

Rancang Bangun Sistem Monitoring Gula Darah *Non-Invasif* Berbasis *Near Infrared Sensor*

Mifta Nur Farid^{1*}, Muhamad Alif Nugraha², Happy Aprillia³

^{1*,2,3}Institut Teknologi Kalimantan

*Email: miftanurfarid@lecturer.itk.ac.id

Abstract

Diabetes is a medical condition characterized by high blood sugar levels when tested using an invasive technique involving the extraction of blood samples from patients and placing them on blood strips to measure blood sugar. The application of this technique cannot be carried out by all individuals because some people have a fear of syringes and/or blood, and also due to the expensive cost of testing. To address this issue, blood sugar measurements for all patients can be done non-invasively or without blood sampling. One study adopts the spectroscopy method using near-infrared LED sensors as a light source and photodiodes as signal receivers. These signals are then processed through a signal conditioner circuit and analyzed using regression equations on a microcontroller to produce accurate blood sugar data. The generated data will be transmitted, managed, and stored through a cloud computing system. The applied method includes device design, circuitry setup, device design, and staged testing for calibration, which is then compared to measurements using conventional devices to obtain equivalent error rates, as well as data management system implementation on the cloud computing web platform. After calibration, a regression equation is obtained to calculate output voltage and ADC values, namely $y = 0.086534665x + 74.66690527$, with an average error rate of 1.875% for blood sugar measurement devices.

Keywords: Diabetes, non-invasive blood sugar measurement, spectroscopy, cloud computing, regression equation

Abstrak

Diabetes adalah sebuah kondisi medis yang dicirikan oleh tingginya kadar gula darah saat diuji menggunakan teknik invasif yang melibatkan pengambilan sampel darah dari pasien dan penempatannya pada *blood strip* untuk mengukur gula darah. Penerapan teknik ini tidaklah bisa dilakukan oleh semua individu karena beberapa orang memiliki fobia terhadap jarum suntik dan/atau darah, dan juga karena biaya tes yang mahal. Untuk mengatasi masalah ini, pengukuran kadar gula darah pada semua pasien dapat dilakukan secara non-invasif atau tanpa pengambilan sampel darah. Salah satu penelitian mengadopsi metode spektroskopi dengan menggunakan sensor *near infrared LED* sebagai sumber cahaya dan fotodiode sebagai penerima sinyal. Sinyal-sinyal ini kemudian diolah melalui rangkaian pengondisi sinyal dan dianalisis menggunakan persamaan regresi pada mikrokontroler untuk menghasilkan data gula darah yang akurat. Data yang dihasilkan akan disampaikan, dikelola, dan disimpan melalui sistem komputasi awan (*cloud computing*). Metode yang diterapkan meliputi tahap perancangan alat, pengaturan rangkaian, desain perangkat, serta pengujian bertahap untuk kalibrasi, yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat konvensional untuk mendapatkan tingkat kesalahan yang setara, serta implementasi sistem manajemen data pada *platform web cloud computing*. Setelah melakukan kalibrasi, diperoleh persamaan regresi untuk menghitung tegangan keluaran dan nilai ADC, yaitu $y = 0.086534665x + 74.66690527$, dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 1.875% untuk alat pengukur gula darah.

Kata kunci: Diabetes, pengukuran gula darah *non-invasif*, *spektroskopi*, komputasi awan, persamaan regresi

1. Pendahuluan

Diabetes adalah kondisi kronis di mana insulin tidak dihasilkan oleh kelenjar pankreas atau tidak efisiennya insulin yang dihasilkan. Berdasarkan tingkat konsentrasi gula dalam darah, seseorang bisa dibedakan antara pengidap diabetes, prediabetes, dan kondisi normal [1]. Diabetes menjadi satu dari empat penyakit tidak menular. Selain itu, jumlah kasus dan prevalensi diabetes terus meningkat selama beberapa dekade terakhir sehingga menjadi perhatian pemimpin – pemimpin global. Indonesia menempati peringkat keempat dalam jumlah kasus diabetes. Jumlah pengidap menggapai 8,4 juta orang. Tahun 2030 mendatang, WHO memroyeksikan pengidap akan mencapai 21,3 juta [2].

Setiap keluarga perlu secara teratur memeriksakan kadar gula darah mereka sesuai dengan arahan dokter, terutama jika ada riwayat diabetes dalam keluarga, untuk mencegah kemungkinan terkena diabetes [2]. Umumnya, pengecekan kadar gula dalam darah dilakukan secara invasif di mana darah diambil dari jari pasien dan ditempatkan pada strip darah. Namun, hanya sebagian orang saja yang menjalani pemeriksaan dengan cara ini. Hal ini disebabkan oleh rasa takut akan jarum dan darah. Disamping itu, pemakaian jarum juga berisiko menyebabkan infeksi pada pasien pengidap diabetes [3].

