

Pengukur Gula Darah *Non-invasive* Berbasis *Internet of Things*

Nilia Novita Sari¹, Angely Fransiska Kurnia Lazha²

^{1,2}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

E-mail: nila.novita@polban.ac.id, angely.fransiska.tkom20@polban.ac.id

Abstrak

Diabetes adalah penyakit kronis yang ditandai dengan tingginya kadar gula darah. Tanpa perhatian dan penanganan yang tepat, diabetes dapat menjadi penyakit yang mematikan. Diperkirakan oleh *International Diabetes Federation*, pada tahun 2045 nanti penderita diabetes di Indonesia akan mencapai angka 28,6 juta. Monitoring kadar gula darah rutin setiap hari dapat membantu penderita diabetes untuk terus memantau kadar gula darah agar tetap berada di dalam batas normal. Umumnya pengecekan gula darah ini harus dilalui dengan rasa yang kurang nyaman bahkan menyakitkan karena diperlukannya sampel darah. Proses pengambilan sampel darah tersebut dikenal sebagai cara *invasive*, yaitu dengan menusuk ujung jari dengan lanset agar darah keluar, kemudian setetes darah tersebut diletakan pada strip tes dan hasilnya akan keluar pada meteran glukosa. Untuk memudahkan pemantauan kadar gula darah, pada penelitian ini telah dikembangkan alat *non-invasive* yang dapat membantu penderita diabetes dalam mengontrol kadar gula darahnya. Dengan memanfaatkan metode *Near-Infrared Spectroscopy*, pengecekan akan dilalui dengan lebih nyaman, tanpa rasa sakit dan lebih terjangkau. Alat yang dibangun dengan pemanfaatan *Flame Detection Module* dan ESP32 ini telah berfungsi dengan persentase *error* dalam pengujian yang dilakukan kepada 5 orang relawan sebesar 17,9%. Output yang dihasilkan dari pengukuran kadar gula darah akan dikirimkan ke aplikasi Telegram beserta dengan tanggal pengukurannya, sehingga data tersebut dapat dijadikan sebagai catatan monitoring harian.

Kata kunci: Bot Telegram, Diabetes, Gula Darah, IoT, NIR Spectroscopy, Non-invasive

Abstract

Diabetes is a chronic disease characterized by high blood sugar levels. Without proper attention and treatment, diabetes can become a deadly disease. It is estimated by the International Diabetes Federation, that by 2045 there will be 28.6 million diabetics in Indonesia. Monitoring blood sugar levels regularly every day can help diabetics continue to monitor blood sugar levels so that they remain within normal limits. Generally checking blood sugar must be passed with an uncomfortable and even painful feeling because a blood sample is needed. The process of taking blood samples is known as an invasive method, namely by pricking a fingertip with a lancet so that blood comes out, then a drop of blood is placed on a test strip and the results will come out on the glucose meter. To facilitate monitoring of blood sugar levels, this research has developed a non-invasive tool that can help diabetics control their blood sugar levels. By utilizing the Near-Infrared Spectroscopy method, the examination will be carried out more comfortably, painlessly, and affordably. This tool, which was built using the Flame Detection Module and ESP32, has been functioning with an error percentage in the tests conducted on 5 volunteers of 17.9%. The output resulting from measuring blood sugar levels will be sent to Telegram application along with the measurement date so that the data can be used as a daily monitoring record.

Keywords: Blood Sugar, Diabetes, IoT, NIR Spectroscopy, Non-invasive, Telegram Bot

1. Pendahuluan

Bagi seorang penderita diabetes pemeriksaan gula darah adalah ritual harian yang cukup menakutkan namun sangat penting guna memonitor kadar gula yang ada di dalam darah dengan akurat, sehingga dokter dapat

memberikan penanganan lanjutan yang tepat [1]. Pemeriksaan gula darah menggunakan glucometer memerlukan sampel darah pasien, dan untuk mendapatkannya perlu dilakukan penusukkan jarum di ujung jari, hal ini menimbulkan rasa kurang nyaman karena proses pengambilan sampel darah yang bersifat *invasive*. [2].

