



VALIDASI ALAT UKUR KADAR GULA DARAH SECARA *NON-INVASIVE* MENGGUNAKAN SENSOR TCRT5000 UNTUK MENGURANGI LIMBAH MEDIS

Tria Nurmar'atin, Heni Sumarti^{1*}, Ayu Wulandari¹

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Indonesia
Email: heni_sumarti@walisongo.ac.id

Abstract

Diabetes Mellitus is a serious disease that affects many people worldwide. It is very important for people with diabetes to continuously monitor blood sugar levels to stay in the normal range. Invasive examination of blood sugar levels can cause discomfort and add to the pile of medical waste, so it is necessary to develop a non-invasive blood sugar monitoring device (without injuring the body) with low cost and help to reduce medical waste. The non-invasive blood sugar level detection system developed in this study utilizes Near Infra-Red (NIR) light absorption using a TCRT5000 sensor. Calibration of the instrument by comparing the measurement results of this tool with standard measuring instruments on ten random samples produces a coefficient of determination of 0.99, which shows a very strong linear relationship. Instrument testing on 15 samples with *diabetes mellitus* and 15 samples with normal blood sugar. The results showed that the accuracy of the non-invasive blood sugar measuring instrument was 98.26% in samples with *diabetes mellitus* and 97.16% in samples with normal blood sugar. This instrument can be used as an alternative instrument to measure blood sugar levels independently, especially for people with *diabetes mellitus* because it has an accuracy value above the threshold of medical devices that can be used by humans, namely 95%.

Keywords: Measuring instrument, Medical Waste, Non-Invasive, Arduino nano, TCRT5000

Abstrak

Diabetes Mellitus merupakan penyakit berat yang banyak diderita oleh orang sedunia. Sangat penting bagi penderita diabetes untuk selalu memantau kadar gula darah agar tetap berada pada kisaran normal. Pemeriksaan kadar gula darah secara *invasive* dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan menambah tumpukan limbah medis, sehingga perlu dikembangkan alat pemantauan kadar gula darah secara *non-invasive* (tanpa melukai tubuh) dengan biaya rendah dan mengurangi limbah medis. Sistem deteksi kadar gula darah *non-invasive* yang dikembangkan dalam penelitian ini memanfaatkan serapan sinar *Near Infrared* (NIR) menggunakan sensor TCRT5000. Kalibrasi alat dengan membandingkan hasil pengukuran alat ini dengan alat ukur standar pada 10 sampel acak menghasilkan koefisien determinasi 0.99 yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat. Pengujian alat pada 15 orang sampel dengan *diabetes mellitus* dan 15 sampel dengan gula darah normal. Hasil penelitian menunjukkan akurasi alat ukur kadar gula darah non-invasi 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, terutama bagi penderita *diabetes mellitus* karena memiliki nilai akurasi diatas ambang alat medis yang bisa digunakan manusia yaitu $\geq 95\%$.

Kata kunci: Alat ukur, Limbah Medis, Non-invasive, Arduino nano, TCRT5000

Cara Menulis Sitasi: Nurmar'atin, T., Sumarti, H., Wulandari, A. (2022). Validasi Alat Ukur Kadar Gula Darah secara Non-Invasi Menggunakan Sensor TCRT5000 untuk Mengurangi Limbah Medis. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 9(1), halaman 51-61.

PENDAHULUAN

Diabetes termasuk salah satu jenis penyakit yang mempunyai tingkat komplikasi lebih besar daripada penyakit lainnya (Santoso et al., 2018). Diabetes merupakan suatu penyakit dimana kondisi tubuh penderita tidak mampu mengolah karbohidrat menjadi sumber tenaga karena hormon insulin tidak diproduksi dengan baik oleh organ pankreas (Deviana et al., 2020), dimana gula darah berfluktuasi dari kisaran normalnya (90–140 mg/dl). Insulin adalah hormon yang diproduksi oleh tubuh untuk mengatur kadar gula darah (Yadav et al., 2014). Tingkat gula darah dikatakan normal saat berada pada rentang 3.6 mM dan 5.8 mM (mmol/L) atau setara dengan 64.8 mg/dl dan 104.4 mg/dl. Setelah makan, kadar gula darah dalam tubuh akan mengalami peningkatan. Nilai gula darah berada pada level terendah saat pagi hari sebelum makan (Irawati, 2012).