Pada prinsipnya, gula darah diukur menggunakan sebuah perangkat yang disebut *glucometer* yang menggunakan enzim *glucose oxidase* sebagai komponen utamanya. Namun informasi yang diberikan oleh layar perangkat hanya dapat dilihat sekali saja, sehingga pencatatan harus dilakukan secara manual. Selain itu, biaya yang besar juga menjadi perhatian bagi pasien dengan ekonomi rendah yang menggunakan glucometer secara berkala sehingga pemeriksaan rutin menjadi sulit dilakukan [4]. Oleh karena itu, untuk memungkinkan pengukuran kadar gula darah bagi seluruh pasien, pendekatan non-invasif telah diadopsi di mana tidak diperlukan pengambilan sampel darah. Teknik yang dilakukan adalah memanfaatkan metode

spektroskopi inframerah untuk mengukur konsentrasi gula darah dalam bentuk cair menggunakan *near-infrared* [5], [6].

Telah dilakukan penelitian mengenai pengukuran non-invasif. Penggunaan sensor inframerah (IR) dengan panjang gelombang (λ) 1450 nm memberikan respon tegangan keluaran yang lebih baik, memiliki rentang tegangan yang lebih luas, dan menunjukkan kecenderungan tegangan keluaran yang lebih linier daripada penggunaan sensor inframerah (IR) dengan panjang gelombang (λ) 2050 nm [7]. Hal ini dikarenakan IR 2050 nm mampu menembus lebih dalam ke jaringan tubuh karena kemampuannya menyerap glukosa, namun pada panjang gelombang yang lebih tinggi ini, responsnya menjadi terlalu dalam. Penelitian lain menggunakan sensor IR dengan panjang gelombang 940 nm dan 950 nm. Sensor ini lebih umum ditemukan di wilayah Asia Tenggara. Hasilnya dari penggunaan keduanya adalah respon tegangan keluaran yang hampir linier, namun sensor 950 nm mempunyai tegangan yang stabil dan rentang yang lebih besar dibandingkan dengan sensor 940 nm [8].

Penelitian telah dilakukan menggunakan sensor IR dengan panjang gelombang (λ) 1550 nm. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *error* di rentang 4% hingga 16% [9]. Penelitian yang menggunakan sensor IR dengan panjang gelombang 1600 nm menemukan bahwa konsentrasi gula darah lebih sensitif untuk dideteksi [10]. Hal ini memberikan penjelasan mengapa terdapat *error* yang signifikan dan tegangan keluaran yang tidak stabil, karena gelombang yang tinggi pada sensor IR [7], [9]. Pada pengembangan selanjutnya digunakan sensor TCRT5000 dengan panjang gelombang 950 nm, *low pass filter*, *op-amp*, dan tanpa disertai penutup jari menghasilkan rata-rata *error* sebesar 3.023% [4]. Selain itu, hasilnya juga ditampilkan pada aplikasi komputer. Aplikasi komputer ini juga merekam biodata pasien dan menyimpannya ke dalam basis data [4]. Terakhir, penelitian yang menggunakan sensor IR dengan panjang gelombang 940 nm dan

disertai penutup jari. Hasilnya adalah rata-rata *error* sebesar 2,14% dalam mengukur gula darah [3].

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, terdapat beberapa aspek yang belum sepenuhnya dioptimalkan dalam pengembangan alat pengukur gula darah non-invasif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sensor inframerah (IR) dengan panjang gelombang 1450 nm memberikan respons tegangan keluaran yang lebih baik dibandingkan dengan sensor IR 2050 nm, namun tidak mempertimbangkan faktor ketersediaan dan kemudahan akses terhadap sensor tersebut di wilayah tertentu. Sensor dengan panjang gelombang 940 nm dan 950 nm lebih umum ditemukan di Asia Tenggara, tetapi penelitian sebelumnya hanya berfokus pada analisis karakteristik tegangan keluarannya tanpa mengeksplorasi lebih lanjut faktor eksternal seperti kondisi pencahayaan yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran.