Dari permasalahan tersebut, dikembangkanlah alat pengukur gula darah *non-invasive*. Alat pengukur gula darah *non-invasive* ini dirancang untuk mengukur kadar gula darah tanpa harus menyakiti jari untuk pengambilan sampel darah. Metode yang umum digunakan dalam pengembangan alat pengukur kadar gula darah ini terbagi dua bagian yaitu dengan sampel dan tanpa sampel. Pengukuran dengan sampel bisa menggunakan keringat, air mata, saliva, urin dan lainnya. Sedangkan pengukuran tanpa sampel adalah *Poliometry*, *Photoacoustic*, *Ultrasound*, dan *Near-Infrared Spectroscopy*. Peneliti sebelumnya telah mengembangkan alat pengukuran gula darah *non-invasive*, menggunakan potensiometer sebagai fungsi level kadar gula darah, namun belum diujikan langsung kepada pengguna, sehingga belum diketahui tingkat akurasi [3]. Penelitian lain menggunakan *Near Infrared Spectroscopy* sebagai sensor pembacaan gula darah telah dilakukan dengan pengujian langsung kepada pengguna, namun jumlah sampel masih perlu diperbanyak dan belum tersedianya fitur database yang dapat menyimpan rincian data sensor [4],[5], dan [6]. Perancangan dengan metoda yang sama (*Near Infrared Spectroscopy*) juga dilakukan oleh Haryono, dan Hambali, namun masih mengabaikan kondisi tempat pengujian, sehingga keakuratannya masih perlu di tingkatkan lagi mengingat kondisi cahaya pada saat pengukuran juga berpengaruh terhadap hasil pembacaan sensor [7].

Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini penulis mengembangkan pengukuran kadar gula darah *non-invasive* menggunakan *Near-Infrared Spectroscopy* atau singkatnya NIRS, mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT) sehingga memungkinkan pengolahan dan pemantauan data secara efisien. Mikrokontroler dapat digunakan untuk mengolah, dan mengirimkan data. Penerapan IoT memungkinkan penggunaan jaringan internet untuk mentransfer data pengukuran ke *platform cloud* serta fitur, atau perangkat lain yang terhubung dengan internet. Hal ini memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengolahan data yang lebih lanjut, serta integrasi dengan aplikasi atau *platform* lain. Contohnya adalah pemanfaatan *bot* Telegram sebagai fitur untuk mengisi kelengkapan data, di mana pengguna dapat menerima hasil data pengukuran gula darah mereka melalui pesan *bot* Telegram.

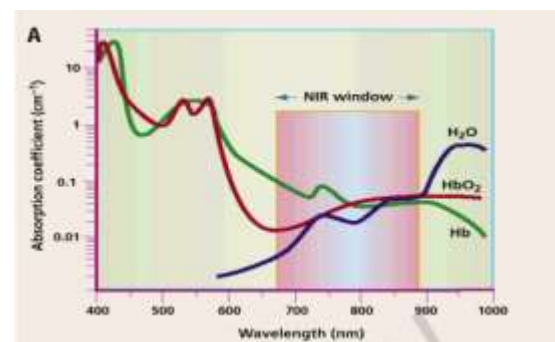
2. Metode Penelitian

2.1 NIR Spectroscopy

Panjang gelombang cahaya memiliki dampak langsung pada seberapa baik ia diserap oleh jaringan manusia, dikarenakan darah memiliki komposisi yang sangat kompleks, contohnya protein dan DNA dapat dengan mudah menyerap sinar ultraviolet, hemoglobin menyerap *visible light*, dan air menyerap inframerah. Sulit untuk

menyimpulkan informasi tentang tubuh manusia dari data spektral karena tidak satu pun dari panjang gelombang ini dapat menembus tubuh manusia dalam jumlah yang signifikan [8].

