

SISTEM OPTIK NON-INVASIVE UNTUK PEMANTAUAN GLUKOSA DARAH PENDERITA DIABETES

Cyntia Widiyasari^{1*}, Rafly Aldakas Erdi², Wiwin Styorini²

¹Program Study Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Caltex Riau, Riau, Indonesia

²Program Study Teknik Elektronika Telekomunikasi, Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Caltex Riau, Riau, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: cyntia@pcr.ac.id

Abstrak

Pengukuran kadar gula darah secara rutin sangat penting dilakukan, terutama bagi penderita diabetes. Metode konvensional yang bersifat invasif seringkali menimbulkan ketidaknyamanan karena melibatkan pengambilan sampel darah secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan teknologi alternatif yang lebih nyaman dan mudah digunakan untuk pemantauan mandiri. Penelitian ini bertujuan merancang alat pengukur kadar gula darah non-invasif berbasis mikrokontroler ESP32 menggunakan metode Photoplethysmography (PPG) dengan sensor MAX30102. Sistem dilengkapi dengan LCD sebagai tampilan data, fitur pengiriman hasil pengukuran ke aplikasi Telegram, serta dashboard berbasis Laravel untuk monitoring grafik dan riwayat pengukuran secara real-time. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana menghasilkan estimasi kadar gula darah yang mendekati akurasi alat glukometer invasif, sekaligus menyediakan platform pemantauan yang mudah diakses pengguna. Kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi linear berdasarkan 232 data pengukuran, yang menghasilkan persamaan regresi $y = -136,71x + 132,008$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9867$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki rata-rata tingkat akurasi sebesar 80,5%, dengan akurasi tertinggi 91,0% dan terendah 69,7%. Meskipun akurasi antar sampel masih bervariasi, alat ini mampu memberikan estimasi kadar gula darah yang cukup mendekati nilai referensi sehingga berpotensi menjadi alternatif praktis untuk pemantauan kadar gula darah tanpa prosedur tusuk jarum.

Kata kunci: Pemantauan Gula Darah; Pengukuran Non-Invasif; Mikrokontroler ESP32; Photoplethysmography (PPG); Sensor MAX30102; Kalibrasi Regresi Linear; Monitoring Kesehatan Berbasis IoT

Abstract

Regular monitoring of blood glucose levels is essential, especially for individuals with diabetes. Conventional invasive methods often cause discomfort due to direct blood sampling, highlighting the need for a more convenient alternative for self-monitoring. This research aims to design a non-invasive blood glucose measurement device based on the ESP32 microcontroller using the Photoplethysmography (PPG) method with the MAX30102 sensor. The system is equipped with an LCD for displaying data, a feature to send measurement results to the Telegram application, and a Laravel-based dashboard for real-time visualization of historical data and trends. The main challenge addressed is achieving blood glucose estimation accuracy comparable to conventional invasive glucometers while providing an accessible remote monitoring platform. Calibration was performed using a linear regression method based on 232 paired measurement data, resulting in the regression equation $y = -136.71x + 132.008$ with a coefficient of determination (R^2) of 0.9867. The results show that the device achieves an average accuracy of 80.5%, with the highest accuracy of 91.0% and the lowest accuracy of 69.7%. Although accuracy varies, the device provides estimations reasonably close to reference values, making it a practical non-invasive alternative for blood glucose monitoring without finger-prick procedures.

Keywords: Blood Glucose Monitoring; Non-Invasive Measurement; ESP32 Microcontroller; Photoplethysmography (PPG); MAX30102 Sensor; Linear Regression Calibration; IoT-based Health Monitoring

1. Pendahuluan

Pengukuran kadar gula darah merupakan aspek penting dalam pengelolaan kesehatan, khususnya bagi penderita Diabetes Mellitus (DM) [3]. Metode konvensional yang bersifat invasif umumnya menggunakan pengambilan sampel darah melalui tusukan jarum. Meskipun metode ini cukup akurat, penggunaannya dapat menimbulkan ketidaknyamanan serta berisiko terhadap infeksi, sehingga diperlukan metode alternatif yang lebih aman dan nyaman [11], [13].

Seiring perkembangan teknologi, berbagai penelitian telah mengembangkan metode pengukuran non-invasif berbasis *photoplethysmography* (PPG) [7], [13]. Metode ini memanfaatkan sensor optik untuk mendeteksi perubahan sinyal biologis melalui interaksi cahaya dengan jaringan tubuh, yang dikenal mampu menangkap perubahan volume darah secara real-time. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perangkat non-invasif dapat dikembangkan menggunakan mikrokontroler seperti Arduino [5], [8] serta sensor optik seperti MAX30100 yang mampu membaca sinyal denyut dan oksigen dalam darah [1], [4].

Selain itu, pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) juga telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kesehatan. Sistem berbasis ESP32 dan platform IoT memungkinkan pengiriman data secara real-time dan pemantauan jarak jauh [2], [9], [10]. Pendekatan ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau kondisi kesehatan secara kontinu.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan alat pengukur kadar gula darah non-invasif menggunakan metode *photoplethysmography* (PPG) dengan memanfaatkan sensor MAX30102. Prinsip kerja PPG adalah mengukur perubahan intensitas cahaya akibat variasi volume darah selama siklus jantung, yang kemudian menghasilkan sinyal yang dapat dianalisis [7], [11]. Perubahan sinyal tersebut memiliki hubungan dengan kadar glukosa dalam darah sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengukuran non-invasif [6], [11], [14].

Pemanfaatan sensor optik dengan panjang gelombang tertentu memungkinkan penetrasi cahaya yang lebih baik ke jaringan kulit dan pembuluh darah, sehingga meningkatkan kualitas akuisisi sinyal. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi PPG dengan teknik *machine learning* mampu meningkatkan akurasi estimasi glukosa secara signifikan [12], [14], [15]. Pendekatan ini juga memungkinkan pengembangan sistem monitoring berkelanjutan berbasis wearable device.