Selain itu, penelitian yang menggunakan sensor dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1600 nm menunjukkan tingkat *error* yang cukup signifikan, berkisar antara 4% hingga 16%. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun gelombang yang lebih tinggi lebih sensitif terhadap konsentrasi gula darah, namun kestabilan tegangan keluarannya belum optimal. Pada penelitian sebelumnya, telah digunakan sensor TCRT5000 dengan panjang gelombang 950 nm tanpa penutup jari, menghasilkan rata-rata *error* sebesar 3,023%. Namun, penelitian ini tidak mengevaluasi pengaruh penggunaan penutup jari terhadap akurasi pengukuran. Penelitian lain yang menggunakan sensor 940 nm dengan penutup jari menunjukkan akurasi sebesar 97,86%, tetapi tidak mengintegrasikan sistem penyimpanan data yang dapat diakses secara fleksibel.

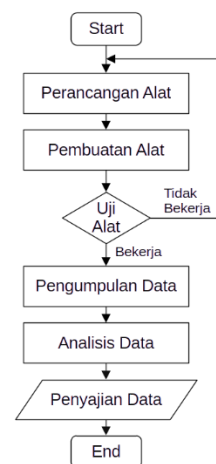
Berdasarkan permasalahan dan referensi penelitian yang telah disajikan, penelitian ini akan mengembangkan alat pengukur gula darah non-invasif menggunakan sensor near-infrared dengan panjang gelombang 950 nm.

Pemilihan sensor ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa sensor dengan panjang gelombang ini memberikan hasil yang hampir linier serta memiliki ketersediaan tinggi di wilayah Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Meskipun tingkat akurasinya tidak seoptimal sensor dengan panjang gelombang 1450 nm, sensor 950 nm telah terbukti mampu mencapai *error* sebesar 2,14% bahkan tanpa penutup jari.

Sebagai upaya untuk meningkatkan keakuratan pengukuran, penelitian ini akan melakukan pengujian terhadap penggunaan kotak penutup jari untuk mengevaluasi pengaruh kondisi gelap terhadap stabilitas dan akurasi alat. Selain itu, hasil pengukuran akan diproses dan dikategorikan dalam sistem komputasi awan, sehingga data dapat disimpan dan diakses dalam bentuk diagram plot riwayat pengukuran. Dengan sistem ini, data pasien tidak hanya terbatas pada satu komputer, tetapi dapat diakses oleh berbagai pengguna sesuai kebutuhan. Harapannya, alat ini dapat menjadi solusi yang lebih nyaman dan ekonomis bagi masyarakat, mengurangi ketakutan terhadap jarum suntik dan biaya pemeriksaan yang tinggi, serta mempermudah pihak rumah sakit dalam pencatatan dan monitoring data pasien.

2. Metodologi Penelitian

Diagram alir yang menggambarkan metodologi penelitian pada penelitian ini terdapat dalam Gambar 1.

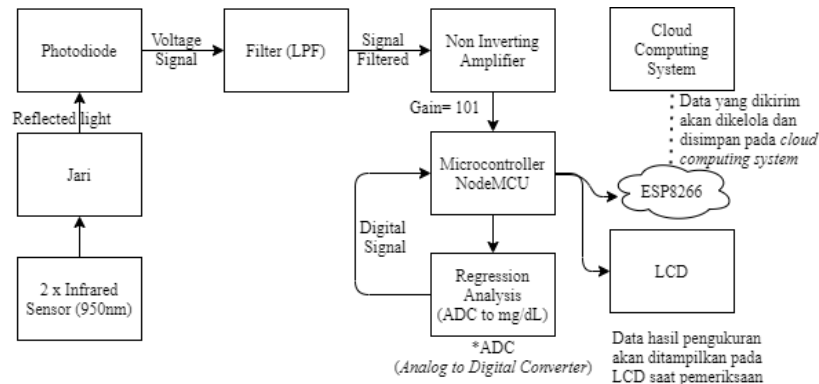


Gambar 1. Diagram alir dari metodologi penelitian yang dilakukan.

2.1. Perancangan Alat

Tahapan perancangan alat adalah tahapan perancangan sistem kerja dari alat dan

pemilihan komponen yang akan digunakan. Diagram blok sistem kerja alat ukur gula darah ditunjukkan oleh Gambar 2.



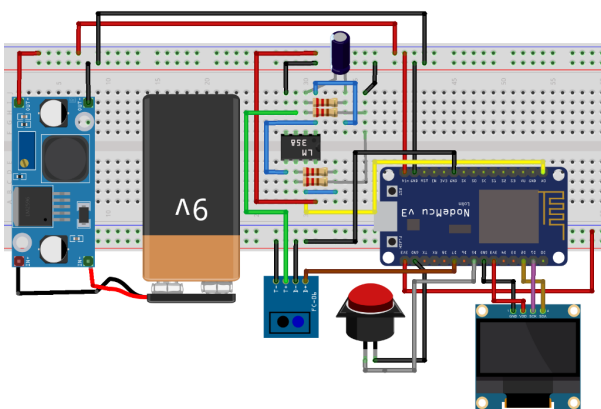
Gambar 2. Diagram blok sistem kerja alat ukur gula darah.

