



Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah Non-Invasive Berbasis Arduino Nano

Susi Nurindah*, Abdul Halim Daulay

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan

e-mail*: susi.nurindah@uinsu.ac.id

Diterima 10 Oktober 2022

Disetujui 16 Januari 2023

Dipublikasikan 23 Januari 2023

<https://doi.org/10.33369/jkf.5.3.161-168>

ABSTRAK

Diabetes merupakan penyakit kronis yang paling tinggi kenaikan angka prevalensinya saat ini dan merupakan sepuluh besar penyebab kematian di dunia. Saat ini di Indonesia jumlah penderita diabetes diperkirakan mencapai lebih dari 16 juta orang yang kemudian memiliki risiko terkena komplikasi. Alat yang disebut glukometer sering digunakan untuk memeriksa kadar gula darah. Ini menggunakan teknik kimia berbasis sensor dengan enzim glukosa oksidase sebagai komponen aktif. Perangkat ini membutuhkan sampel darah, setelah menusuk jari dengan jarum darah dikeluarkan dan sampel darah diambil yang disebut metode invasive. Tujuan dari penelitian ini yakni membuat gadget berbasis sensor Arduino nano untuk mendeteksi kadar gula darah tanpa mengganggu fotodiode dengan sampel uji berupa ruas teratas jari telunjuk tangan. Alasan menggunakan arduino nano pada penelitian ini dikarenakan komponennya yang lebih simpel dan biayanya yang relatif lebih murah. Hasil penelitian pengembangan sistem pemantauan gula darah *non-invasive* ini dapat bekerja dengan baik dan mengukur kadar gula darah dengan berbasiskan arduino nano. akurasi pembacaan sekitar 99,67% berdasarkan temuan perhitungan persentase kesalahan, atau ketidaktepatan rata-rata 0,33%. Jadi, realisasi pengukur gula darah *non-invasive* berbasiskan arduino nano ini dapat dijadikan sebagai alat pengukur gula darah tanpa melukai tubuh.

Kata Kunci: Diabetes, gula darah, arduino nano, LED, fotodiode.

ABSTRACT

Diabetes is a chronic disease with the highest prevalence rate increase at present and is the top ten causes of death in the world. Currently in Indonesia the number of diabetics is estimated to reach more than 16 million people who then have a risk of developing complications. An instrument called a glucometer is often used to check blood sugar levels. It uses a sensor-based chemical technique with the glucose oxidase enzyme as the active component. This device requires a blood sample, after pricking the finger with a needle the blood is removed and a blood sample is taken which is called an invasive method. The purpose of this research is to create an Arduino nano sensor-based gadget to detect blood sugar levels without disturbing the photodiode with the test sample in the form of the top segment of the index finger. The reason for using Arduino Nano in this study is because the components are simpler and the cost is relatively cheaper. The results of research on the development of this non-invasive blood sugar monitoring system can work well and measure blood sugar levels based on Arduino Nano. the accuracy of the reading is around 99.67% based on the findings of the calculation of the percentage of errors, or an average inaccuracy of 0.33%. So, the realization of this non-invasive blood sugar meter based on Arduino Nano can be used as a blood sugar meter without injuring the body.

Keywords: Diabetes, blood sugar, arduino nano, LED, photodiode.

I. PENDAHULUAN

Diabetes merupakan penyakit kronis yang paling tinggi kenaikan angka prevalensinya saat ini dan merupakan sepuluh besar penyebab kematian di dunia(1). Kondisi kronis yang dikenal sebagai diabetes mellitus disebabkan oleh kegagalan tubuh untuk mensintesis insulin yang cukup atau oleh penggunaan hormon yang tidak efektif. Permasalahan DM di Indonesia saat ini adalah sebagian besar masyarakat tidak menyadari bahwa mereka mengidapnya dan tidak menyadari bahwa mereka memerlukan penanganan secara berkala(2). Perlu disebutkan bahwa DM juga dapat berkembang karena keturunan, selain gaya hidup yang tidak sehat. Saat ini ada lebih dari 16 juta orang dengan



diabetes di Indonesia, dan orang-orang ini berisiko mengalami komplikasi(3).

