

Rancangan Perangkat Pengukuran Gula Darah Non-invasif

Design of Non-Invasive Blood Sugar Measurement Devices

Evan Fajar Firmansyah^{1*}, Dodi Zulherman², Slamet Indriyanto³

^{1,2}Prodi Teknik Biomedis Kampus Banyumas, ³Prodi Teknik Elektro Kampus Banyumas, Universitas Telkom, JL. DI Panjaitan No. 128 Purwokerto
evanfajarfirmaryah@student.telkomuniversity.ac.id^{1*}, zulherman@telkomuniversity.ac.id²,
slamet@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak – Penelitian ini membahas perancangan sistem pengukuran kadar glukosa secara non-invasif menggunakan sensor MAX3010. Sensor ini memanfaatkan cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) untuk mendeteksi intensitas cahaya yang melewati jaringan jari pengguna. Hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada layar dan dapat dipantau dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam membaca sinyal optik dan menampilkan nilai sesuai kondisi pengguna. Pola perubahan sinyal yang dihasilkan memiliki arah yang sebanding dengan hasil pengukuran alat glukometer, sehingga sistem ini dapat memberikan gambaran awal kadar glukosa darah secara umum. Walaupun hasil yang diperoleh belum seakurat alat konvensional, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan peningkatan jumlah data, penyempurnaan pengolahan sinyal, serta penerapan metode analisis yang lebih optimal untuk meningkatkan akurasi.

Kata Kunci: MAX30102, non-invasif, kadar glukosa darah, sensor optik.

Abstract – This study discusses the design of a non-invasive blood glucose measurement system using the MAX30102 sensor. The sensor utilizes red light (660 nm) and infrared light (880 nm) to detect changes in light intensity passing through the user's finger tissue. The measurement results are displayed in real-time and can be monitored remotely. The experimental results show that the system can effectively read optical signals and display changes that correspond to the user's condition. The signal pattern obtained is consistent with the measurements from a conventional glucometer, indicating that the system can provide an initial estimation of blood glucose levels. Although the results are not yet as accurate as conventional devices, the system has potential for further development through data expansion, improved signal processing, and the application of more advanced analytical methods to enhance accuracy.

Keywords: MAX30102, non-invasive, blood glucose level, optical sensor.

1. Pendahuluan

Diabetes melitus merupakan penyakit kronis yang telah menjadi salah satu masalah kesehatan global dengan dampak yang luas terhadap kualitas hidup penderitanya. International Diabetes Federation (IDF) pada tahun 2021 melaporkan bahwa sekitar 537 juta orang dewasa di seluruh dunia diperkirakan hidup dengan diabetes, dan jumlah tersebut terus meningkat setiap tahunnya [1]. Kondisi ini sejalan dengan hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018 yang menunjukkan prevalensi diabetes melitus nasional berdasarkan diagnosis dokter sebesar 2,0%, sedangkan berdasarkan hasil pemeriksaan darah tercatat sebesar 10,9% pada penduduk usia 15 tahun ke atas [2]. Peningkatan prevalensi ini juga ditegaskan oleh Hirsch et al. (2024) yang menyatakan bahwa tren kenaikan kasus diabetes terjadi secara signifikan di berbagai negara, sehingga menuntut adanya metode pemantauan kadar glukosa yang lebih praktis, mudah diakses, dan dapat dilakukan secara rutin oleh pasien [3].

Metode pemantauan kadar glukosa yang umum digunakan hingga saat ini masih didominasi oleh teknik invasif, yaitu pengambilan sampel darah melalui tusukan jarum pada jari atau lengan. Teknik ini meskipun akurat, sering kali menimbulkan ketidaknyamanan bagi pasien, terutama karena harus dilakukan berulang kali dalam satu hari [4]. Ketidaknyamanan tersebut mendorong berbagai penelitian untuk mengembangkan metode pemantauan glukosa darah yang bersifat non-invasif dengan memanfaatkan teknologi sensor berbasis cahaya atau pendekatan lain yang tidak memerlukan pengambilan sampel darah secara langsung.