Berdasarkan Data National Diabetes Statistics Report pada tahun 2022 yang mendokumentasikan pada tahun 2019, lebih dari 37 juta orang dari segala usia (11,3% dari populasi AS) menderita diabetes, tetapi 8,5 juta orang dewasa (23,0% orang dewasa dengan diabetes) tidak menyadari memiliki diabetes (The Centre for Disease Control and Prevention, 2020). Sedangkan, menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), ada 171 juta orang dengan Diabetes Mellitus di seluruh dunia. Pada tahun 2030, jumlah penderita diabetes bisa mencapai 366 juta, dimana 90–95% akan menderita diabetes tipe 2. Prevalensi tertinggi ada di negara berkembang, India dan China (20.8 juta) pada tahun 2000 diperkirakan jumlah penderita diabetes akan meningkat secara signifikan menjadi 42.3 juta setelah 30 tahun (Lam et al., 2010). Berdasarkan data statistik WHO, Indonesia tercatat sebagai Negara ke-7 dengan jumlah penderita diabetes terbesar yaitu sekitar 382 juta jiwa penderita diabetes (Pratiwi & Hufri, 2020).

Sebuah penelitian terbaru menunjukkan bahwa risiko kesehatan terkait dengan diabetes berkurang secara signifikan bila kadar gula darah terkontrol dengan baik dan sering dipantau (Lawand, 2015). Jadi, memiliki alat pemantau dirumah atau dikantor sendiri itu penting untuk memastikan kadar gula masih dalam kisaran normal (Suyono & Hambali, 2020). Saat ini, penderita diabetes melakukan pengecekan gula darah dengan menusuk jari menggunakan lanset untuk diambil sedikit sampel darah. Kemudian sampel tersebut akan ditempatkan di strip dan dimasukkan ke dalam meteran glukosa untuk mengetahui konsentrasi gula darah (Narkhede et al., 2016). Teknik ini dikenal dengan sebutan teknik *invasive*. Teknik *invasive* dinilai kurang efektif karena dapat menyebabkan risiko infeksi saat kontak langsung dengan jaringan. Selain itu, hasil pengukuran terkadang tidak akurat karena kebisingan dan artefak yang dihasilkan dari gerakan pasien serta reaksi antara elektroda dan reaktan lain dalam darah (Buda & Ieee-embs, 2014).

Teknologi terkini memperkenalkan teknik *non-invasive* sebagai pendekatan alternatif untuk mengukur konsentrasi gula darah dengan pendiagnosaan penyakit tanpa melukai tubuh pasien diabetes (Eko Satria, 2013). Teknik ini memiliki keunggulan tanpa rasa sakit, tidak berisiko infeksi,

pengukuran cepat, serta tanpa menggunakan bahan kimia sintetis apapun (Zheng et al., 2016). Oleh karena itu, teknik *non-invasive* dianggap lebih nyaman bagi penderita diabetes (Wardana et al., 2018).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan menggunakan metode *non-invasive* melalui pendekatan Inframerah (IR). Jaringan kulit terdiri dari tiga lapisan dimana pada lapisan dermis terdapat informasi tentang gula darah. Infra merah memiliki panjang gelombang (780 nm–2500 nm) mampu menembus hingga lapisan dermis. Cahaya IR yang ditransmisikan akan diserap oleh jaringan kulit (Gayathri et al., 2017; Manurung et al., 2019; Wardana et al., 2018; Zheng et al., 2016). Sel penyerap dalam sampel tidak lain adalah sel darah, di mana terdapat glukosa substrat yang memiliki spektrumnya sendiri (Manurung et al., 2019). Perubahan spektrum absorpsi gelombang elektromagnetik akibat peningkatan konsentrasi gula dalam darah berada pada kisaran panjang gelombang 415 nm, 542 nm, dan 575 nm (Khairunnisa, 2014). Berdasarkan literatur, NIR memiliki nilai absorbansi glukosa tertinggi pada rentang panjang gelombang 1500 nm–1850 nm dan 2050 nm–2392 nm (Manurung et al., 2019). Cahaya yang dipantulkan dari sensor IR dilewatkan melalui modul pemrosesan sinyal untuk diproses dan diolah oleh mikrokontroler, kemudian diubah menjadi data digital oleh *Analog Digital Converter* (ADC) (Rachim & Chung, 2018), dalam hal ini adalah Arduino Uno (Gayathri et al., 2017). Arduino memiliki input/output 14 pin, 6 pin yang dapat digunakan sebagai output PWM, 6 input analog. Arduino Uno memuat semua informasi yang diperlukan oleh mikrokontroler. Dibutuhkan sebuah kabel USB untuk menyambungkan ke sebuah komputer atau dengan menyuplainya menggunakan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya (Prasetyo et al., 2019).