Near Infrared Spectroscopy, dimana *Near Infrared* (750-2500nm) mengacu pada penggunaan sumber cahaya eksternal dengan panjang gelombang *infrared* yang dekat dengan panjang gelombang *visible light*. Berdasarkan gambar di bawah, NIR mampu diserap oleh glukosa, karena di wilayah NIR, air, hemoglobin dan oksihemoglobin menyerap cahaya lebih sedikit. Glukosa memiliki penyerapan tertinggi pada 1037nm. Meskipun air memiliki ambang penyerapan yang lebih tinggi, namun, penyerapan air, hemoglobin dan oksihemoglobin berbeda pada panjang gelombang 1000-1200nm, dan perbedaan ini lebih kecil lagi ketika berada disekitar panjang gelombang 900nm. Jadi optimal NIR window pada Gambar 1 ini adalah *guide* untuk menghindari penyerapan oleh hemoglobin, oksihemoglobin, dan air [9].

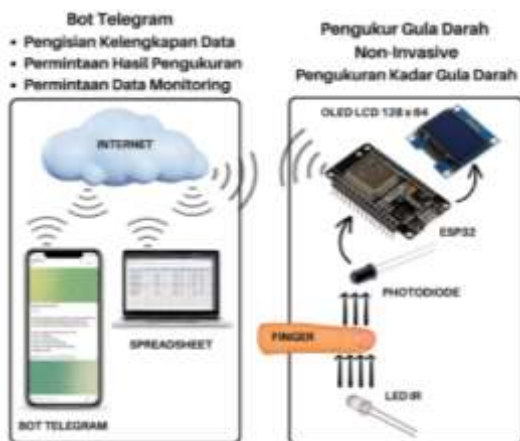


Gambar 1. Optimal NIR Window [2]

2.1 Perancangan Alat

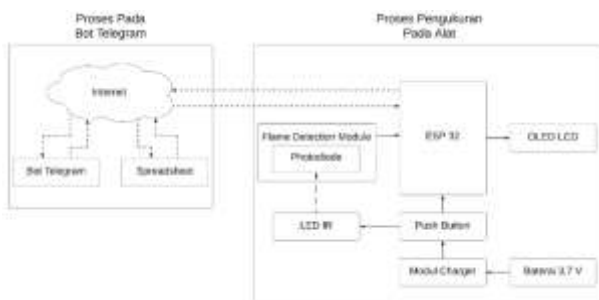
Alat ukur gula darah *non-invasive* ini dibangun dengan melalui dua tahap, yang pertama adalah pembangunan *hardware* atau rangkaian dari alat, dan yang kedua adalah pembangunan *software* atau program yang akan diunggah ke mikrokontroler serta *bot* Telegram yang dibangun. Dapat dilihat pada Gambar 2 adalah gambaran secara keseluruhan dari sistem kerja antara *bot* dan alat yang terintegrasi dengan internet.

Dapat dilihat pada blok diagram pada Gambar 3, ada beberapa bagian yang mana dapat diketahui bahwa LED *Infrared* disini digunakan sebagai *transceiver* yang bertugas menyorotkan cahaya ke jari, kemudian Photodiode memiliki peran sebagai *receiver* yang menerima dari cahaya *infrared* yang telah disorotkan melalui jari.



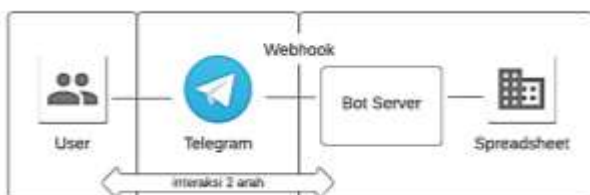
Gambar 2. Gambaran Sistem Kerja Keseluruhan Alat