Sebagai alternatif dari metode invasif, berbagai penelitian terkini mulai mengembangkan pendekatan non-invasif dalam mengukur kadar glukosa darah, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi optik dengan prinsip Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). Prinsip kerja dari teknologi ini adalah mendeteksi perubahan konsentrasi glukosa melalui pola penyerapan spektrum cahaya inframerah yang terjadi ketika cahaya menembus jaringan tubuh [5]. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa penggunaan panjang gelombang tertentu pada spektrum inframerah memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan dalam pemantauan kadar glukosa secara non-invasif, karena memungkinkan deteksi yang cepat dan praktis tanpa harus melalui proses pengambilan sampel darah [6].

Dalam konteks ini, penggunaan sensor optik seperti MAX30102 menjadi salah satu pilihan yang banyak dimanfaatkan karena memiliki kemampuan untuk membaca variasi absorbansi cahaya pada jaringan tubuh manusia [7]. Sensor ini dirancang untuk bekerja menggunakan dua panjang gelombang utama, yaitu cahaya merah dengan panjang gelombang 660 nm dan cahaya inframerah dengan panjang gelombang 880 nm, yang dinilai efektif dalam mendeteksi perubahan karakteristik jaringan yang berhubungan dengan konsentrasi glukosa dalam darah. Kombinasi kedua panjang gelombang tersebut berperan penting dalam meningkatkan akurasi estimasi kadar glukosa darah melalui pendekatan non-invasif.

Meski demikian, pengembangan metode non-invasif tidak lepas dari sejumlah tantangan, terutama dalam hal akurasi hasil pengukuran. Berbagai faktor fisiologis, seperti suhu permukaan kulit, ketebalan jaringan, hingga variasi sirkulasi darah lokal, dapat memengaruhi kestabilan dan keakuratan data yang diperoleh [8]. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan strategi lanjutan untuk memperkuat validitas serta meningkatkan korelasi antara sinyal optik yang terekam oleh sensor dengan kadar glukosa darah yang sebenarnya.

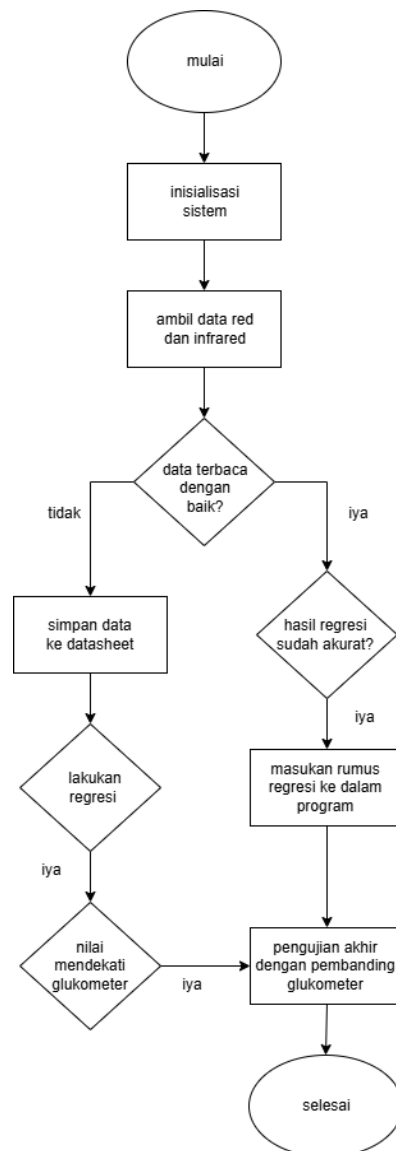
Selain kendala fisiologis, keterbatasan perangkat keras juga menjadi aspek yang tidak bisa diabaikan. Salah satunya adalah variasi panjang gelombang inframerah yang umumnya tersedia di pasaran dalam jumlah terbatas. Beberapa studi terbaru mengindikasikan bahwa penggunaan kombinasi beberapa panjang gelombang secara bersamaan dapat membantu meningkatkan akurasi prediksi kadar glukosa darah [9]. Dengan demikian, pemilihan jenis sensor dan pengembangan teknologi optik yang lebih adaptif menjadi sangat penting dalam mendukung keberhasilan metode non-invasif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem pengukuran kadar gula darah non-invasif dengan memanfaatkan sensor MAX30102. Penelitian ini tidak hanya menitikberatkan pada pemanfaatan sensor sebagai alat pengukur, tetapi juga mengevaluasi sejauh mana variasi panjang gelombang cahaya yang digunakan dapat memengaruhi akurasi estimasi kadar glukosa. Harapannya, penelitian ini dapat mendorong pengembangan teknologi kesehatan yang lebih nyaman digunakan, memiliki akurasi yang lebih tinggi, serta terjangkau oleh masyarakat luas [10].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menjelaskan tahapan kerja sistem pengukuran kadar gula darah non-invasif berbasis sensor MAX30102 yang menggunakan pendekatan regresi machine learning.