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka ada peluang untuk mengembangkan alat pengukur kadar gula darah secara *non-invasive* tanpa melakukan sterilisasi jari tangan dan melukai salah satu anggota tubuh, sehingga diharapkan hasil penelitian ini bisa menjadi solusi bagi penderita diabetes untuk mempermudah saat melakukan pengecekan kadar gula darah dan membantu mengurangi sampah medis. Penelitian ini memanfaatkan prinsip serapan *Near Infrared* (NIR) dari sensor TCRT5000 yang terdiri dari *infrared* dan *photodiode* dengan harapan bisa membuat suatu inovasi dalam dunia medis dengan harga terjangkau. Modul Sensor TCRT5000 merupakan sensor yang terbukti cukup akurat untuk mengukur kadar gula darah dengan nilai akurasi rata-rata sebesar 94.9% (Sulehu & Senrimang, 2018). Namun, pada penelitian sebelumnya, alat yang dikembangkan merupakan alat ukur gula darah berbasis desktop sehingga kurang praktis. Pada penelitian ini, alat ukur yang dikembangkan menggunakan tampilan LCD sehingga bisa dipakai secara mandiri di rumah.

METODE

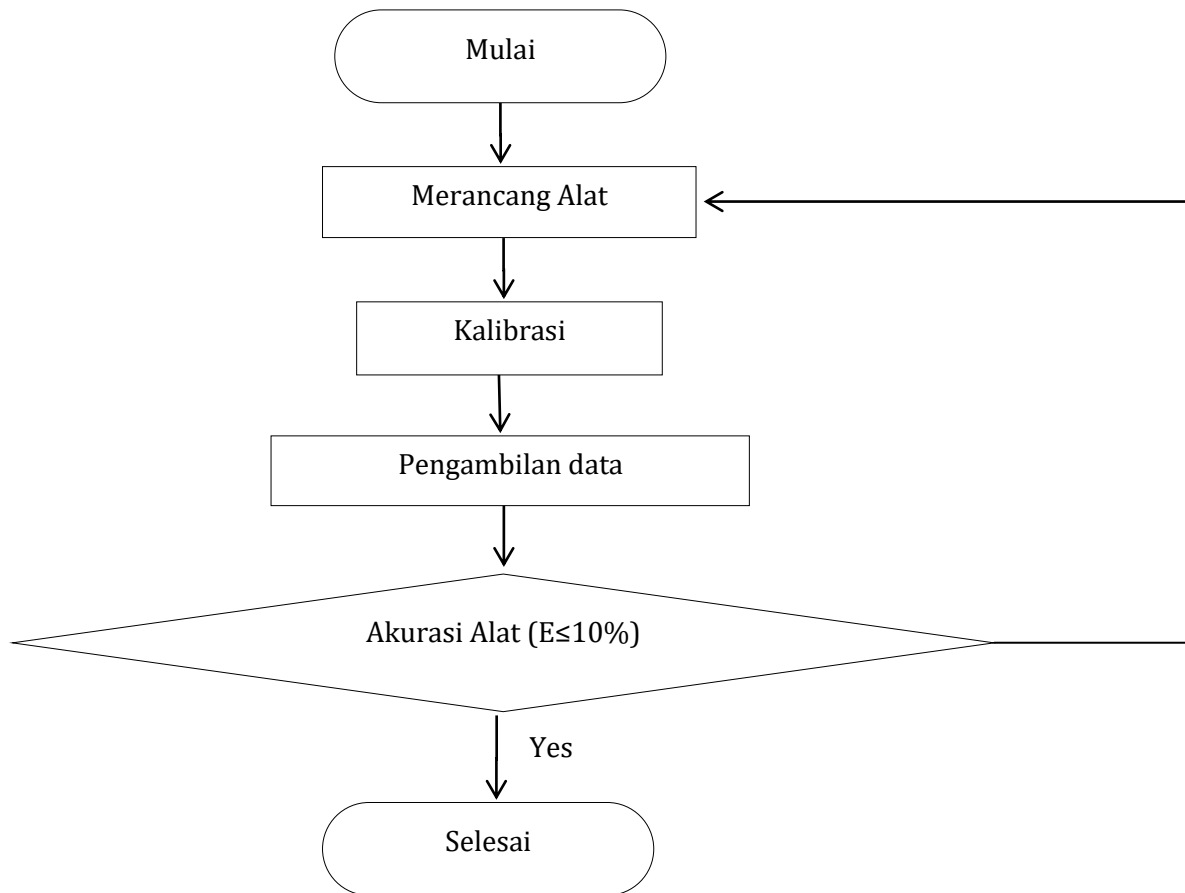
Penelitian ini termasuk penelitian pengembangan atau biasa dikenal sebagai *Research and Development* (R&D) yang menghasilkan suatu produk, kemudian menguji produk tersebut (Sugiyono,