Glukometer berbasis sensor kimia, yang menggunakan enzim glukosa oksidase sebagai komponen aktifnya, merupakan teknik yang paling sering digunakan untuk memeriksa kadar gula darah. Instrumen memerlukan sampel darah, dan prosedur untuk mendapatkan sampel darah dikenal sebagai pendekatan intrusif karena melibatkan pengambilan darah setelah jari ditusuk dengan jarum(4). Pasien yang menderita diabetes atau cedera pankreas yang mencegah mereka memproduksi insulin mungkin perlu mengelola atau memantau kadar gula darah menggunakan prosedur invasif, yang jika sering dilakukan, akan mengakibatkan infeksi dan perdarahan(5).

Sistem pendeteksi gula darah menggunakan metode *non-invasive* sudah mulai dilakukan sebagai alternatif dari metode *invasive*(6). Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Eric C.Green, Eric C. Green memulai penelitian pada tahun 2005 untuk mencari metode yang tepat dalam mengukur kadar gula darah secara *non-invasive* menggunakan gelombang mikro dengan memanfaatkan keadaan permitivitas tubuh(7). Mellanie McClung menyempurnakan penelitian yang dilakukan Eric pada tahun 2008 dengan memodifikasi bentuk mikrostrip agar lebih mudah digunakan dan menghasilkan sensor yang mampu bekerja pada rentang frekuensi yang cukup besar(8). Penelitian lain yang membuat alat pengukur kadar gula dalam darah secara *non-invasive* berbasis Arduino antara lain penelitian oleh Suyono dan Hambali tahun 2020 yang merancang sebuah alat yang bisa mendeteksi kadar gula dalam darah tanpa melukai tubuh yaitu dengan metode *non-invasive*. Pengukuran secara *non-invasive* pada alat ini memanfaatkan fenomena optik berupa terjadinya penyerapan panjang gelombang gula darah yaitu antara 750-2500 nm. Hasil dari pembacaan sensor akan ditampilkan di LCD sebelum di tampilkan di LCD data diolah didalam Arduino Uno.

Metode yang peneliti lakukan adalah dengan bantuan Arduino nano, sensor fotodioda, dan sampel uji berupa ruas atas jari telunjuk, peneliti akan membangun sebuah perangkat *non-invasive* untuk pemantauan kadar gula darah pada penelitian ini. Karena komponennya lebih sederhana dan biayanya jauh lebih rendah, arduino mini dipilih untuk penelitian ini. Alasan digunakannya sensor fotodioda dalam penelitian ini adalah karena merupakan sensor peka cahaya (fotodetektor) yang akan mengalirkan arus sebagai fungsi linier dari jumlah cahaya yang diterima(9). Chip atau komponen ADS1115 ADC mengoptimalkan tingkat akurasi pengukuran. Instrumen pengujian kadar gula darah invasif komersial akan digunakan untuk membandingkan temuan pengukuran dari teknologi ini. Diperkirakan bahwa alat perhitungan gula darah dengan kadar *non-invasive* dengan akurasi tinggi akan dibuat(10).

II. METODE PENELITIAN

2.1 Peralatan dan perlengkapan Penelitian

Peralatan serta perlengkapan yang dipakai pada penelitian tersebut yaitu Arduino Nano, ADC, LM2596, LED(*Light Emitting Diode*), Modul fotodioda (*Photodiode*), LCD (*Liquid Crystal Display*), Resistor, *Pushbutton*, *DF Player Mini*, *Speaker Mini*, Pembuatan PCB, Box X4 (12,5cm x 8,5cm x 5cm), *Casing* Penjepit Jari, *Socket* dan Kabel.