Selain fitur monitoring melalui aplikasi, sistem juga dilengkapi dengan dashboard berbasis web untuk menampilkan riwayat pengukuran dan tren data kesehatan. Integrasi ini memungkinkan proses penyimpanan, analisis, dan visualisasi data dilakukan secara terpusat dan real-time [2], [9], [10]. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya menghadirkan alat ukur yang portable dan non-invasif, tetapi juga mendukung

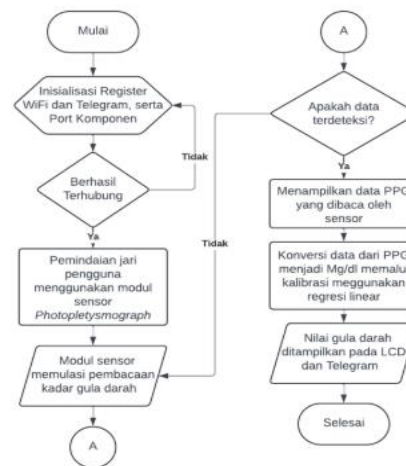
ekosistem layanan kesehatan digital yang lebih modern dan terintegrasi.

2. Metode

2.1. Perancangan

2.1.1 Flowchart Perancangan

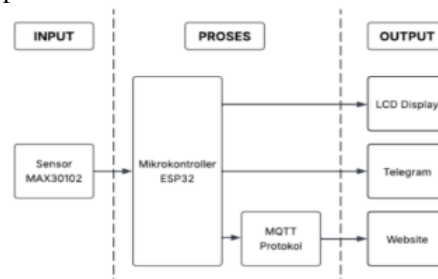
Gambar 1 adalah flowchart yang memaparkan langkah-langkah mulai dari inialisasi komponen hingga pengolahan data dan penyajian hasil. Setiap tahapan dalam proses ini dilakukan secara berurutan, memastikan bahwa data yang terdeteksi oleh sensor diproses dan dikonversi menjadi informasi yang dapat dibaca oleh pengguna. Hasil pengukuran kadar gula darah kemudian ditampilkan baik melalui layer LCD maupun Telegram seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart Perancangan

2.1.2. Blok Diagram Perancangan

Blok diagram adalah representasi visual sederhana yang menjelaskan bagaimana suatu sistem bekerja dengan membagi komponen-komponennya menjadi blok-blok yang menunjukkan alur data atau sinyal antar bagian. Pada diagram ini, sistem pengukuran kadar gula darah dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu input, proses, dan output seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Blok Diagram Perancangan

Keterangan Gambar 2:

a. Blok Input

Pada tahap input, data awal diperoleh dari jari pengguna yang diletakkan di area sensor MAX30102, yang terdiri dari LED infra merah dan photodiode. LED IR Superbright memancarkan Cahaya inframerah ke jaringan kapiler di jari, sementara photodiode mendeteksi intensitas cahaya yang dipantulkan oleh aliran darah. Perubahan cahaya ini merepresentasikan sinyal photoplethysmography (PPG) yang berkorelasi dengan kondisi fisiologis pengguna. Data mentah yang dikumpulkan oleh sensor ini menjadi dasar utama dalam proses estimasi kadar gula darah, menjadikan blok input sebagai tahap awal yang sangat krusial.

b. Blok Proses

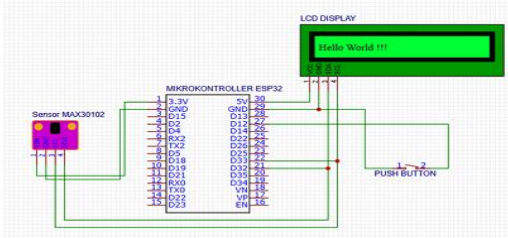
Setelah data dari sensor MAX30102 dikumpulkan, proses selanjutnya dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. ESP32 akan mengolah sinyal mentah yang masuk dan mengkonversinya menjadi estimasi kadar gula darah dalam satuan mg/dL. Konversi ini menggunakan persamaan regresi linear sederhana yang telah dikalibrasi berdasarkan data perbandingan dari alat glucometer. Tahap ini mencakup proses filtering sinyal, kalkulasi kadar gula, serta pengendalian logika tampilan dan komunikasi data. Dengan algoritma yang tertanam dalam mikrokontroler, sistem dapat secara otomatis menghasilkan data yang lebih akurat dan siap ditampilkan atau dikirimkan.

c. Blok Output

Hasil akhir dari proses pengukuran ditampilkan secara langsung pada LCD 16x2 I2C yang terpasang pada box alat, sehingga pengguna dapat melihat kadar gula darah mereka secara instan. Selain tampilan lokal, data hasil pengukuran juga dikirimkan ke server melalui koneksi WiFi menggunakan protokol MQTT.

2 1.3. Perancangan Hardware

Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini Adalah Mikronkontroler ESP32, Sensor MAX30102, Push Botton, LCD 16x2 I2C, Kabel USB dan Type C dan Kabel Jumper. Gambar 3 menunjukkan rangkaian skematik dan alat.

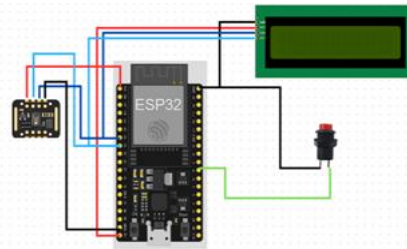


Gambar 3 Skematik Rangkaian

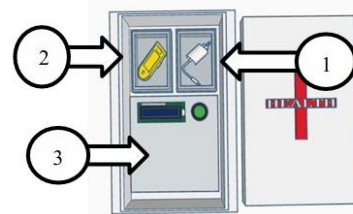
2.1.4. Perancangan Mekanik

Rangkaian skematiknya bisa dilihat pada Gambar 4.

Desain fisik alat divisualisasikan dalam Gambar 5 yang menampilkan tampak luar dan tampak dalam dari susunan komponen.