2010). Populasi dan sampel dalam penelitian ini terdiri dari 10 orang sampel acak untuk kalibrasi alat dan 30 orang sampel untuk pengujian alat dengan ketentuan 1:1, yakni masing-masing 15 orang penderita diabetes melitus dan 15 orang dengan kadar gula darah normal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan akurasi alat jika digunakan pada penderita diabetes mellitus dan orang dengan kadar gula darah normal. Gambar 1 menunjukkan alur penelitian dimulai dengan perancangan alat, baik *hardware* maupun *software*. Perancangan *hardware* terdiri dari pembuatan alat ukur *non-invasive*, sedangkan perancangan *software* terdiri dari pengkodean rangkaian sensor dan mikrokontroler.

Tahap pertama adalah perancangan alat dengan skema rancangan alat yang ditunjukkan pada Gambar 2. Alat yang dirancang terdiri dari modul IR *line tracking* sensor TCRT5000 sebagai sensor pendeteksi yang mengukur kadar gula darah melalui ujung jari telunjuk. Hasil pengukuran berupa nilai ADC dari ujung jari telunjuk sampel yang akan diproses oleh arduino nano dengan tegangan input dari baterai 9 volt. Kemudian hasilnya ditampilkan ke dalam LCD *Display* 16x2 dengan tampilan nilai ADC (mV) dan kadar gula darah (mg/dl).

Tahap selanjutnya adalah kalibrasi alat yang dilakukan untuk mendapatkan persamaan garis lurus ($y = a + bx$) dan nilai koefisien determinasi (R^2), dengan y adalah nilai kadar gula darah yang diukur menggunakan alat ukur standar *GCU Easy Touch 3 in 1*, x adalah nilai ADC dari alat ukur *non-invasive*, a dan b adalah konstanta persamaan garis lurus. Nilai persamaan garis lurus ini didapatkan dari regresi linear sederhana antara nilai ADC dan kadar gula darah. Persamaan garis lurus digunakan untuk mengkonversi nilai ADC menjadi kadar gula darah dan nilai koefisien determinasi digunakan untuk menentukan tingkat hubungan linear antara nilai ADC dan kadar gula darah. Jika didapatkan nilai koefisien determinasi lebih dari 0.9 maka hubungan linear antara alat ukur *non-invasive* dan alat standar sangat kuat, sehingga bisa dilanjutkan ke tahap pengujian alat.

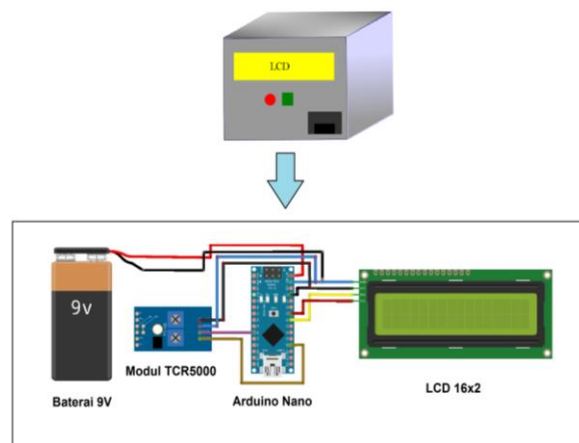
Tahap selanjutnya adalah pengujian alat untuk mengetahui tingkat akurasi alat yang dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari alat ukur *non-invasive* dan alat ukur standar sebagai pembanding yaitu *GCU Easy Touch 3 in 1* (mg/dl). Dalam pengujian alat ini digunakan 30 orang sampel yang terdiri 15 orang dengan diabetes mellitus dan 15 orang dengan kadar gula darah normal. Hasil diagnosa sampel dengan diabetes mellitus didapatkan dari Puskesmas Tanjungharjo, Bojonegoro. Akurasi alat didapatkan dengan menggunakan persentase kesalahan alat ukur *non-invasive* dari persamaan (1) berikut.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian.

$$\%Error = \frac{\text{Data gula darah} - \text{Data Pengukuran}}{\text{Data gula darah}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh nilai persentase kesalahan alat ukur *non-invasive* kemudian nilai tersebut dirata-rata. Selanjutnya akurasi alat didapatkan dari 100% dikurangi persentase kesalahan alat.