2.2 Metode

Salah satu komponen elektronik yang dapat memancarkan cahaya adalah LED. Ketika arus listrik diberikan, LED akan mulai menghasilkan cahaya. Hanya besar pantulan cahaya tersebut yang dapat dipancarkan oleh LED. Mata manusia akan melihat panjang gelombang sebagai cahaya, sehingga LED hanya memiliki satu rona(11). LED dapat diwakili secara simbolis oleh



Gambar 1. Lambang LED

Karakteristik tegangan dan arus yang berbeda berlaku untuk setiap jenis LED(12). Nyala api

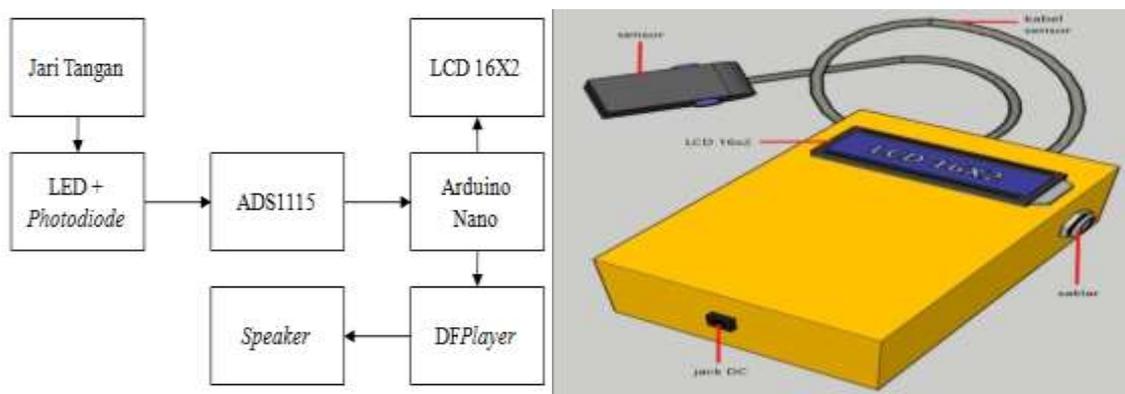
akan menyala lebih terang dan menggunakan lebih banyak daya semakin banyak arus yang mengalir melalui LED. LED bisa dihancurkan atau mungkin dibakar jika arus ini melebihi batas ditentukan dalam standar LED. Oleh karena itu, diperlukan suatu resistor untuk mengurangi besar arus yang mengalir. LED hadir dalam bahan semikonduktor sambungan P-n dan memancarkan cahaya saat dibias maju. Elektron bebas material tipe-p akan berdifusi ke material tipe-p melalui link, dan sebaliknya, lubang material tipe-p akan berdifusi ke material tipe-n. Persimpangan p-n kemudian mengalami penampilan seketika dari daerah penipisan, daerah tanpa biaya gratis.

Detektor kuantum dan detektor suhu adalah dua divisi mendasar yang dibuat Wilson di antara sensor pendeteksi cahaya. Perangkat semikonduktor mengubah semua radiasi dari sinar menjadi elektron, yang kemudian diproses dan digunakan untuk menghasilkan arus dalam rangkaian elektronik. Beginilah cara kerja detektor kuantum. Ketika tegangan balik digunakan untuk menyinari fotodiode sambungan p-n, arus akan berubah dengan linier seiring dalam peningkatan fluks cahaya. Dengan menggunakan sifat-sifat fotodiode, yang kemudian dapat dibuat sebagai sensor yang merespon kecerahan cahaya yang ditemuinya, dapat dibuat suatu alat untuk mendeteksi intensitas cahaya berdasarkan prinsip operasi tersebut. Fotodiode dapat direpresentasikan secara simbolis dengan:



Gambar 2. Lambang fotodiode

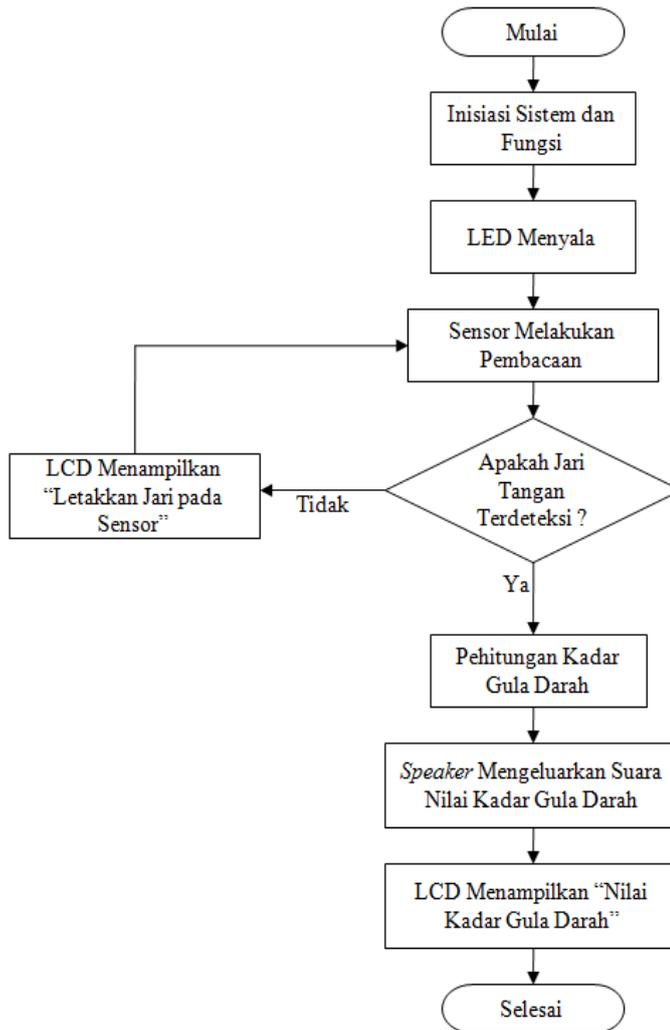
Salah satu jenis dioda adalah fotodiode tertentu yang resistansinya bervariasi tergantung pada jumlah cahaya yang diterimanya. Resistansi dioda menurun dengan meningkatnya intensitas cahaya, menghasilkan aliran arus yang lebih besar(13). Ketika tegangan balik digunakan untuk menyinari fotodiode sambungan p-n, arus berubah secara linier seiring dengan peningkatan fluks cahaya. Dengan menggunakan sifat-sifat fotodiode, yang kemudian dapat dibangun sebagai sensor yang peka terhadap intensitas cahaya yang diterimanya, dapat dibuat suatu alat untuk mendeteksi intensitas cahaya berdasarkan prinsip operasi tersebut. Diagram blok yang digunakan dalam penelitian ini memberikan gambaran yang jelas yaitu sebab dan akibat, input dari sistem Arduino Nano, dan output dari sistem Arduino Nano(14). Grafik di bawah ini menjelaskan diagram blok penelitian dan gambar desain alat.



Gambar 3. Blok Diagram Alir Penelitian dan Rangkaian Alat Ukur Kadar Gula Darah

Peneliti melakukan pengukuran dengan menjepit jari di antara fotodiode dan LED. Tegangan yang ditembakkan oleh LED dibaca oleh fotodiode, dan tegangan kemudian diubah menjadi mg/dl. Dengan pembacaan awal nilai ADC yang sebanyak 50 cacahan yang waktu pembacaannya selama 5 detik lebih, maka hasil dari pembacaan yang muncul pertama kali tersebut itulah hasil dari kadar gula darah yang sebenarnya yang akan ditampilkan melalui LCD. Berikut ini merupakan gambar

diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dan analisis dari komponen-komponen yang telah dirancang. Pengambilan data dari hasil pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja dari komponen-komponen pada sistem dan hasil akhir secara keseluruhan. Hasil yang diharapkan berupa data yang valid dan dapat bekerja sesuai fungsi dan tujuannya.

