan Mikroprocessor 328p sebagai konversi analog ke digital. Melakukan pengkondisian dan pengolahan data pada Matlab.

2.4. Rangkaian Sensor

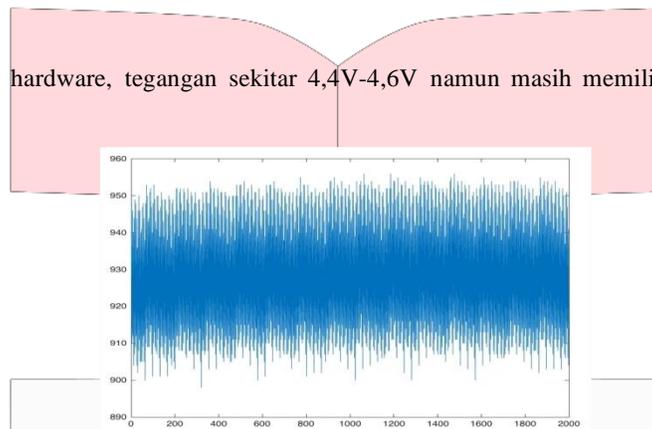
Untuk mendeteksi adanya perubahan volume darah atau adanya aliran darah menggunakan sensor cahaya yang dibuat menggunakan inframerah dan Phototransistor yang dipasang pada jari tangan. IRLED digunakan untuk memancarkan cahaya ke jari tangan. Cahaya yang ditransmisikan melalui ujung jari kemudian diterima oleh phototransistor. Pada saat volume darah pada jari tangan bertambah maka lebih banyak cahaya yang diserap dan intensitas cahaya yang diterima phototransistor berkurang sehingga nilai hambatan phototransistor naik. Dengan naiknya hambatan phototransistor maka tegangan yang timbul pada phototransistor akan naik. Sebaliknya jika volume darah pada jari berkurang semakin banyak cahaya yang diserap phototransistor, nilai hambatannya turun dan tegangan pada phototransistor turun.



Gambar 4 Rangkaian sensor dan realisasi alat rancangan

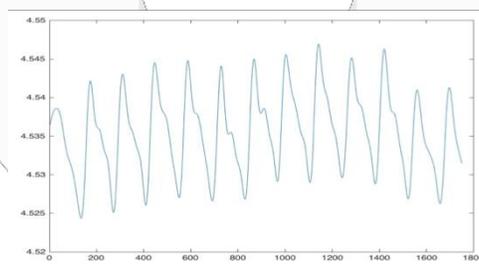
2.5. Filter Digital

Pada perancangan hardware, tegangan sekitar 4,4V-4,6V namun masih memiliki banyak noise seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Sinyal keluaran sensor

Sinyal diatas masih belum dapat diolah, maka diperlukan pengkondisian sinyal agar dapat diolah. Pada analisis gula darah diperlukan komponen AC maka harus dihilangkan komponen DC. Pengkondisian sinyal menggunakan Matlab untuk memfilter. Filter yang digunakan yaitu lowpass filter denganfrekuensi cut off 5Hz. Berikut hasil sinyal setelah di filter.



Gambar 6 Sinyal setelah filter

3. Pengujian

3.1. Parameter Pengujian

Pada sistem *photoplethysmograph* dilakukan pengujian dengan melibatkan parameter yang akan diuji adalah sensor, kalibrasi alat, alat rancangan. Kalibrasi alat dilakukan untuk mencari hubungan antara *peak-to-peak* dengan gula darah. Data yang digunakan untuk pengujian adalah kadar gula darah dari probandus sebelum makan dan sesudah makan dari alat glucometer dan *peak-to-peak* dari alat rancangan.