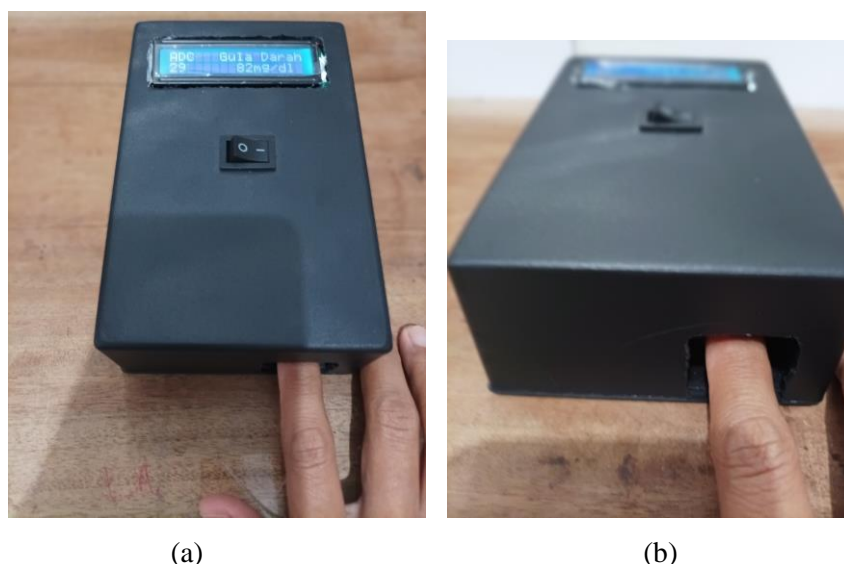
Gambar 2. Skema rancangan alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pembuatan alat *non-invasive* ditunjukkan pada gambar 3(a). LCD menampilkan data ADC (mV) dan kadar gula darah (mg/dl). Sensor TCRT5000 dikemas dalam box hitam dan diberi lubang untuk memasukan jari telunjuk sampel saat diukur. Hal ini dilakukan untuk menghindari gangguan cahaya lain dalam proses pengambilan data. Selanjutnya proses pengambilan data ditunjukkan pada gambar 3(b). Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan terlebih dahulu mengukur kadar gula darah sampel secara *invasive* menggunakan *GCU Easy Touch 3 in 1*, kemudian dilanjut dengan mengukur menggunakan alat *non-invasive*. Pengukuran dilakukan sebanyak satu kali pada setiap orang sampel (Usman & Imran, 2019). Stabilitas alat *non-invasive* tercapai setelah selang waktu 10-20 detik, sehingga saat pengambilan data, jari telunjuk ditahan sesaat di sensor TCRT5000 pada selang waktu tersebut.