3.1 Kalibrasi Alat Ukur Kadar Gula Darah

Studi yang menggunakan teknik *non-invasive* untuk mengukur gula darah memproses nilai ADC yang berasal dari setiap sampel yang diperiksa. Hasil analisis data ADC dari masing-masing sampel ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Pengukuran Nilai ADC dan Kalibrasi Alat

| No | L/P | Umur | Invasive | Non-invasive | ADC |
|----|-----|------|----------|--------------|--------|
| 1 | L | 56 | 141 | 141.89 | 17.878 |
| 2 | P | 61 | 140 | 139.59 | 17.448 |
| 3 | L | 34 | 136 | 136.01 | 17.000 |
| 4 | P | 30 | 117 | 118.01 | 17.702 |

| No | L/P | Umur | Invasive | Non-invasive | ADC |
|----|-----|------|----------|--------------|--------|
| 5 | L | 26 | 139 | 139.15 | 17.532 |
| 6 | P | 22 | 109 | 109.34 | 17.494 |

Tabel di atas merupakan hasil analisis data ADC dari masing-masing sampel menggunakan teknik *non-invasive*. Tujuannya adalah untuk mengkalibrasi sensasi pengukuran kadar gula darah(15). Nilai setiap pembacaan ADC yang direkam selama pengujian kemudian akan diubah menjadi satuan mg/dl.

3.2 Pengujian Software Alat Pengukur Kadar Gula Darah

Dengan meniru program yang dibuat, dimungkinkan untuk menguji apakah perangkat lunak untuk mengukur kadar gula darah berfungsi sebagaimana dimaksud atau tidak. Software simulasinya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Rangkaian Power Supply

Pengujian *power supply* dan regulator tegangan. Untuk output pengukuran tegangan pada adaptor adalah 12,12 Volt DC. Untuk penelitian ini power supply berfungsi sebagai sumber tegangan untuk sistem dan komponen yang digunakan seperti Arduino nano, LCD, ADS, DF Player Mini dan komponen lainnya yang membutuhkan tegangan(16).

2. Pengujian LCD 16x2

LCD 16x2 yang digunakan dalam penelitian ini dapat menampilkan 32 karakter dalam 16 kolom dan 2 baris. Data yang telah diukur dan diproses oleh perangkat lunak dan sensor ditampilkan pada LCD ini sebagai output. LCD pada penelitian dihubungkan ke vcc, gnd, sda, dan scl untuk mengirim data hasil pengolahan yang akan ditampilkan dalam bentuk angka maupun huruf. LCD pada penelitian kali ini digunakan sebagai *display* untuk menampilkan tulisan atau angka. Pengguna dapat mengamati atau memantau kondisi sensor atau status aplikasi yang sedang berjalan menggunakan penampil LCD 16x2 ini.

3. Pengujian fotodiode

Pengujian fotodiode pada penelitian ini berfungsi dengan baik. Komponen listrik yang dikenal sebagai fotodiode memiliki kemampuan untuk mengubah cahaya menjadi listrik. Arus yang merupakan fungsi linier dari intensitas cahaya yang diterima akan mengalir melalui fotodiode. Pada penelitian ini fotodiode digunakan untuk menangkap cahaya LED merah dan dikonversikan ke nilai analog.

4. Pengujian Pushbutton

Pengujian *Pushbutton* pada penelitian ini berfungsi dengan baik. Fungsi tombol tekan sama dengan fungsi tombol pada umumnya. Tombol tekan memiliki dua kondisi, termasuk keadaan hidup dan mati, dan berfungsi sebagai pemutus atau sambungan. Pada penelitian kali ini *Pushbutton* digunakan sebagai tombol *play*.

5. Pengujian ADS1115

Pengujian ADS1115 pada penelitian ini ialah baik. Kegunaan komponen ini dalam penelitian adalah sebagai modul yang berisi 4 saluran dan antarmuka I2C untuk membaca ADC dengan resolusi hingga 16 bit. Pada penelitian ini ADS yang digunakan memiliki nilai analog 16 bit.

6. Modul DF Player Mini

Pengujian Modul DF Player Mini pada penelitian ialah baik. DF Player Mini digunakan sebagai indikator suara pada saat kondisi inialisasi alat berhasil dengan maka DFPlayer Mini akan mengeluarkan *output* berupa suara yang sudah diupload ke mikrokontroler. Yang dihubungkan ke pin 2 dan 3.