Gambar 4 Perancangan Mekanik



Gambar 5 Perencanaan Desain Alat

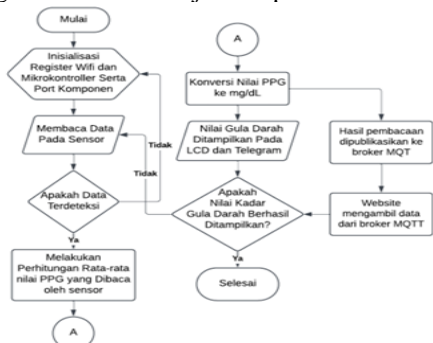
Keterangan Gambar 5:

1. Adaptor 5V
Adaptor 5V ini berperan sebagai penyuplai tegangan utama bagi NodeMCU ESP32 dan komponen lainnya dalam sistem. Adaptor ini akan terhubung ke sumber listrik, menyediakan daya yang stabil dan mencukupi untuk mendukung operasi sistem secara keseluruhan, sehingga memastikan kestabilan kinerja selama proses pengukuran dan penampilan informasi.
2. Sensor MAX30102
Sensor MAX30102 berfungsi sebagai komponen utama untuk pengukuran kadar gula darah. Area pengukuran didesain khusus agar pengguna dapat meletakkan jarinya secara stabil selama proses berlangsung. Cahaya dari LED inframerah diarahkan melalui jaringan kapiler di jari pengguna, lalu photodiode akan menangkap cahaya yang dipantulkan atau diteruskan.
3. Box Project
Di dalam box terdapat beberapa komponen utama, yaitu LCD 16x2 I2C, NodeMCU ESP32, dan push button. LCD berfungsi sebagai tampilan hasil pembacaan kadar gula darah secara langsung setelah proses pengukuran selesai. NodeMCU ESP32 berperan sebagai otak sistem yang memproses data dari sensor MAX30102, melakukan kalibrasi, dan mengirimkannya melalui komunikasi MQTT.

2.1.5 Perancangan Software

Perancangan sistem didesain untuk memfasilitasi pengambilan data secara otomatis dari sensor oleh

Mikrokontroler ESP32 yang terhubung melalui WiFi, kemudian mengirimkan hasil pembacaan melalui platform Telegram dan website. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, dilanjutkan dengan pembacaan data dari sensor. Jika data terdeteksi, dilakukan perhitungan rata-rata dari data PPG yang dibaca oleh sensor. Hasil akhir dari perhitungan ini akan dikonversi menjadi kadar gula darah yang ditampilkan pada perangkat LCD serta disebarluaskan melalui Telegram dan website. Flowchart perancangan software ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 6 Flowchart Perancangan Software

Perancangan bot Telegram dimulai dengan mencari akun BotFather melalui kotak pencarian. Setelah menemukan akun tersebut, tekan tombol start untuk memulai. Kemudian, akan muncul berbagai fitur yang tersedia di BotFather, seperti membuat bot baru atau mengedit bot yang sudah ada. Pilih opsi "/newbot" untuk membuat bot baru, dan pengguna akan diminta untuk menentukan nama bot yang ingin dibuat. Selanjutnya, pengguna harus memasukkan username untuk bot tersebut. Setelah proses ini selesai, bot akan berhasil dibuat, dan BotFather akan mengirimkan kode akses yang diperlukan untuk menghubungkan bot Telegram dengan source code di Python IDE.

2.2 Prosedur Pengambilan Sampel dan Kalibrasi Prototipe

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan dua metode, yaitu alat glukometer invasive sebagai nilai pembanding dan prototipe alat non-invasive berbasis sensor optik (MAX30102). Setiap kali pengambilan sampel dilakukan, prototipe akan melalui tahapan kalibrasi ulang secara berkala guna memaksimalkan akurasi hasil pembacaan. Kalibrasi ini juga mencakup evaluasi terhadap komponen perangkat keras dan perangkat lunak dari prototipe untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kesalahan pengukuran atau deviasi sinyal yang tidak sesuai selama periode pengujian (Amanika, 2024).

Perbandingan hasil pembacaan antara alat invasive dan prototipe non-invasive dituangkan dalam bentuk tabel, yang mencantumkan nilai Gula Darah (mg/dL) hasil glukometer serta Nilai IR Sensor dari prototipe. Proses konversi data dilakukan menggunakan metode regresi linear sederhana dengan bantuan perangkat lunak

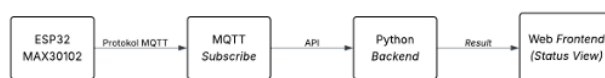
Microsoft Excel, untuk menemukan model hubungan matematis antara kedua variabel tersebut. Sebelum proses validasi dan analisis lanjutan, seluruh data dikumpulkan secara sistematis untuk memastikan tidak terdapat anomali. Setiap set data yang baru diperoleh juga akan diuji terhadap model regresi yang dihasilkan sebelumnya, dan jika perlu, dilakukan penyesuaian ulang (recalibration) untuk menjaga konsistensi performa alat selama proses pengembangan.

2.3 Perancangan Uji Akurasi Alat

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari prototipe alat ukur non-invasive yang dirancang terhadap hasil pengukuran dari alat ukur konvensional atau invasive sebagai acuan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana tingkat akurasi alat non-invasive dibandingkan dengan alat referensi yang telah terstandarisasi. Nilai akurasi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut: (3.1) Tabel 3.2 akan digunakan untuk mencatat hasil pengukuran kadar gula darah dari alat non-invasive yang dikembangkan, kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari alat ukur invasive (glukometer) menggunakan persamaan 3.1. Setiap sampel akan diuji sebanyak lima kali secara berurutan untuk memperoleh data yang dapat digunakan dalam perhitungan rata-rata dan akurasi. Nilai akurasi dihitung berdasarkan selisih relatif antara hasil pengukuran alat non-invasive dan nilai referensi invasive. Meskipun pada tahap ini tabel masih belum terisi, keberadaannya sangat penting sebagai format dokumentasi dan analisis hasil pengujian pada Bab IV nanti. Pengisian tabel akan dilakukan setelah prototipe diuji secara langsung di lapangan atau pada skenario simulasi yang telah ditentukan.

2.5 Integrasi Sistem dengan Backend dan K-Nearest Neighbor

Sistem pengukuran kadar gula darah non-invasive yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur mandiri, tetapi juga telah diintegrasikan dengan sistem backend yang dilengkapi dengan algoritma klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN). Integrasi ini bertujuan untuk memungkinkan proses klasifikasi status kadar gula darah secara otomatis, sehingga hasil pengukuran dapat langsung dikonversi menjadi informasi status kesehatan yang lebih mudah dipahami pengguna, seperti rendah, normal, atau tinggi. Gambar 3.9 berikut menunjukkan diagram alur sistem secara menyeluruh, mulai dari alat non-invasive hingga ke tampilan hasil klasifikasi di antarmuka pengguna.