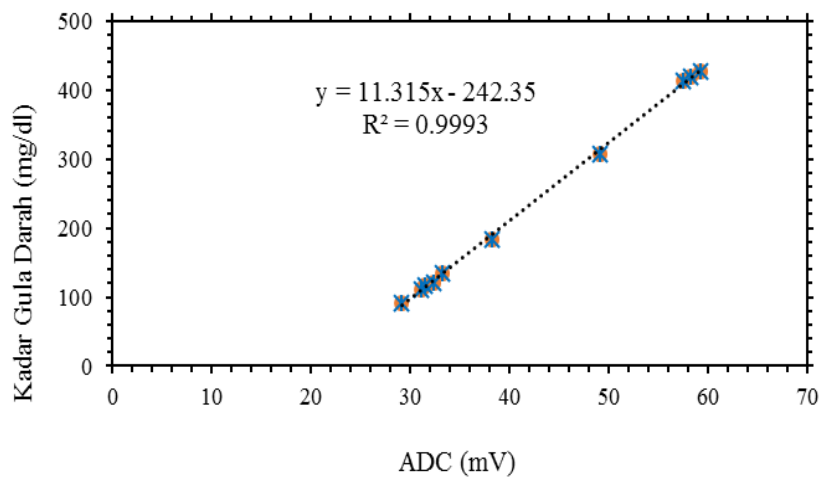
Pengukuran menggunakan modul IR *line tracking* sensor TCRT5000 menghasilkan nilai ADC (mV) yang diperoleh dari jari telunjuk masing-masing sampel. Nilai tersebut diperoleh dari sifat serapan jaringan terhadap cahaya *infrared*. Semakin pekat darah (semakin tinggi kadar gula darah), maka cahaya inframerah lebih banyak diserap sehingga hanya sedikit yang tertangkap oleh fotodioda. Begitu pula sebaliknya, jika darah semakin encer (semakin rendah kadar gula darah), maka lebih banyak cahaya inframerah yang yang melewati jaringan dan tertangkap fotodioda (Elgendi, 2021). Hasil pengukuran awal untuk kalibrasi alat pada 10 orang sampel acak disajikan dalam grafik pada Gambar 4. Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai ADC (mV) dari hasil alat ukur *non-invasive* dan kadar gula darah sampel dari alat ukur *invasive Glucometer Easy Touch 3 in 1*.



Gambar 3. (a) Alat ukur kadar gula darah non-invasive (b) Proses pengambilan data.

Kalibrasi

Grafik diplot dengan menggunakan regresi linear sederhana untuk memperoleh persamaan garisnya yaitu $y = 11,315x - 242,35$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9993$. Nilai koefisien determinasi dalam regresi linear sederhana berkisar antara $0 < R^2 < 1$. Berdasarkan nilai koefisien determinasi yang didapatkan, maka hubungan linear antara nilai ADC alat *non-invasive* dan kadar gula darah sampel dengan alat *invasive* standar adalah sangat kuat ($0 \leq R^2 \leq 0.8$) (Ndruru, R. E., Situmorang, M. and Tarigan, 2014). Oleh karena ini, alat ini bisa diuji pada tahap selanjutnya untuk mendapatkan nilai akurasi alat jika dibandingkan dengan alat standar.



Gambar 4. Grafik regresi linear hasil pengukuran nilai ADC dan kadar gula darah untuk kalibrasi alat.

Tabel 1. Persentase kesalahan alat ukur pada sampel dengan diabetes mellitus

No	Alat ukur Invasive / GCU Easy Touch 3 in 1 (mg/dl)	Alat ukur non-invasive (mg/dl)	Persentase kesalahan (%)
1	324	325	0.35
2	183	190	3.87
3	413	409	1.00
4	419	417	0.56
5	308	313	1.58
6	427	428	0.19
7	258	247	4.26
8	376	394	4.88
9	354	358	0.99
10	217	212	2.12
11	349	349	0.12
12	267	260	2.47
13	412	424	3.03
14	392	390	0.54
15	281	280	0.18
Rata-rata			1.74

Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan membandingkan alat *non-invasive* dan alat *invasive* standar pada 30 orang sampel. Kinerja alat ukur gula darah *non-invasive* dievaluasi dengan membandingkan antara hasil pengukuran dari alat ukur *non-invasive* dan alat ukur *invasive* standar supaya mendapatkan persentase kesalahannya (Suyono & Hambali, 2020). Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran untuk mengetahui persentase kesalahan alat *non-invasive*. Sampel dibagi menjadi dua jenis, yakni 15 orang dengan diabetes mellitus dan 15 orang dengan kadar gula darah normal. Hasil persentase kesalahan alat ukur *non-invasive* pada sampel dengan diabetes mellitus sebesar 1.74%, sedangkan pada sampel dengan kadar gula darah normal sebesar 2.84%. Hal ini menunjukkan bahwa alat ukur *non-invasive* ini lebih efektif apabila digunakan untuk mengukur pasien dengan diabetes mellitus. LED *Near-Infrared* sebagai pemancar diatas ujung jari telunjuk akan memancarkan sinar inframerah dan dideteksi oleh sensor photodiode sehingga menghasilkan intensitas cahaya yang besarnya bergantung pada molekul glukosa dalam darah (Suryana et al., 2018). Glukosa memiliki *spectrum* sendiri, semakin tinggi kadar glukosa maka kontras intensitasnya semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh relaksasi kandungan glukosa pada kadar tinggi akan mengalami penurunan ketika berinteraksi dengan inframerah. Penurunan ini mempengaruhi pemantulan sinar yang terjadi pada vibrasi kulit tangan, sehingga memunculkan pola difraksi dan interferensi lebih sedikit (Zulkarnain & Shidiq, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa alat ini dapat digunakan oleh orang dengan diabetes mellitus untuk memantau kadar gula darahnya agar tetap dalam kondisi aman.