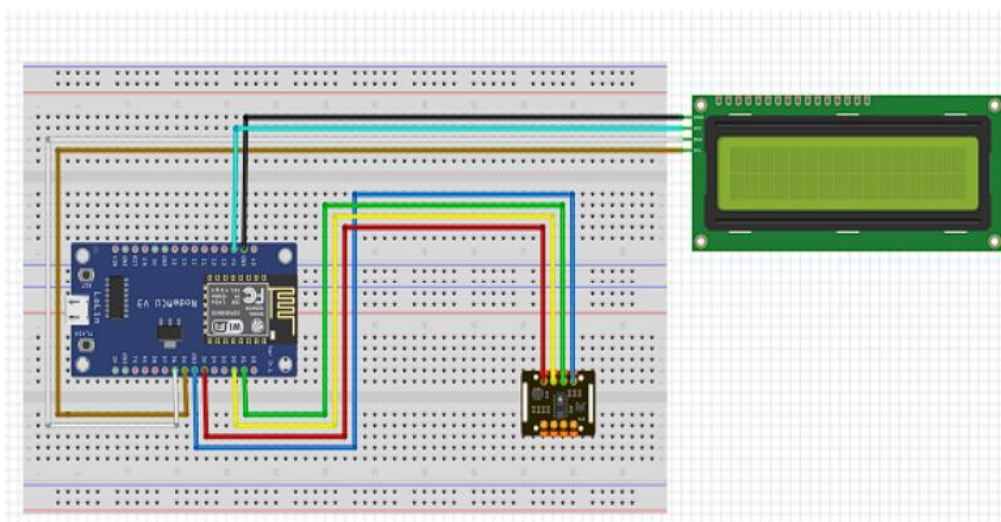
Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 1 yang menggambarkan proses dari inialisasi perangkat hingga tahap pengujian akhir dengan glukometer sebagai pembanding.



Gambar 1 Flowchart sistem pengukuran gula darah non-invasif

Proses penelitian diawali dengan inialisasi mikrokontroler dan sensor MAX30102. Tahap ini dilakukan untuk menyiapkan sistem agar mampu membaca sinyal cahaya red dan infrared secara optimal. Setelah sistem aktif, sensor mulai mengambil data dari permukaan kulit untuk memperoleh intensitas pantulan cahaya yang mempresentasikan karakteristik darah pengguna. Data hasil pembacaan diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh valid. Jika data belum terbaca dengan baik, sistem akan mengulangi proses pengambilan hingga mendapatkan data yang sesuai. Data yang valid kemudian disimpan ke dalam dataset sebagai bahan untuk proses pelatihan model regresi. Hasil proses regresi kemudian diuji untuk mengetahui tingkat akurasi model. Jika model belum memberikan hasil yang akurat, maka dilakukan penambahan data atau mencoba model machine learning lain. Setelah model regresi mencapai tingkat akurasi yang baik, rumus regresi dimasukkan ke dalam program sistem agar perangkat dapat menghitung estimasi kadar gula darah secara otomatis berdasarkan sinyal yang diterima dari sensor. Tahap selanjutnya adalah pengujian akhir, di mana hasil estimasi dari sistem