Selain itu, pada system ini juga menggunakan mikrokontroler, yaitu ESP32 sebagai otak dari alat pengukur gula darah *non-invasive* yang bertugas mengolah data dari *receiver*. Kemudian hasil dari pengolahan data tersebut ditampilkan pada OLED LDC I2C 128 x 64 dan juga dikirimkan ke *spreadsheet* sebagai tempat penyimpanan nilai-nilai gula darah yang telah dibaca.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Selanjutnya pada *bot* Telegram, pembangunan fitur pendukung ini memanfaatkan fitur yang telah disediakan oleh Telegram, yaitu *Chat Bot*. Yang mana seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4, *bot* Telegram ini bekerja dengan merespon pesan yang dikirimkan oleh *user* melalui aplikasi Telegram yang terpasang pada perangkatnya. Pesan yang dikirimkan itu harus berupa *command*—yang sedemikian rupa diatur pada program, sehingga kemudian pesan berisi perintah tersebut dapat dilanjutkan oleh *server* telegram ke *server bot* untuk diproses dan dikirimkan kembali sebuah respon atas perintah yang dikirimkan oleh *user* tersebut.



Gambar 4. Rancangan Bot Telegram Secara Umum

2.2 Parameter yang Diuji

Pada proses pengujian, diperlukan dua buah *variable* yaitu nilai gula darah sebenarnya yang didapat dari pengujian dengan sampel darah atau pengujian secara *invasive* menggunakan *glucometer* yang ada di pasaran, dan nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) yang didapat dari pembacaan sensor alat pengukur gula darah *non-invasive*. Berikut ini hal-hal yang diperhatikan selama pengujian :

1. Umur pemilik sampel
2. Kondisi pemilik sampel
3. Warna kulit pemilik sampel
4. Intensitas cahaya di dalam ruangan
5. Letak jari pemilik sampel pada alat *non-invasive*
6. Pengujian dimulai dari pengisian data melalui *bot* Telegram

2.3 Gambaran Pengujian

Pengujian alat pengukur gula darah *non-invasive* dilakukan di dalam ruangan dengan kondisi cahaya yang berbeda-beda. Alat digunakan dengan lengkap menggunakan kemasannya yang tertutup, terhubung pada wifi, *Spreadsheet* dan telegram. Disediakan 1 ponsel untuk mengakses Telegram, dan 1 Laptop untuk mengakses *Spreadsheet* dan memonitor tersimpannya data.



Gambar 5. Ilustrasi Pelaksanaan Pengujian

Gambar 5 merupakan gambaran pelaksanaan pengujian, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memastikan wifi tersedia.
2. Menghidupkan alat dengan menggeser *slide switch* yang terletak di bagian belakang alat ke arah kiri.
3. Jika LCD telah menampilkan tulisan “Silahkan tekan tombol”, maka wifi telah berhasil terhubung.
4. Membuka aplikasi Telegram pada ponsel untuk berkomunikasi dengan *bot myDiabetes* yang telah dibangun.
5. Memastikan bahwa akun Telegram sudah teregistrasi dengan *bot* sehingga dapat mengakses fitur-fiturnya.
6. Memilih menu “/cek” pada Telegram dan mulai mengisi kelengkapan data yang diminta oleh *bot*,

- hingga *bot* mengirim pesan untuk memulai pengecekan kadar gula darah dengan alat.
7. Pengujian bisa dilakukan setelah jari diletakkan di dalam alat dengan posisi yang pas.
 8. Menekan tombol berwarna ungu pada alat untuk memulai pengecekan kadar gula darah.
 9. Menekan kembali tombol setelah nilai kadar gula darah tampil untuk menyelesaikan pengecekan.
 10. Kembali ke *bot* Telegram pada ponsel untuk memilih menu “/done”.
 11. Data dapat dipastikan tersimpan dengan baik pada *Spreadsheet* jika *bot* mengirimkan hasil dari pengecekan gula darah yang baru saja dilakukan.
 12. Untuk membandingkan keakuratan, maka pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil nilai gula darah menggunakan alat *non-invasive* dengan nilai gula darah menggunakan alat *invasive*.
 13. Hasil pengukuran dengan alat *invasive* kemudian dikumpulkan pada *Spreadsheet* yang sama dengan hasil pengukuran dengan alat *non-invasive* untuk diuji keakuratannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian

3.1.1 Pengujian Kalibrasi Dengan Regresi Linear

Sebelum masuk ke keakuratan alat, diperlukan proses kalibrasi antara nilai yang terbaca oleh *sensor* dengan nilai yang dibaca oleh alat pengukur gula darah komersil. Pengujian untuk kalibrasi dilakukan dengan analisis regresi linier, maka dari itu diperlukan dua buah variabel yaitu nilai gula darah yang didapat dari pengujian dengan sampel darah atau pengujian secara *invasive* sebagai *variable predictor (independent)*, dan nilai ADC yang didapat dari pembacaan sensor alat pengukur gula darah *non-invasive* sebagai *variable response (dependent)*. Proses pengujian terlihat seperti pada Gambar 6, baik secara *invasive* maupun *non-invasive*.



Gambar 6. Ilustrasi Pelaksanaan Pengujian

Selama melakukan pengujian, didapatkan beberapa nilai ADC yang rendah, namun dengan nilai kadar gula darah yang tinggi (anomaly).

Tabel 1. Hasil Pengujian untuk Kalibrasi

x	y	Kondisi Ruangan
Glucose (mg/dL)	ADC	
67	1579	Terang
68	1563	Terang
76	1501	Terang
83	1661	Terang
86	1772	Terang
90	1447	Terang
92	2175	Gelap
92	1521	Terang
93	1543	Terang
94	2280	Gelap
204	79	Terang
95	1248	Sangat Terang
95	1693	Terang
101	2462	Gelap
104	1581	Terang
207	452	Terang
111	2510	Gelap
113	1822	Terang
336	736	Terang
118	1737	Terang
122	1792	Terang
352	1331	Terang
137	1945	Terang
137	1272	Sangat Terang
168	2400	Terang

Selanjutnya dilakukan penjumlahan nilai-nilai ADC yang terindikasi anomali (diatas 200) dengan dengan nilai maksimum pembacaan ADC 12 bit oleh ESP32, yaitu 4095 ($2^{12}-1$). Tabel 2 menampilkan hasil penjumlahannya.

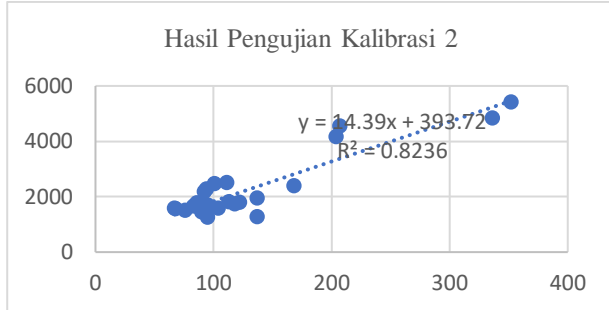
Tabel 2. Hasil Pengujian terhadap data anomali

x	y	Kondisi Ruangan	
Glucose (mg/dL)	ADC +4095		
204	79	4174	Terang
207	452	4547	Terang
336	736	4831	Terang
352	1331	5426	Terang

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dengan nilai ADC yang telah ditambahkan nilai maksimum pembacaan ADC ESP32, disusunlah *scatter plot* dan menghasilkan titik-titik yang lebih. Berdasarkan *linier regresi* pada Gambar 7, dengan total 25 sampel, hubungan antara kedua variabel x dan y dari setiap sampel yang telah ditambahkan nilai 4095, menghasilkan hasil yang baik, dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi regresi (R^2) berikut yang jauh

lebih mendekati angka 1. Dengan rumus kalibrasi menggunakan metoda *linear regresi*, pada Pers.1.