Tabel 2. *Persentase kesalahan alat ukur pada sampel dengan kadar gula darah normal*

No	Alat ukur invasive / GCU Easy Touch 3 in 1 (mg/dl)	Alat ukur non-invasive (mg/dl)	Persentase kesalahan (%)
1	103	103	0.02
2	111	110	1.16
3	134	134	0.20
4	117	114	2.41
5	92	87	5.01
6	121	123	1.74
7	109	99	9.59
8	128	122	4.69
9	124	124	0.18
10	138	138	0.28
11	128	129	0.54
12	112	106	5.03
13	87	82	5.97
14	118	118	0.40
15	101	106	5.31
Rata-rata			2.84

Pembahasan

Persentase akurasi rata-rata alat pada sampel dengan diabetes melitus sebesar $100\% - 1.74\% = 98.26\%$, sedangkan pada sampel dengan kadar gula darah normal sebesar $100\% - 2.84\% = 97.16\%$. Alat ukur *non-invasive* dengan nilai akurasi diatas 95% dapat dikatakan akurat (Sulehu & Senrimang, 2018), dan memenuhi standar instrumen medis yang dapat digunakan untuk manusia dengan nilai $\geq 95\%$ (Suyono & Hambali, 2020). Oleh karena itu, alat ini dapat digunakan sebagai alat alternatif untuk mengukur kadar gula darah secara *non-invasive*, terutama bagi penderita *diabetes mellitus* secara mandiri di rumah dengan biaya murah dan dapat membantu mengurangi tumpukan limbah medis.

KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan pengembangan alat ukur kadar gula darah *non-invasive* dengan memanfaatkan sensor TCRT5000 dengan sinar inframerah sebagai *transmitter* dan sensor *photodiode* sebagai *receiver*. Pengujian alat dilakukan pada 15 orang sampel dengan *diabetes mellitus* dan 15 sampel dengan gula darah normal. Akurasi alat didapatkan dengan membandingkan alat ukur *non-invasive* dan alat ukur *invasive* standar *GCU Easy Touch 3 in 1*. Hasil penelitian menunjukkan akurasi alat pengukur kadar gula darah *non-invasive* sebesar 98.26% pada sampel dengan *diabetes mellitus* dan 97.16% pada sampel dengan gula darah normal. Alat ukur kadar gula darah *non-invasive* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai alat ukur alternatif secara mandiri, terutama bagi penderita *diabetes mellitus*, yang murah, tidak menyakitkan dan membantu mengurangi limbah medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Buda, R. A., & Ieee-embs, M. M. A. (2014). A portable non-invasive blood glucose monitoring device. *IEEE Conference on Biomedical Engineering and Science, December*, 964–969.
- Deviana, Y., Wijanarko, H., & Kamarudin. (2020). Analisis pengukur kadar gula dalam darah secara non-invasive. *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology (ASEECT)*, 1(2), 26–31.
- Eko Satria, W. (2013). Rancang bangun alat ukur kadar gula darah non-invasive berbasis mikrokontroler AT89S51 dengan mengukur tingkat kekeruhan spesimen urine menggunakan sensor fotodiode. *Jurnal Fisika Unand*, 2(1), 40–47.
- Elgendi, M. (2021). *PPG signal analysis an introduction using MATLAB (First Edit, Vol. 53, Issue 9)*. CRC Press.
- Gayathri, B., Sruthi, K., & Menon, K. A. U. (2017). Non-invasive blood glucose monitoring using near infrared spectroscopy. *International Conference on Communication and Signal Processing*, 1139–1142.
- Irawati, N. (2012). Rancang bangun alat pengukur kadar gula darah menggunakan metode optik untuk penderita diabetes melitus. In *Skripsi Universitas Airlangga* (pp. 1–68).