dibandingkan dengan nilai kadar gula darah dari glukometer. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu mendeteksi kadar gula darah dengan hasil yang mendekati nilai sebenarnya. Jika perbedaan hasil masih signifikan, maka dilakukan evaluasi ulang terhadap model regresi. Namun, jika hasil sistem sudah mendekati nilai glukometer, maka sistem dianggap bekerja dengan baik dan proses penelitian dinyatakan selesai.



Gambar 2 Rangkaian sistem

Rangkaian sistem terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor MAX30102, dan LCD. Sensor membaca sinyal cahaya merah dan inframerah dari kulit menembus jaringan kemudian dipantulkan kembali dan dikonversi menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler. Hasil yang terlihat nanti nilai red dan infrared, nilai itulah yang akan di regresi untuk membuat rumus prediksi dan dimasukkan ke dalam program ketika sudah akurat dengan pembanding glukometer.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dalam mengukur kadar glukosa darah secara non-invasif. Sensor MAX30102 digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) yang melewati jaringan jari pengguna. Nilai sinyal yang dihasilkan dari sensor kemudian dibaca oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real time pada lcd. Selain itu, sistem juga dirancang agar data hasil pengukuran dapat dikirim ke platform digital untuk mendukung proses pemantauan dan analisis lebih lanjut. Proses pengujian dilakukan dengan mengambil beberapa data dari subjek yang diukur menggunakan sistem non-invasif ini dan alat glukometer sebagai pembanding.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Awal

No	Nilai Red	Nilai Infrared	Gula Darah (mg/dL)
1.	20661	27885	108
2.	21368	30071	107
3.	21406	30055	109
4.	21360	30061	107
5.	21244	29822	108
6.	21222	29904	109
7.	21318	30239	108
8.	21489	30569	108

No	Nilai Red	Nilai Infrared	Gula Darah (mg/dL)
9.	21504	30809	107
10.	21336	30359	109

Data pada tabel merupakan sebagian kecil dari 500 data pengukuran. Nilai sinyal red dan infrared menunjukkan hasil pembacaan optik dari sensor MAX30102, sedangkan nilai glukometer digunakan sebagai acuan dalam proses analisis regresi. Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa terdapat variasi nilai sinyal red dan infrared yang sebanding dengan perubahan kadar gula darah yang terukur menggunakan glukometer. Data ini selanjutnya digunakan untuk pelatihan dan pengujian model regresi dalam upaya menghasilkan persamaan prediksi kadar gula darah non-invasif yang mendekati hasil glukometer. Nilai red dan infrared yang diperoleh dari sensor kemudian dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk melihat hubungan antara intensitas cahaya dengan kadar glukosa darah. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$y = 99.0813 + (0.0002 \times \text{red}) + (0.0000 \times \text{infrared})$$