$$y = 14,39x + 393,72 \quad (1)$$



Gambar 7. Hasil Regresi Linear

3.1.2 Pengujian Keakuratan dengan Perhitungan Presentasi Error

Berdasarkan pengujian keakuratan alat yang dilakukan, besar persentase *error* dari alat pengukur gula darah *non-invasive* yang dibangun dibandingkan dengan alat pengukur gula darah *invasive* dapat diketahui menggunakan rumus Pers.2.

$$\%error = \frac{\Delta \text{ nilai gula darah kedua alat}}{\text{nilai gula darah alat invasive}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari rumus tersebut, besar persentase *error* dari alat pengukur gula darah *non-invasive* terangkum dalam hasil pengujian akurasi pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Pengujian Akurasi

	Warna Kulit	Cahaya Ruang	<i>Non-invasive</i> (mg/dL)	<i>Invasive</i> (mg/dL)	Persen Error
A	Mid	Terang	286	299	4,5 %
B	Terang	Terang	88	129	31,7 %
C	Gelap	Sangat Terang	128	125	2,4 %
D	Terang	Terang	69	132	47,7 %
E	Mid	Terang	263	272	3,3 %
Rata-Rata Error					17,9%

Pengujian dilakukan kepada 5 orang relawan dengan *range* umur 21 hingga 65 tahun, warna kulit terang, medium dan gelap, serta berat badan yang berbeda-beda. Dari Tabel 3 terlihat bahwa masih ada perbedaan nilai antara nilai kadar gula darah *invasive* dan gula darah *non-invasive* dari masing-masing sampel dengan rata-rata persentase *error* sebesar 17,9 %. Nilai ini dapat dianggap menunjukkan hasil yang belum cukup akurat karena keakuratan dari alat yang dibangun untuk penelitian ini mencapai 82,1%. Namun *%error* yang didapat menunjukkan bahwa ada kemungkinan dalam proses pengujian masih ada faktor-faktor yang mempengaruhi keakuratan, antara lain warna kulit, ketebalan kulit,

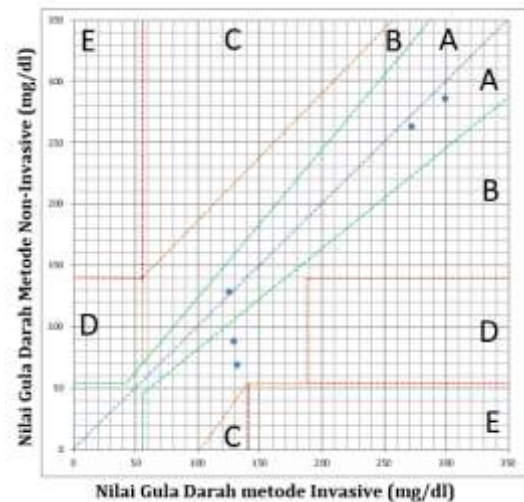
diameter jari, intensitas cahaya di dalam ruangan serta kestabilan posisi sensor.

3.1.3 Validasi Keakuratan dengan Clarke-EGA

Untuk memvalidasi keakuratan dari pengujian maka dilakukan validasi dengan metode *Clarke-Error Grid Analysis*—sebuah “standar emas” untuk menentukan keakuratan alat pengukur gula darah [10].

Sebanyak 5 sampel yang diperoleh, diplot ke dalam grafik hingga menampilkan titik-titik yang tersebar. Hasil pengukuran dengan alat *glucometer invasive* digunakan sebagai *reference value* (x), sedangkan hasil pengukuran dengan alat pengukur gula darah *non-invasive* akan digunakan sebagai *predictive value* (y).

Terdapat 5 zona yang telah dibagi-bagi yaitu Zona A, Zona B, Zona C, Zona D dan Zona E. Dari zona A hingga zona E, zona A merepresentasikan hasil pengukuran nilai gula darah yang paling baik, akurat atau dapat diterima, sedangkan sebaliknya zona E merepresentasikan hasil pengukuran nilai gula darah yang paling buruk. Dapat dilihat pada Gambar 8, titik-titik sampel terletak pada zona A dan Zona B.