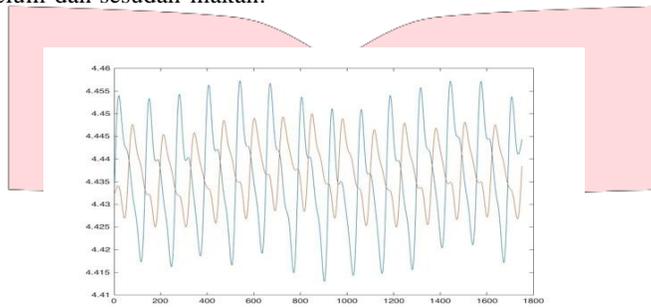
3.2. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk uji respon phototransistor terhadap inframerah dengan panjang gelombang 1450nm.

Tabel 1 Pengujian sensor

Kondisi	Vout (V)
Tanpa Jari	0 V
Dengan Jari	4.2 V – 4.6 V

Setelah dilakukan pengujian phototransistor dapat menerima panjang gelombang 1450nm, maka dilakukan pengujian IRLED panjang gelombang 1450 dapat membaca kadar gula darah dalam jari. Berikut hasil dari pengujian ini dilakukan pada saat sebelum dan sesudah makan.

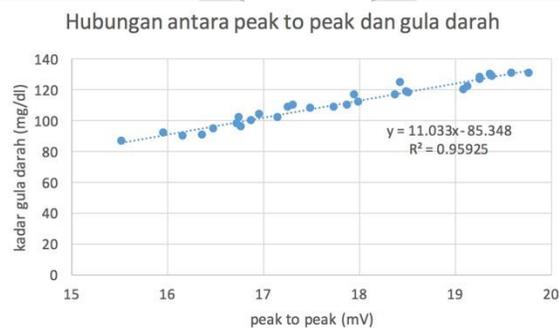


Gambar 7 Sinyal PPG setelah makan dan sebelum makan

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa adanya perubahan *peak-to-peak* pada sebelum dan sesudah makan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar bahwa *peak-to-peak* setelah makan lebih besar dibanding *peak-to-peak* sebelum makan.

3.3. Kalibrasi Alat

Pada proses kalibrasi, dilakukan pengukuran *peak-to-peak* dengan alat rancangan dan kadar gula darah dengan gluco DR AGM-2100 pada saat yang hampir bersamaan. Pengukuran dilakukan pada empat probandus yang waktu pengukurannya tidak ditentukan. Pengukuran ini bertujuan untuk melihat hubungan antara *peak-to-peak* dengan kadar gula darah. Hasil pengukuran disajikan pada grafik berikut.



Gambar 8 Hubungan antara *peak-to-peak* dan kadar gula darah

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *peak-to-peak* memiliki pengaruh besar terhadap nilai kadar gula darah, karena koefisien $R^2 = 0.95925$ yang artinya x berpengaruh terhadap y. Maka hubungan antara nilai *peak-to-peak* dan kadar gula darah didapat persamaan berikut.

$$Y = 11.033x - 85.348 \quad (4)$$

Keterangan :

X = nilai *peak-to-peak*
 Y = nilai kadar gula darah

3.4 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui nilai ketepatan dan ketelitian alat yang dirancang pada penelitian ini. Nilai ketepatan dan ketelitian dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$Ketepatan = \left(1 - \left|\frac{A-N}{N}\right|\right) \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :
 A = Nilai kadar gula darah dari alat rancangan
 N = Nilai kadar gula darah dari Gluco DR AGM-2100

$$Ketelitian = \left(1 - \left|\frac{Sd}{x}\right|\right) \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :
 Sd = Standar deviasi kadar gula darah alat rancangan
 x = Rata-rata kadar gula darah alat rancangan