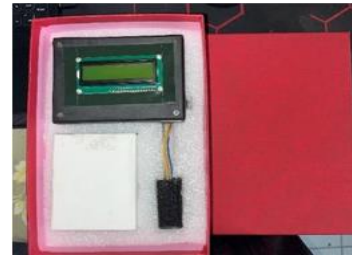
Gambar 7 Diagram Alur system

Gambar 7 menjelaskan Komunikasi antara alat dan sistem backend dilakukan melalui protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT). Setelah alat melakukan pembacaan kadar gula darah, data dikemas dalam format JavaScript Object Notation (JSON) yang berisi informasi kadar gula, user ID, dan timestamp. Data ini dikirimkan dari ESP32 ke server Laravel yang bertindak sebagai jembatan antar sistem. Laravel kemudian meneruskan data tersebut ke backend Python menggunakan framework Flask, di mana model KNN dijalankan. Setelah proses klasifikasi dilakukan oleh model, hasil status kadar gula darah dikirimkan kembali ke Laravel dan ditampilkan pada antarmuka pengguna melalui halaman website berbasis Blade template engine. Gambar 4.1 berikut menunjukkan diagram alur sistem secara menyeluruh, mulai dari alat non-invasif hingga ke tampilan hasil klasifikasi di antarmuka pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan

Perancangan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Komponen perangkat keras terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor MAX30102 yang berfungsi untuk membaca nilai sinyal inframerah (IR) dari jari pengguna, serta LCD 16x2 I2C yang digunakan untuk menampilkan hasil estimasi kadar gula darah secara langsung di alat. Sedangkan pada sisi perangkat lunak, digunakan Thonny IDE untuk pemrograman mikrokontroler dengan bahasa MicroPython, serta sistem backend berbasis Laravel sebagai server untuk menerima data pengukuran melalui protokol MQTT. Website monitoring digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan kadar gula darah secara real-time. Perancangan sistem ini dilakukan dalam dua tahap: rangkaian awal dan rangkaian akhir. Pada rangkaian awal, sistem hanya mengambil 34 data mentah berupa nilai IR dan RED dari sensor MAX30102. Data ini kemudian dibandingkan dan dikalibrasikan terhadap hasil pengukuran kadar gula darah dari alat glukometer invasif untuk membentuk model regresi linear. Pada rangkaian akhir, sistem sudah mampu mengubah hasil pembacaan nilai IR menjadi estimasi kadar gula darah dalam satuan mg/dL menggunakan model regresi yang telah dikalibrasi. Hasil akhir ini kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirim ke API Laravel untuk diproses dan ditampilkan pada halaman monitoring berbasis web. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit utama pengolah data dan pengirim informasi ke server, serta sensor MAX30102 yang berfungsi mendeteksi intensitas cahaya inframerah (IR) dan merah (RED) yang dipantulkan dari jaringan kapiler pada jari pengguna. Selain itu, digunakan juga LCD 16x2 I2C sebagai media tampilan hasil estimasi kadar gula darah secara langsung dari alat. Gambar 7 merupakan tampilan hardware.



Gambar 7 Tampilan Keseluruhan Hardware

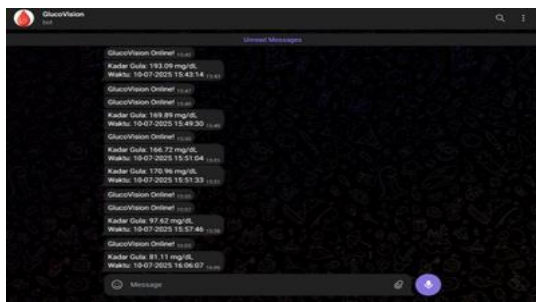
3.1.2 Hasil Perancangan Software

Tampilan software pada perangkat prototipe ditampilkan melalui LCD 16x2 I2C dan notifikasi otomatis yang dikirimkan ke aplikasi Telegram. LCD digunakan untuk menampilkan hasil estimasi kadar gula darah secara langsung setelah proses pembacaan dan kalibrasi selesai dilakukan oleh mikrokontroler ESP32. Informasi yang ditampilkan pada LCD bersifat singkat namun jelas, yaitu berupa nilai kadar gula darah dalam satuan mg/dL, serta status koneksi WiFi dan deteksi jari. Selain itu, sistem juga mengirimkan notifikasi ke akun Telegram pengguna berupa nilai hasil pengukuran disertai waktu pengambilan sampel. Gambar 8 merupakan tampilan LCD dan Telegram.



Gambar 8 Tampilan LCD

Tampilan pada alat ditampilkan melalui layar LCD yang berfungsi sebagai media utama untuk menyampaikan informasi langsung kepada pengguna secara real-time. Informasi yang ditampilkan pada LCD bersifat dinamis dan informatif, mencakup beberapa indikator penting yang berkaitan dengan status operasional alat. Salah satu informasi pertama yang ditampilkan adalah status koneksi Wi-Fi, di mana alat akan secara otomatis menampilkan apakah perangkat berhasil terhubung ke jaringan internet atau tidak. Indikator ini penting karena seluruh sistem pengiriman data ke platform IoT seperti Telegram dan website berbasis MQTT sangat bergantung pada koneksi internet. Tampilan monitoring via Telegram ditunjukkan pada Gambar 9



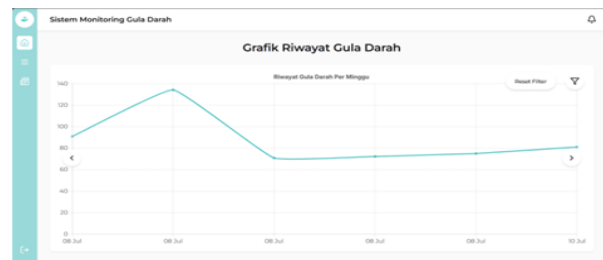
Gambar 9
Tampilan Monitoring Via Telegram

Tampilan pesan yang dikirim ke Telegram pada Gambar 9 dibuat sederhana dan informatif, berisi dua komponen utama, yaitu nilai kadar gula darah, dan waktu pengukuran. Nilai ditampilkan dalam satuan mg/dL. Informasi waktu pengukuran ditampilkan dalam format tanggal dan jam. Tampilan monitoring selanjutnya pada website dirancang sebagai dashboard monitoring interaktif berbasis Laravel yang menampilkan hasil pengukuran kadar gula darah secara real-time. Data dikirimkan langsung dari perangkat ESP32 melalui protokol MQTT dan diteruskan ke endpoint. Website ini terdiri dari tiga halaman utama. Halaman pertama menyajikan grafik tren kadar gula darah yang ditampilkan secara dinamis berdasarkan waktu pengambilan sampel, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau fluktuasi nilai gula darah dari waktu ke waktu. Grafik ini membantu pengguna dan tenaga medis dalam mengambil keputusan cepat berdasarkan pola perubahan yang terjadi. Tampilan website ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Halaman Login Website

Pengguna akan terlebih dahulu diarahkan pada halaman login seperti Gambar 10 untuk memasukkan username dan password yang telah didaftarkan sebelumnya. Sistem juga menyediakan fitur pendaftaran akun baru bagi pengguna yang belum memiliki akun, sehingga mereka dapat mengakses layanan pemantauan secara personal dan aman. Setelah berhasil login, pengguna akan diarahkan menuju tampilan dashboard utama yang terdiri dari tiga bagian utama yang saling terintegrasi.