Gambar 8. Analisis Clarke-Error Grid

3.2 Pembahasan

Hubungan antara nilai ADC dengan nilai kadar gula darah sebenarnya adalah berbanding lurus, semakin besar nilai kada gula darah, maka semakin besar nilai ADC, karena cahaya infrared yang melewati jari terhalang oleh banyaknya kadar glukosa dalam darah sehingga nilai ADC yang dihasilkan bernilai besar. Sebaliknya, semakin kecil nilai kada gula darah, maka semakin kecil nilai ADC, karena cahaya *infrared* yang melewati jari tidak banyak terhalang oleh kadar glukosa dalam darah sehingga nilai ADC yang dihasilkan bernilai kecil.

Pada Tabel 1 hasil pengujian kalibrasi, dapat dilihat sampel dengan keterangan tempat yang gelap memiliki

nilai ADC yang lebih besar dibandingkan dibandingkan tempat yang terang. Perlu diketahui bahwa semakin banyak intensitas cahaya yang tertangkap sensor, semakin kecil nilai ADC yang dihasilkan. Maka dari itu, selain disebabkan oleh nilai kadar glukosa yang tinggi dalam darah, nilai ADC yang besar juga bisa dikarenakan oleh kondisi ruangan yang relatif gelap, sehingga cahaya asing tidak banyak yang ikut tertangkap oleh sensor. Berbanding terbalik dengan sampel yang memiliki keterangan sangat terang. Nilai ADC yang kecil selain dikarenakan oleh nilai kadar glukosa dalam darah yang rendah, juga dikarenakan oleh tempat pengujian yang relative lebih terang dari tempat pengujian sampel yang memiliki label Terang.

Data pada Tabel 1 yang terindikasi anomali merupakan sampel dari data dengan riwayat diabetes. Saat dilakukan pengambilan data dari empat sampel dengan riwayat diabetes tersebut, nilai ADC yang ditampilkan sangat rendah dibandingkan dengan nilai ADC dari sampel lainnya, namun memiliki nilai kadar gula darah sebenarnya yang cukup tinggi. Setelah dilakukan analisa hipotesa, dapat dibuktikan bahwa nilai ADC tersebut telah melebihi nilai maksimal yang dapat dibaca oleh ESP32, yaitu 4095. sehingga sebagai solusinya, nilai ADC dari keempat sampel tersebut dijumlahkan dengan 4095 sehingga menghasilkan persamaan dengan koefisien korelasi regresi yang lebih baik pada Gambar 5.

Dari hasil pengujian keakuratan pada Tabel 3, dapat dilihat rata-rata *error* adalah sebesar 17,9 %, nilai tersebut menunjukkan bahwa alat pengukur kadar gula darah *non-invasive* ini masih belum maksimal, sehingga perlu untuk terus dilakukannya perbaikan ke depannya. Data pada sampel A dan E merupakan sampel yang memiliki riwayat diabetes, pada penderita diabetes sendiri rata-rata *error* yang didapat adalah 3,9 %. Sampel C didapat dari ruangan yang intensitas cahaya yang lebih terang dibandingkan dengan latar tempat pengambilan data 4 sampel lainnya. Nilai yang didapat dengan *error* paling kecil, kecilnya persen *error* ini bisa dikarenakan beberapa faktor, diantaranya ialah intensitas cahaya, serta warna kulit dan ketebalan diameter jari dari pemilik sampel C yang relatif lebih besar dari sampel lainnya. Meski dengan warna kulit gelap dan diameter lebih besar, pembacaan *infrared* didukung oleh intensitas cahaya luar yang ada ketika pengambilan data sampel C, yang menekan nilai tegangan terbaca sehingga tidak terlampaui tinggi dan menghasilkan konversi nilai kadar gula darah yang baik. Berbanding terbalik dengan sampel B dan D yang dilakukan di dalam ruangan terang juga dengan warna kulit terang, menghasilkan nilai gula darah yang lebih rendah dari nilai gula darah sebenarnya.