Alat rancangan yang dapat menunjukkan keluaran dalam nilai kadar gula darah diuji kembali agar dapat diketahui nilai ketepatan dan ketelitiannya. Pengujian dilakukan dengan mengukur kada gula darah dari empat probandus alat rancangan dan alat konvensional Gluco DR AGM-2100. Alat rancangan dilakukan pengukuran dengan *non invasive* sedangkan Gluco DR AGM-2100 dilakukan pengukuran dengan mengambil sampel darah. Nilai ketepatan diperoleh dengan memasukkan nilai kadar gula darah alat rancangan dan kadar gula dari dari Gluco DR AGM-2100 pada setiap pengukuran dalam persamaan ketepatan. Kemudian, dari seluruh nilai ketepatan tersebut dihitung rata-rata kadar gula darah alat rancangan, pada tabel 2 ditunjukkan hasil nilai ketepatan dari 30 data dan nilai ketelitian yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2 Hasil pengukuran kadar gula darah nilai ketepatan

Probandus Ke	Kadar gula darah		Ketepatan (%)
	Alat rancangan	Gluco DR-AGM2100	
1	125.16	120	95.7
2	85.87	87	98.7
3	103.81	102	98.23
4	99.54	96	96.31
5	96.38	95	98.54
Rata-rata dari 30 data			98.07

Tabel 3 Hasil pengukuran kadar gula darah nilai ketelitian

Probandus Ke	Alat rancangan		rata-rata	Standar Deviasi	Nilai ketelitian
	Alat rancangan	Gluco DR AGM-2100			
1	89.87	87	90.57	0.30	99.67
	90.72				
	91.11				

2	99.12	108	99.32	0.10	99.90
	99.30				
	99.54				
3	101.76	117	101.7 1	7.24	92.88
	103,81				
	101.65				
Average					97.48

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Adapun yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah.

1. Pada kalibrasi alat, dilakukan pencarian korelasi antara *peak-to-peak* dengan kadar gula darah yang menghasil koefisien $R^2 = 0.95$ yang artinya *peak-to-peak* berpengaruh besar terhadap kadar gula darah karena koefisien determinasi mendekati nilai 1, maka dengan analisa regresi linear didapat persamaan yaitu $Y = 11.033 X - 85.348$, dengan variabel Y sebagai nilai kadar gula darah dan X sebagai nilai *peak-to-peak*. Persamaan inilah yang digunakan untuk mengkonversi nilai *peak-to-peak* menjadi kadar gula darah.
2. Dari pengambilan data sebanyak 30 probandus dan uji coba persentase ketepatan dan ketelitian alat rancangan gula darah sebesar 98.07% dan 97.90%. Dengan demikian realisasi alat rancangan dapat dijadikan acuan nilai kadar gula darah yang sebenarnya.

4.2 Saran

Saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya adalah.

1. Melakukan pengkondisian sinyal pada hardware sehingga keluaran sinyal dari *photoplethysmograph* dapat langsung diolah tanpa filter pada matlab.
2. Melakukan pengembangan pada persamaan 4 dengan menampilkan gula darah pada *smartphone* ataupun *device* lain yang dapat *mobiling*.
3. Melakukan uji pada sumber cahaya dengan panjang gelombang 2200nm karena pada grafik spektrum absorpsi gula darah menunjukkan memiliki nilai absorpsi lebih besar.
4. Melakukan pengujian dengan menentukan gula darah dengan metode analisis lain.

5. Daftar Pustaka

[1] Sia, Dino, 2010. Design of a Near-Infrared Device for the Study of Glucose Concentration Measurements. McMaster Univeristy

[2] Y. Yu, K. D. Crothall, L. G. Jahn, and M. A. DeStefano, "Laser diode applications in a continuous blood glucose sensor," Proc. SPIE, vol. 4996, pp. 268-274, 2003.

[3] Mehta A. Derivation of Beer-Lambert Law [internet]. 2012. [diacu 2016 Mei 12]. Tersedia dari: <http://pharmaxchange.info/press/2012/04/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%E2%80%93-derivation-of-beer-lambert-law/>.

[4] Clark J. 2007. The Beer-Lambert Law [internet]. 2007. [diacu 2016 Juli 14]. Tersedia dari: <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/beerlambert.html>

[5] Luhur, Anggunmeka. 2013. Desain dan implementasi PPG (photoplethysmograph) untuk mengamati pulse rate pada manusia.