- Khairunnisa, Z. (2014). Rancang Bangun alat ukur kadar gula darah non-invasive berbasis sensor fotodioda. *Skripsi Fisika*.
- Lam, S. C. H., Chung, J. W. Y., Fan, K. L., & Wong, T. K. S. (2010). *Non-invasive blood glucose measurement by near infrared spectroscopy: Machine drift, time drift and physiological effect*. 24, 629–639. <https://doi.org/10.3233/SPE-2010-0485>
- Lawand, K. (2015). Design and development of infrared led based non invasive blood glucometer. *IEEE INDICON*, 1–6.
- Manurung, B. E., Munggaran, H. R., Ramadhan, G. F., Koesoema, A. P., Lq, S., Zruog, W. K. H., Phdvxuhphqw, W. K. H., Eorrg, R. I., Lq, J., Dqg, S., Dffruglqj, L., Qgrqhvld, V., Joxfrvh, E., Ghylfh, P., Frqvlvww, V. V., Sdlu, R. I. D., Wkhq, D. Q. G., Iru, F., Xvh, P., ... Lwh, O. R. Z. (2019). Non- invasive blood glucose monitoring using near infrared spectroscopy based on internet of things using machine learning. *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*, 5–11. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC47129.2019.9042479>
- Narkhede, P., Dhalwar, S., & Karthikeyan, B. (2016). NIR based non-invasive blood glucose measurement. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(41), 1–7. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i41/98996>
- Ndruru, R. E., Situmorang, M. and Tarigan, G. (2014). Analisa faktor-faktor yang mempengaruhi hasil produksi padi di deli serdang. *Saintia Matematika*, 2(1), 71–83.
- Prasetyo, E., Utama, J., Bukit, K., & Kota, B. (2019). *Prototype robot line follower arduino uno*. 11(2), 17–23.
- Pratiwi, Z., & Hufri. (2020). Pembuatan alat ukur kadar gula darah berdasarkan tingkat kekeruhan spesimen urine menggunakan sensor warna TCS230 dan photodioda dengan tampilan LCD. *Pillar of Physics*, 13(April), 18–25.
- Rachim, V. P., & Chung, W. Y. (2018). Wearable-band type visible-near infrared (VIS-IR) optical sensor for non-invasive blood glucose monitoring. *International Meeting on Chemical Sensors-MCS 2018*, 73–74. <https://doi.org/10.1373/49.6.924>.
- Santoso, G., Hani, S., & Wicaksono, A. (2018). Rancang Bangun prototipe detektor glukosa darah secara non-invasive menggunakan near infrared. *Simposium Nasional RAPI XVII, E*, 37–42.
- Sugiyono. (2010). *Penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sulehu, M., & Senrimang, A. H. (2018). Program aplikasi alat pengukur kadar glukosa dalam darah non invasive berbasis desktop. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 8(1), 16–24. <https://doi.org/10.35585/inspir.v8i2.2454>
- Suryana, Y., Astawa, I. M., Ferbyarto, R., & Prabowo, J. (2018). Perancangan dan simulasi alat ukur kadar gula darah secara non-invasive. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 3, 108–112.
- Suyono, H., & Hambali. (2020). Perancangan alat pengukur kadar gula dalam darah menggunakan

- teknik non-invasive berbasis mikrokontroler arduino uno. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 06(01), 69–76.
- The Centre for Disease Control and Prevention. (2020). Estimates of diabetes and its burden in the united states national diabetes statistics report. In *National Diabetes Statistics Report* (Issue Cdc, pp. 1–32).
- Usman, U., & Imran, A. (2019). Monitoring kadar glukosa darah non-invasive menggunakan sensor photoacoustic. *Celebes Health Journal LL-DIKTI IX*, 1(2), 99–111.
- Wardana, H. ., I, E., & A.F, L. (2018). Measurement of non-invasive blood glucose level based sensor color TCS3200 and arduino measurement of non-invasive blood glucose level based sensor color TCS3200 and arduino. *IOP Publishing*, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/336/1/012019>
- Yadav, J., Rani, A., & Singh, V. (2014). Near-infrared LED based non-invasive blood glucose sensor. *International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 591–594. <https://doi.org/10.1109/SPIN.2014.6777023>
- Zheng, T., Li, W., Liu, Y., Ling, B. W., & Member, S. (2016). A non-invasive blood glucose measurement system by arduino and near-infrared. *IEEE Conference on Cusstemer Electronicl-China (ICCE-China)*, 8–10.
- Zulkarnain, & Shidiq, M. (2018). Investigasi penggunaan metode laser speckle imaging (LSI) untuk pengukuran kadar gula darah. *Jurnal Fisika UNNES*, 8(2), 60–67.