Dengan menggunakan metode *Clarke-Error Grid Analysis*, penentuan keakuratan alat dapat dilihat. Lima zona dalam Gambar 8 menentukan keakuratan dari nilai kadar gula darah *non-invasive* yang dibangun.

Keakuratan terbaik berada pada Zona A dan yang terburuk berada pada Zona E. Sehingga pada Gambar 7, titik-titik yang merupakan hasil pengujian keakuratan alat tersebar pada Zona A dan B, yang mana mengidentifikasi bahwa hasil pengukuran pada Zona A adalah akurat dan dapat diterima sedangkan pada Zona B adalah kurang akurat namun masih bisa diterima karena merupakan kerusakan ringan.

4. Kesimpulan

Alat pengukur kadar gula darah *non-invasive* dengan metode *Near-Infrared Spectroscopy* dan pemanfaatan *Flame Detection Module* telah berhasil dibangun. Pengujian telah dilakukan kepada 5 orang yang memiliki warna kulit, diameter jari dan intensitas cahaya yang berbeda-beda. Dari alat glucometer *non-invasive* yang telah dibuat, didapatkan nilai kadar gula darah dengan rata-rata keakuratan 82,1%. Fitur tambahan, yaitu *bot* Telegram juga telah berhasil dibangun dan bermanfaat selama pendataan pengujian karena dapat diakses dengan mudah oleh pengguna untuk mendapatkan riwayat pengukuran gula darah setiap harinya.

Daftar Acuan

- [1] Diabetes Test Strips,” The Diabetes Council, Jun. 17, 2020. <https://www.thediabetescouncil.com/everything-you-need-to-know-about-diabetes-test-strips/#> (accessed Dec. 09, 2022).
- [2] L. Tang, S. J. Chang, C.-J. Chen, and J.-T. Liu, “Non-invasive Blood Glucose Monitoring Technology: A Review,” *Sensors*, vol. 20, no. 23, p. 6925, Dec. 2020, doi: 10.3390/s20236925.
- [3] Y. Suryana, M. Astawa, R. Febriyanto, dan J. Prabowo, “Perancangan dan simulasi alat ukur kadar gula darah secara *non-invasive*,” dalam Seminar Nasional Teknik Elektro, 2018, hlm. 109–113.
- [4] G. Santoso, S. Subandi, S. Hani, dan A. J. Wicaksono, “Rancang Bangun Prototipe Detektor Glukosa Darah Secara *Non-invasive* Menggunakan Near Infrared,” *Prosiding RAPI*, 2018.
- [5] P. P. Pai, P. Kumar Sanki, A. De, dan S. Banerjee, “NIR photoacoustic spectroscopy for *non-invasive* glucose measurement,” dalam 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, Agu 2015, hlm. 7978–7981. doi: 10.1109/EMBC.2015.7320243.
- [6] U. Umar dan I. Amin, “Monitoring Kadar Glukosa Darah Non-Invasif Menggunakan Sensor Photoacoustic,” *Celebes Health Journal*, vol. 1, no. 2, hlm. 99–111, 2019

- [7] H. Suyono dan H. Hambali, "Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik *Non-invasive* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), vol. 6, no. 1, hlm. 69–76, 2020.
- [8] L. R. Wulandari, "Ketahui Bagaimana Cara Kerja Alat Tes Gula Darah," [helohealth.com](https://helohealth.com/diabetes/cara-kerja-alat-tes-gula-darah/), Apr. 12, 2022. <https://helohealth.com/diabetes/cara-kerja-alat-tes-gula-darah/> (accessed Dec. 11, 2022).
- [9] "What is Diabetes," International Diabetes Federation, Jul. 07, 2022. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/what-is-diabetes.html> (accessed Dec. 16, 2022).
- [10] W. L. Clarke, "The original Clarke error grid analysis (EGA)," *Diabetes Technol Ther*, vol. 7, no. 5, pp. 776–779, 2005.