Gambar 11 Tampilan Dashboard 1

Website Dashboard 1 pada Gambar 11 menampilkan grafik kadar gula darah pengguna yang bersifat interaktif. Grafik ini dirancang untuk memudahkan proses pemantauan tren gula darah dalam rentang waktu tertentu, yaitu per minggu, per bulan, dan per tahun. Pengguna juga dapat melakukan filter atau pemilihan rentang waktu sesuai kebutuhan, sehingga dapat melihat fluktuasi dan kecenderungan kondisi gula darah secara lebih spesifik. Gambar 12 adalah Tampilan Dashboard 2 Website

No	Tanggal	Waktu	Kadar Gula Darah	Rekomendasi Kesehatan	Status
1	08 July 2025	10:48	72,8	Jaga pola makan sehat, rutin olahraga, dan cek gula darah.	Normal
2	08 July 2025	10:47	70,89	Makanlah camilan manis seperti madu, atau buah, lalu istirahat sebentar. Masak makanan.	Tinggi
3	08 July 2025	10:46	104,29	Kurangi makanan manis, perbanyak air putih, dan lakukan aktivitas ringan.	Tinggi
4	08 July 2025	10:45	103,89	Jaga pola makan sehat, rutin olahraga, dan cek gula darah.	Normal
5	28 June 2025	10:14	104,79	Kurangi makanan manis, perbanyak air putih, dan lakukan aktivitas ringan.	Tinggi
6	26 June 2025	10:13	103,89	Kurangi makanan manis, perbanyak air putih, dan lakukan aktivitas ringan.	Tinggi

Gambar 12 Tampilan Dashboard 2 Website

Dashboard 2 pada Gambar 12 menyajikan data kadar gula darah dalam bentuk tabel yang lebih rinci. Tabel ini berisi waktu dan tanggal pengukuran, hasil kadar gula darah, rekomendasi kesehatan, serta status gula darah apakah normal, tinggi, atau rendah. Selain itu, pengguna juga dapat mengisi biodata pribadi secara lengkap, seperti nama, jenis kelamin, berat badan, usia, dan riwayat keluarga diabetes, yang berfungsi sebagai basis data untuk personalisasi sistem serta mendukung akurasi rekomendasi kesehatan yang ditampilkan. Gambar 13 adalah Tampilan Dashboard 3



Gambar 13 Tampilan Dashboard 3

Website Dashboard 3 pada Gambar 13 berfungsi sebagai media edukasi yang berisi penjelasan mengenai apa itu

diabetes, penyebab dan dampaknya, serta penekanan pentingnya melakukan pengukuran kadar gula darah secara berkala dan monitoring yang konsisten. Tujuannya adalah untuk meningkatkan pemahaman pengguna terhadap kondisi kesehatan mereka, serta mendorong perilaku hidup sehat sebagai bagian dari pencegahan dan pengendalian diabetes secara mandiri.

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini bertujuan untuk melakukan kalibrasi sensor MAX30102 agar mampu menghasilkan estimasi kadar gula darah secara non-invasif dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data diperoleh dari dua sumber utama, yaitu sinyal infrared (IR) yang dibaca oleh sensor dan nilai referensi kadar gula darah yang diukur menggunakan alat glukometer invasif. Setiap sesi pengambilan data dilakukan dengan meletakkan jari pengguna pada sensor MAX30102 untuk merekam nilai sinyal IR, sementara kadar gula darah aktual diukur menggunakan glukometer konvensional sebagai nilai pembanding. Kedua nilai tersebut dicatat secara bersamaan sebagai satu pasang data. Dalam total proses ini, diperoleh sebanyak 232 pasang data yang terdiri dari intensitas sinyal IR dan kadar gula darah dalam satuan mg/dL. Tabel 1 merupakan tabel pengambilan data kalibrasi sensor. Tabel 1 adalah pengambilan data kalibrasi sensor

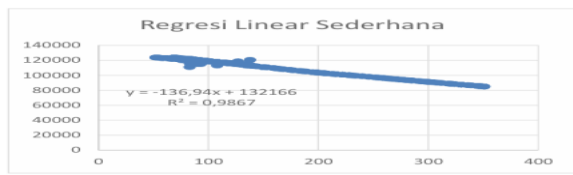
Tabel 1 Pengambilan Data Kalibrasi Sensor

No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor	No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor
1	273	94560	29	312	89720
2	144	111972	30	348	85420
3	78	122380	31	189	105120
4	330	87620	32	351	85040
5	216	101600	33	90	120420
6	93	120025	34	111	117240
7	183	105990	35	204	103140
8	255	96920	36	309	90120
9	114	116800	37	186	105510
10	318	89000	38	291	92320
11	261	96100	39	297	91580
12	345	85800	40	285	93040
13	150	111000	41	270	94950
14	321	88680	42	282	93400
15	132	113880	43	195	104240
16	246	98050	44	198	103880
17	126	114910	45	207	102700
18	84	121472	46	276	94200
19	177	106850	47	324	88320
20	258	96560	48	339	86560
21	129	114405	49	348	85420
22	198	103880	50	69	123921
23	279	93800	51	108	117690
24	105	118105	52	222	100870
25	267	95300	53	135	113372
26	336	86900	54	330	87620
27	240	98800	55	228	100200
28	294	91900	56	117	116382