3.3 Persentase Kesalahan Alat

Peneliti melakukan pengukuran dengan menjepit jari di antara fotodiode dan LED. Tegangan yang ditembakkan oleh LED dibaca oleh fotodiode, dan tegangan kemudian diubah menjadi mg/dl. Hasil pembacaan pertama yang muncul adalah hasil kadar gula darah sebenarnya yang akan

ditampilkan melalui LCD saat pembacaan awal nilai ADC sebanyak 50 buah dan waktu pembacaan lebih lama dari 5 detik. Hasil pengukuran kadar gula darah dengan teknik *non-invasive* ditunjukkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Hasil pengujian menggunakan alat *non-invasive*

Persentase ketidakakuratan alat demikian harus dihitung saat mengevaluasi kinerjanya dengan membandingkan temuan pengukurannya dengan data gula darah aktual. Dengan menggunakan rumus berikut, tentukan persentase kesalahan alat.

$$\%error = \frac{\text{data gula darah} - \text{data pengukuran}}{\text{data gula darah}} \times 100\% \tag{1}$$

Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa % error adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Persentase Kesalahan Alat Pada Jurnal Rujukan

| No | Data pengukuran | Gula darah sebenarnya | Persentase kesalahan alat |
|----|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 78,45 | 80 | 1,93% |
| 2 | 84,23 | 85 | 0,90% |
| 3 | 88,31 | 86 | 2,69% |
| 4 | 95,10 | 90 | 5,68% |
| 5 | 100,88 | 102 | 1,09% |
| 6 | 109,38 | 110 | 0,56% |

Hasil perhitungan persentase ketidaktepatan, atau rata-rata error sebesar 2,14%, dan akurasi pembacaan sekitar 97,86%, ditunjukkan pada tabel 2 di atas. Untuk mencegah alat pengukur gula darah *non-invasive* yang diproduksi digunakan untuk menentukan kadar gula darah pada perangkat sebenarnya. Namun, penerapan perangkat ini memungkinkan penentuan perkiraan kadar gula darah tinggi dan rendah secara *non-invasive*(5). Sedangkan hasil dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Hasil Persentase Kesalahan Alat Pada Penelitian

| No | Data pengukuran | Gula darah sebenarnya | Persentase kesalahan alat |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 | 141.89 | 141 | 0,6% |
| 2 | 139.59 | 140 | 0,2% |
| 3 | 136.01 | 136 | 0% |
| 4 | 118.01 | 117 | 0,8% |
| 5 | 139.15 | 139 | 0,1% |
| 6 | 109.34 | 109 | 0,3% |
| Rata-rata error 0,33% | | | |

Dari hasil perhitungan persentase kesalahan alat pada tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai

persentase kesalahan pada alat ukur kadar gula darah *non-invasive* berbasis arduino nano persentase yang didapatkan relatif kecil. Dengan kata lain, akurasi pembacaan sekitar 99,67% berdasarkan temuan perhitungan persentase kesalahan, atau ketidaktepatan rata-rata 0,33%. Jadi, realisasi pengukur gula darah *non-invasive* berbasis arduino nano ini dapat dijadikan sebagai alat pengukur gula darah tanpa melukai tubuh. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Nurmar'atin dkk pada tahun 2022 yang menunjukkan bahwa akurasi alat ukur kadar gula darah *non-invasive* sebesar 98.26% pada sampel dengan diabetes mellitus dan 97.16% pada sampel dengan gula darah normal. Alat ini dapat digunakan sebagai instrumen alternatif untuk mengukur kadar gula darah secara mandiri, tanpa melukai tubuh, dengan biaya rendah dan mampu mengurangi limbah medis(17).