Rumus diatas yang akan dimasukkan pada program jika hasilnya sudah bagus. Pada persamaan tersebut, nilai 99.0813 menunjukkan perkiraan kadar glukosa dasar ketika sinyal cahaya merah dan inframerah berada pada nilai paling rendah. Koefisien 0.0002 pada cahaya merah berarti setiap kenaikan sinyal merah sedikit meningkatkan nilai kadar glukosa darah. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal cahaya merah memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan cahaya inframerah. Sedangkan koefisien 0.0000 pada cahaya inframerah menunjukkan pengaruhnya sangat kecil terhadap perubahan kadar glukosa darah. Hal ini bisa disebabkan oleh sifat cahaya inframerah yang menembus jaringan lebih dalam, sehingga sinyal yang diterima tidak secara langsung menggambarkan perubahan kadar glukosa. Nilai R^2 sebesar 0,019 menunjukkan bahwa hubungan antara sinyal optik dan kadar glukosa darah masih lemah. Faktor penyebabnya bisa karena jumlah data yang masih sedikit, adanya noise pada sensor, perbedaan tekanan jari saat pengukuran, dan variasi kondisi pengguna. Meskipun begitu, sistem sudah mampu bekerja dengan baik dan menampilkan perubahan sinyal yang sesuai dengan kondisi pengukuran. Hal ini menjadi dasar untuk mengembangkan penelitian selanjutnya, seperti menambah jumlah data uji, memperbaiki proses pengolahan sinyal, dan menggunakan metode analisis yang lebih baik agar sistem dapat memberikan hasil pengukuran kadar glukosa darah yang lebih akurat.

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah diusulkan sebuah sistem pengukuran kadar glukosa darah secara non-invasif berbasis sensor optik MAX30102. Metode yang diusulkan menggunakan prinsip penyerapan cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) yang dilewatkan melalui jaringan jari pengguna untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh aliran darah. Sensor MAX30102 digunakan sebagai komponen utama pendeteksi sinyal optik yang merepresentasikan kadar glukosa darah pada pengguna. Sebagai unit pemroses data, digunakan mikrokontroler yang berfungsi membaca keluaran sinyal dari sensor, kemudian menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada layar penampil. Sistem ini juga dirancang agar hasil pengukuran dapat dipantau melalui perangkat digital untuk mendukung proses analisis data lebih lanjut. Sinyal cahaya merah dan inframerah yang diperoleh dari sensor kemudian akan digunakan sebagai data utama dalam analisis hubungan antara intensitas cahaya dan kadar glukosa darah.

Referensi

- [1] International Diabetes Federation, "IDF Diabetes Atlas 10th Edition," Brussels, 2021.
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018," Jakarta, 2018.
- [3] I. B. Hirsch, A. Tirosh, and A. Navon, "Noninvasive Real-Time Glucose Monitoring Is in the Near Future," *Diabetes Technol Ther*, vol. 26, no. 9, pp. 661–666, Sep. 2024, doi: 10.1089/dia.2024.0009.
- [4] J. Wu, Y. Liu, H. Yin, and M. Guo, "Review Article A new generation of sensors for non-invasive blood glucose monitoring," 2023. [Online]. Available: www.ajtr.org
- [5] J. L. C. Perez *et al.*, "Fiber optic sensors: A review for glucose measurement," Mar. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/bios11030061.
- [6] S. Ali *et al.*, "Development and Evaluation of a Sensor-Based Non-Invasive Blood Glucose Monitoring System Using Near-Infrared Spectroscopy †," *Engineering Proceedings*, vol. 82, no. 1, 2024, doi: 10.3390/ecsa-11-20395.
- [7] A. Hina and W. Saadeh, "Noninvasive Blood Glucose Monitoring Systems Using Near-Infrared Technology—A Review," Jul. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/s22134855.
- [8] A. Kandwal *et al.*, "A comprehensive review on electromagnetic wave based non-invasive glucose monitoring in microwave frequencies," Sep. 30, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e37825.
- [9] M. Shokrehodaie, D. P. Cistola, R. C. Roberts, and S. Quinones, "Non-Invasive Glucose Monitoring Using Optical Sensor and Machine Learning Techniques for Diabetes Applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 73029–73045, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3079182.
- [10] Mr. K. G. Mr. C. S. Dr. R. Athilingam, "A Review on Non-Invasive Technology for Monitoring Blood Glucose in the Management of Diabetes," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2024, doi: <https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS60492>.
- [11] "MAX30102--High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health." [Online]. Available: www.maximintegrated.com
- [12] J. Wu, Y. Liu, H. Yin, and M. Guo, "Review Article A new generation of sensors for non-invasive blood glucose monitoring," 2023. [Online]. Available: www.ajtr.org