No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor	No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor
117	115	117280	146	100	118500
118	121	116440	147	115	116960
119	125	116010	148	133	114200
120	130	114900	149	106	117860
121	134	114550	150	124	115580
122	136	113840	151	135	113710
123	139	113200	152	84	121450
124	85	121600	153	110	117380
125	72	122954	154	138	113920
126	78	122180	155	113	116900
127	74	122732	156	99	119210
128	119	116572	157	108	113115
129	104	117960	158	83	111115
130	133	114300	159	138	120656
131	92	120080	160	127	116400
132	100	118410	161	127	115103
133	97	119040	162	91	120201
134	110	117480	163	89	115430
135	98	118820	164	85	121687
136	109	117650	165	91	120129
137	84	121912	166	79	121984
138	122	115660	167	72	121509
139	112	117150	168	82	121662
140	96	119520	169	87	121190
141	103	118330	170	87	120689
142	137	113890	171	83	116279
143	91	120110	172	74	122827
144	95	119680	173	90	119816
145	102	118700	174	86	120704

No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor	No	Gula Darah (mg/dL)	Nilai IR Sensor
183	94	119809	208	99	119381
184	78	122553	209	91	120680
185	96	119125	210	95	119556
186	92	120657	211	78	122135
187	88	119555	212	79	122185
188	77	122236	213	82	121390
189	82	121789	214	90	115183
190	93	115057	215	88	119653
191	77	122387	216	88	121022
192	97	119798	217	114	117144
193	86	120894	218	134	114251
194	84	121653	219	123	115695
195	84	121231	220	134	114234
196	95	119191	221	119	115834
197	98	119364	222	127	118766
198	75	122010	223	109	117592
199	90	120443	224	152	110918
200	74	122361	225	159	109740
201	84	121564	226	122	116108
202	89	120680	227	118	116074
203	73	122855	228	135	113762
204	84	121144	229	107	117607
205	80	122030	230	135	113034
206	86	120659	231	123	115354
207	85	120306	232	131	114373

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada Tabel 1, diperoleh hubungan antara nilai IR (infrared) dari sensor MAX30102 dengan kadar gula darah yang diukur menggunakan glukometer invasif. Nilai kadar glukosa dalam darah memengaruhi besarnya sinyal IR yang terdeteksi oleh sensor. Semakin tinggi kadar gula darah seseorang, maka nilai IR yang terbaca oleh sensor cenderung semakin kecil. Hal ini terjadi karena glukosa dalam darah menyerap lebih banyak cahaya inframerah dan menghasilkan hamburan cahaya yang lebih sedikit, sehingga jumlah cahaya yang dipantulkan kembali ke photodiode menjadi lebih rendah. Untuk membentuk model estimasi kadar gula darah, digunakan metode regresi linear sederhana seperti pada Gambar 14.



Gambar 14 Chart Regresi Linear Sederhana

Untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antara nilai sinyal inframerah (IR) yang dihasilkan oleh sensor MAX30102 dengan kadar gula darah, dilakukan proses regresi linear sederhana berdasarkan seluruh data pengambilan sampel yang telah dikumpulkan selama satu bulan. Sebanyak 232 data digunakan dalam analisis ini, dengan nilai IR sebagai variabel independen (X) dan nilai kadar gula darah hasil glucometer sebagai variabel dependen (Y). Hasil regresi ditampilkan pada Gambar 4.8, di mana sumbu X merepresentasikan nilai IR dari sensor, dan sumbu Y menunjukkan kadar gula darah dalam satuan mg/dL. Dari hasil perhitungan, diperoleh persamaan regresi linear $y = 136,94x + 132166$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9867, yang menunjukkan tingkat kecocokan model yang sangat tinggi. Ini berarti bahwa hampir seluruh variasi nilai kadar gula darah dapat dijelaskan oleh perubahan nilai IR sensor. Model regresi ini selanjutnya diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32 untuk melakukan perhitungan otomatis terhadap kadar gula darah berdasarkan pembacaan sinyal IR secara real-time.

3.3 Uji Validasi Alat

Untuk mengevaluasi performa alat pengukur kadar gula darah non-invasif yang dikembangkan dalam penelitian ini, dilakukan serangkaian uji validasi guna memastikan tingkat akurasi alat berada dalam batas yang dapat diterima secara klinis. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari alat non-invasif terhadap nilai referensi yang diperoleh melalui metode invasif menggunakan glukometer. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur sejauh mana hasil alat non-invasif mendekati nilai referensi, serta untuk menilai konsistensi hasil melalui pengulangan pengukuran. Setiap sampel diuji sebanyak lima kali secara non-invasif, dan nilai rata-rata dari kelima percobaan tersebut digunakan sebagai representasi hasil alat. Akurasi kemudian dihitung berdasarkan selisih antara nilai rata-rata non-invasif dan hasil invasif. Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabel Uji Validasi Alat

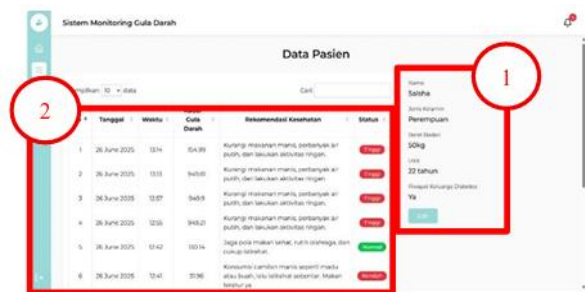
Usia	Gula Darah Invasive	Gula Darah Non-Invasive					Rata-rata Pembacaan (%)	Akurasi pembacaan (%)
	(mg/dL)	1	2	3	4	5		
22	147	100	100	100	105	107	102	69,7
28	84	66	88	75	77	73	76	90,2
52	154	198	198	198	196	196	197	71,9
24	98	115	101	104	119	95	107	91
55	171	137	141	133	137	135	137	79,9
Rata-rata								80,5

Pengujian pada Tabel 2 dilakukan untuk menilai akurasi alat pengukur kadar gula darah non-invasif yang

dikembangkan, dengan cara membandingkan hasil pembacaannya terhadap nilai referensi dari alat invasif (glukometer). Setiap sampel diuji sebanyak lima kali secara non-invasif untuk memperoleh rata-rata nilai pengukuran. Nilai rata-rata tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai referensi untuk menghitung akurasi berdasarkan selisih relatif. Tujuan pengujian ini adalah 45 mengevaluasi seberapa dekat hasil alat terhadap nilai aktual dan menilai konsistensinya dalam pengukuran berulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki performa yang masih perlu ditingkatkan, dengan akurasi berkisar antara 69,7% hingga 91,0%. Rata-rata hasil pengukuran non-invasif dari tiap sampel menunjukkan penyimpangan yang cukup besar terhadap nilai acuan invasif, terutama pada kadar gula darah yang tinggi. Misalnya, pada sampel dengan kadar gula darah 154 mg/dL, rata-rata pembacaan alat adalah 197 mg/dL, menghasilkan akurasi sebesar 71,9%. Sementara itu, akurasi tertinggi ditemukan pada sampel dengan kadar gula darah 98 mg/dL, yaitu sebesar 91,0%, dengan rata-rata pembacaan 107 mg/dL.