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Hasil pengembangan sistem pemantauan gula darah *non-invasive* ini dapat bekerja dengan baik dan mengukur kadar gula darah dengan berbasis arduino nano. Dengan pengukuran dilakukan dengan cara meletakkan jari di antara LED dan fotodioda. Fotodioda akan membaca tegangan yang ditimbulkan oleh LED lalu tegangan yang didapatkan dikonversi ke dalam mg/dl. Dengan pembacaan awal nilai ADC yang sebanyak 50 cacahan yang waktu pembacaannya selama 5 detik lebih, maka hasil dari pembacaan yang muncul pertama kali tersebut itulah hasil dari kadar gula darah yang sebenarnya yang akan ditampilkan melalui LCD. Peneliti memperoleh hasil perhitungan dari pengukuran intrusif. Keakuratan pembacaan sekitar 99,67%, dan jumlah ketidaktepatan, atau kesalahan rata-rata, adalah 0,33%. Secara komparatif, menggunakan monitor gula darah komersil.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan adalah (1) untuk pengembangan selanjutnya agar mengganti sumber tegangannya dengan baterai dan (2) untuk mendapatkan error yang lebih kecil bisa mencoba metode selain infrared.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. Diabetes. J Internasoinal Penyakit Tidak Menular. 2016;1(1):3.
2. Kemenkes RI. Hari Diabetes Sedunia Tahun 2018. Pus Data Dan Inf Kementrian Kesehat RI. 2019;1-8.
3. Firdausi M.S F, Suhariningsih, Ayu Saraswati D. Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Dalam Darah Non – Invasive. JournalUnair. 2014;82.
4. Prabowo J, Suryana Y, Ferbyarto R, Astawa IM. Sistem Instrumentasi Alat Ukur Kadar Gula Darah Non Invasive Berbasis Arduino. Semin Nas Sains dan Teknol Fak Tek Univ Muhammadiyah Jakarta. 2016;(November):1-3.
5. Suyono H, Hambali H. Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik Non-Invasive Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. JTEV (Jurnal Tek Elektro dan Vokasional). 2020;6(1):69.
6. Sulehu M, Senrimang AH. Program Aplikasi Alat Pengukur Kadar Glukosa Dalam Darah Non Invasive Bebas Desktop. Inspir J Teknol Inf dan Komun. 2018;8(1):16-24.
7. A. N. Bashkatov, D. M. Zhestkov ÉAG& VVT. Immersion Clearing of Human Blood in the Visible and Near-Infrared Spectral Regions. Optics and Spectroscopy. Opt Spectrosc. 2005;98(4):638-46.
8. Atmajaya, Dedy, Wa Ode Sri Asnaniar AH. Pkm Pendeteksi Kadar Gula Darah Berbasis Mikrokontroler Di Puskesmas Samata Gowa. J Penelit Dan Pengabd Kpd Masy UNSIQ.

- 2019;8(2):215–9.
9. Atmajaya D, Asnaniar WOS, Haris A. Pkm Pendeteksi Kadar Gula Darah Berbasis Mikrokontroler Di Puskesmas Samata Gowa. *J Penelit dan Pengabdi Kpd Masy UNSIQ*. 2021;8(2):215–9.
 10. David. Difference between LDR and photodiode. internet. 2013;1.
 11. Taufiqurrohman Zain A. Pengujian sensor fotodetektor sebagai alat ukur kadar gula pada larutan gula. *J TAMBORA*. 2020;4(1):39–45.
 12. Khairunnisa Z. Non-Invasive Berbasis Sensor Fotodioda. *Inst Pertan Bogor*. 2014;30.
 13. Handoko P, Hermawan H, Nasucha M. Pengembangan Sistem Kendali Alat Elektronika Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno R3 dan Ethernet Shield dengan Antarmuka Berbasis Android. *Din Rekayasa*. 2018;14(2):92–103.
 14. Suprianto, Dodit dkk. Mikrokontroler Arduino Untuk Pemula (Disertai Contoh – Contoh Projek Menarik). Ed 1 Jasakom.
 15. Samuel Beta SA. Modul Timbangan Benda Digital. 2019;15(1):10–5.
 16. Quantum, Devices I. LED Theory and Application Notes. Wisconsin (US). 1998;
 17. Nurmar'atin T, Sumarti H, Wulandari A. Validasi Alat Ukur Kadar Gula Darah Secara Non-Invasive Menggunakan Sensor Tcrt5000 Untuk. *J Inov dan Pembelajaran Fis*. 2022;9:51–61.