3.4 K-Nearest Neighbor dalam Sistem

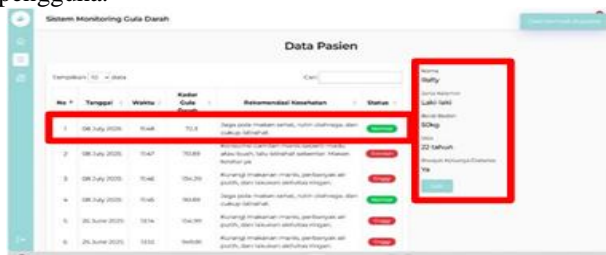
KNN berfungsi untuk mengklasifikasikan hasil pengukuran kadar gula darah ke dalam status kesehatan berdasarkan sejumlah atribut pengguna yang telah tersimpan di sistem. Data yang digunakan sebagai input oleh model KNN mencakup kadar gula darah dari alat, serta atribut seperti usia, jenis kelamin, berat badan, dan riwayat keluarga. Proses klasifikasi dilakukan dengan membandingkan data input terhadap data latih, kemudian menentukan kelas berdasarkan mayoritas k tetangga terdekat dalam ruang fitur. Dengan demikian, KNN berperan sebagai sistem pengambilan keputusan (decision support system) dalam keseluruhan sistem monitoring. Model ini mengubah angka pengukuran menjadi status, seperti "normal", "tinggi", atau "rendah", sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi tubuh dan mengambil tindakan lanjutan bila diperlukan. Gambar 15 menampilkan peran KNN pada sistem monitoring gula darah.



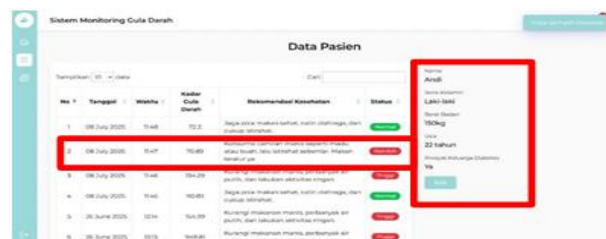
Gambar 15 Peran KNN Pada Sistem

Gambar 15 merupakan tampilan antarmuka dari sistem monitoring gula darah berbasis website yang dirancang untuk merekam dan mengklasifikasikan data pasien

berdasarkan hasil pengukuran non-invasive. Point 1 menunjukkan form input data pasien, yang diisi langsung oleh pengguna melalui halaman website. Data yang dimasukkan meliputi nama, jenis kelamin, berat badan, usia, serta riwayat keluarga diabetes. Setelah seluruh data terisi, informasi ini akan dikirim ke server backend berbasis Flask (Python), tempat algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) digunakan untuk melakukan klasifikasi terhadap kondisi pasien berdasarkan hasil kadar gula darah yang telah terukur. Point 2 merupakan tabel hasil klasifikasi yang menampilkan data lengkap dari pengukuran kadar gula darah pasien. Tabel ini menyajikan tanggal dan waktu pengukuran, nilai kadar gula darah, hasil klasifikasi status, serta rekomendasi kesehatan yang dihasilkan secara otomatis berdasarkan hasil klasifikasi tersebut. Warna latar pada kolom status memberikan indikator visual cepat bagi pengguna untuk mengetahui kondisi masing-masing pengukuran. Gambar 16 dan 17 merupakan pengujian model KNN pada sistem untuk mengklasifikasikan hasil gula darah berdasarkan biodata pengguna.



Gambar 16 Pengujian KNN pada user berat badan 50kg



Gambar 17 Pengujian KNN pada user berat badan 150kg

Pada Gambar 16, biodata User 1 dengan berat badan 50 kg dan kadar gula darah sebesar 72 mg/dL menghasilkan status klasifikasi normal. Namun, pada Gambar 17, saat biodata User 1 diubah dengan berat badan ekstrem sebesar 150 kg (kategori obesitas) dan kadar gula darah 71 mg/dL, sistem memberikan hasil klasifikasi rendah. Perbedaan hasil klasifikasi ini menunjukkan bahwa model KNN tidak hanya mempertimbangkan nilai kadar gula darah secara tunggal, tetapi juga memperhitungkan variabel lain seperti berat badan dalam menentukan status kesehatan pengguna.

3.5 Analisis dan Pembahasan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengembangkan sebuah alat pengukur kadar gula darah non-invasive berbasis mikrokontroler ESP32, yang

menggunakan sensor MAX30102 dengan prinsip kerja photoplethysmography (PPG) [7]. Sensor ini memanfaatkan sinar inframerah untuk mendeteksi variasi volume darah dalam jaringan kapiler pada jari pengguna. Data sinyal inframerah (IR) yang ditangkap oleh sensor menjadi masukan utama dalam proses estimasi kadar gula darah secara non-invasive. Untuk mengubah sinyal IR menjadi nilai estimasi kadar gula darah dalam satuan mg/dL, digunakan pendekatan regresi linear sederhana. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengumpulkan 232 pasang data, masing-masing terdiri dari pembacaan nilai IR dan hasil pengukuran kadar gula darah menggunakan alat glukometer invasive sebagai acuan. Hasil kalibrasi menghasilkan model matematis dengan persamaan regresi $y = -136,94x + 132166$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9867$, yang menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat antara nilai IR dan kadar gula darah. Persamaan ini ditanamkan ke dalam sistem mikrokontroler untuk digunakan dalam penghitungan otomatis kadar gula darah. Spesifikasi pembacaan alat melibatkan pengambilan data sebanyak lima kali untuk setiap subjek, dengan proses filtrasi sinyal IR menggunakan filter low-pass, median, dan moving average. Estimasi kadar gula darah kemudian dihitung dari nilai IR hasil filter tersebut. Hasil estimasi ditampilkan melalui layar LCD 16x2 dan dikirim melalui koneksi Wi-Fi ke server MQTT. Alat juga terhubung ke Telegram untuk pengiriman notifikasi cepat dan ke dashboard Laravel berbasis web untuk monitoring dalam bentuk tabel dan grafik mingguan, bulanan, serta tahunan. Pada tahap validasi, lima kali pengukuran dilakukan secara non-invasive untuk setiap subjek, lalu dibandingkan dengan nilai referensi dari glukometer. Hasil pengujian terhadap lima pengguna menunjukkan bahwa alat mampu memberikan akurasi pengukuran yang cukup baik, dengan kisaran antara 71,9% hingga 91,0%, dan rata-rata akurasi keseluruhan sebesar 80,5%. Misalnya, pada sampel dengan kadar gula darah referensi 84 mg/dL, alat memberikan rata-rata pembacaan sebesar 76 mg/dL, dengan akurasi 90,2%. Sementara itu, akurasi terendah ditemukan pada sampel dengan kadar gula darah 154 mg/dL, dengan pembacaan rata-rata sebesar 197 mg/dL, sehingga diperoleh akurasi sebesar 71,9%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang masih perlu disempurnakan agar dapat menyamai nilai akurasi metode invasive, sehingga nantinya alat ini dapat digunakan sebagai alternatif pengujian kadar gula darah pasien DM tanpa harus tusuk jarum. Meskipun nilai akurasi masih dibawah penelitian sebelumnya [2][14] namun dari beberapa pengujian kadar gula darah pasien menunjukkan nilai yang mendekati pengukuran dengan metode invasive.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa alat ini mampu mendeteksi intensitas cahaya inframerah dari jari pengguna, mengolah data secara otomatis menggunakan persamaan regresi linear $y = -136,94x + 132166y$, serta menampilkan hasil pengukuran

secara real-time melalui LCD, aplikasi Telegram, dan website monitoring. Sistem yang dirancang telah berjalan secara optimal dan sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 80,5% jika dibandingkan dengan alat glukometer invasive. Meskipun akurasi bervariasi antar individu, hasil rata-rata pengukuran non-invasive menunjukkan estimasi yang cukup mendekati nilai referensi, menandakan potensi yang baik untuk pemantauan kadar gula darah secara praktis dan non-invasive. Alat ini dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor yang lebih akurat sehingga data pengujian lebih konsisten menunjukkan hasil mendekati data dengan metode invasive.

Referensi

- [1] Aditya, L., Dinda Wahyuni, R. (2020). RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KADAR OKSIGEN NON- INVASIVE MENGGUNAKAN SENSOR MAX30100. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 8(2).
- [2] Amanika, V. (2024). RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR GULA DALAM DARAH NON-INVASIVE MENGGUNAKAN ESP32 DAN BLYNK. *Rabit: Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Univrab*, 9(2), 361–371. <https://doi.org/10.36341/rabit.v9i2.4503>.
- [3] Amir, S. M. J., Wungouw, H., & Pangemanan, D. (2015). KADAR GLUKOSA DARAH SEWAKTU PADA PASIEN DIABETES MELITUS TIPE 2 DI PUSKESMAS BAHU KOTA MANADO. In *Jurnal e-Biomedik (eBm)* (Vol. 3, Issue 1).
- [4] Atmajaya, D., Ode, W., Asnaniar, S., Haris, A. PENDETEKSI KADAR GULA DARAH BERBASIS MIKROKONTROLER DI PUSKESMAS SAMATA GOWA INFO ARTIKEL ABSTRAK. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 8(2), 215–219.
- [5] Aulia, S. O., Wirasa, W., & Yugi Hermawan, F. (2022). Design of A Non-Invasive Blood Sugar Measuring Device Based on Arduino Uno. *SANITAS: Jurnal Teknologi Dan Seni Kesehatan*, 13(1), 21–32. <https://doi.org/10.36525/sanitas.2022.3> Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar
- [6] Ikromi, A. H. (2012). RANCANG BANGUN SENSOR GLUKOSA DARAH SECARA NON-INVASIVE.
- [7] Pratiwi, C. A., dkk. (n.d.). Akuisisi Data Sinyal Photoplethysmograph (PPG) Menggunakan Photodiode.
- [8] Putra, W. L., dkk. (2023). Alat Pengukur Kadar Gula Darah Non-Invasive Berbasis Arduino.
- [9] Rahmaning Gusti, A. W., dkk. (2023). Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah, Kolesterol, dan Asam Urat Non-Invasif Berbasis Internet of Things (IoT).
- [10] Sulistiyowati, W. (2017). Pengantar Analisis Regresi Linier dan Korelasi. Tamridho, R. (2011). Glukosa Darah dan Kaitannya dengan Diabetes. Yuliara, I. M. (2016). Analisis Korelasi dalam Statistik Penelitian. Universitas Udayana.
- [11] Yusrizal, R. (2017). Penerapan Sensor Photoplethysmograph dalam Pengukuran Kadar Gula Darah Non-Invasif. Freckmann, G., et al. (2015). Assessment of the performance of blood glucose monitoring systems according to ISO 15197:2013. ISO. (2013). ISO 15197:2013 - In vitro diagnostic test systems — Requirements for blood-glucose monitoring systems for self-testing in managing diabetes mellitus. International Organization for Standardization.
- [12] Zheng, Y., Zhan, Z., Chen, Q., Chen, J., Luo, J., Cai, J., Zhou, Y., Chen, K., & Xie, W. (2024). Highly Sensitive Perovskite Photoplethysmography Sensor for Blood Glucose Sensing Using Machine Learning Techniques. *Advanced Science*, 11(43), 2405681.
- [13] E. Susana *et al.*, “Non-invasive classification of blood glucose level based on photoplethysmography using time-frequency analysis,” *Information*, vol. 14, no. 3, p. 145, 2023.
- [14] M. Zeynali *et al.*, “Non-invasive blood glucose monitoring using PPG signals with deep learning models,” *Scientific Reports*, vol. 15, p. 581, 2025.
- [15] J. Chu *et al.*, “Improving non-invasive glucose estimation with calibrated photoplethysmography,” *Communications Medicine*, vol. 5, p. 530, 2025.