Berdasarkan sistem kerja alat yang ditunjukkan oleh Gambar 2, pengukuran dilakukan dengan memancarkan cahaya inframerah pada jari. Hasil spektroskopi pada jari akan diterima oleh fotodiode dan diolah dengan pengondisi sinyal berupa *filter* dan penguat tegangan [11], [12], [13]. Tegangan keluaran yang diperoleh akan diolah pada mikrokontroler dan mengubahnya menjadi nilai gula darah dengan persamaan regresi [14], [15]. Terakhir, nilai gula darah akan ditampilkan pada LCD alat, dan juga dengan ESP8266 akan dikirim pada *website cloud computing system* [14].

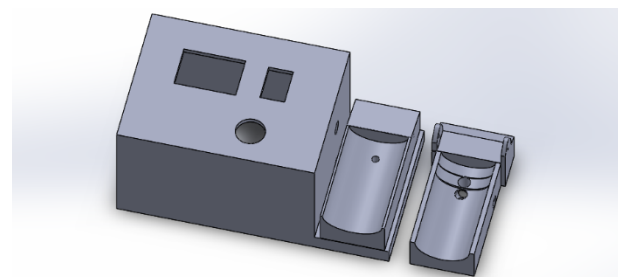
dalam pembuatan alat ukur gula darah yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam membuat alat ukur gula darah.

Bahan	Jumlah
NodeMCU V3 ESP8266	1
Sensor TCRT 5000	1
Infrared LED	2
Photodiode	1
Amplifier LM324	1
LCD	1
Modul TCRT5000	1
Modul OPT101	1
Baterai 9V	1
Resistor	5
Kapasitor	1
Button	1
Kabel Penghubung	Secukupnya
Filament	Secukupnya



Gambar 3. Wiring diagram dari alat ukur gula darah.

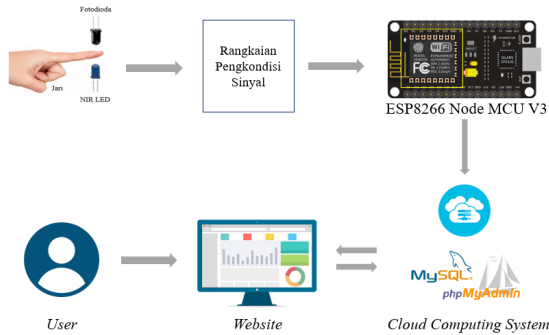


Gambar 4. Disain alat ukur gula darah.

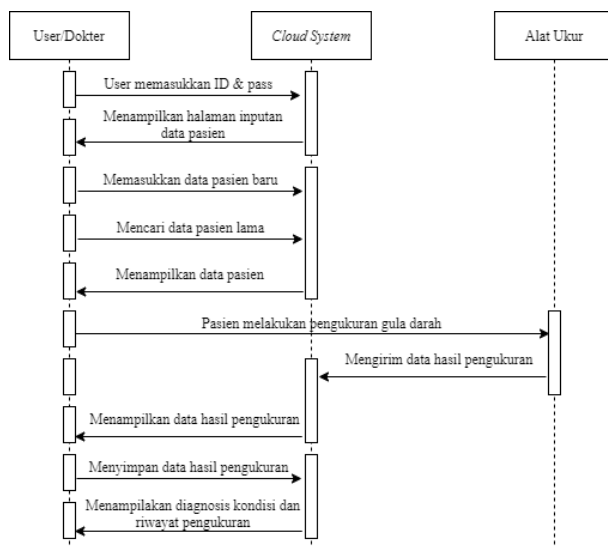
Setelah mengetahui sistem kerja alat, dapat ditentukan *wiring diagram* yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan sebagai komponen

Setelah menentukan perancangan pada alat dan komponen yang akan digunakan. Selanjutnya perancangan alat untuk

penempatan komponen-komponen yang dibuat pada *SolidWork* dengan ukuran 80 x 60 x 50 cm dan untuk *box* peletakan jari sebagai pengukuran dengan ukuran 4.5 x 2.5 x 1.5 cm seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 5. Perancangan alat terhubung ke *cloud computing system*.



Gambar 6. *Sequence diagram cloud computing system* yang dirancang.

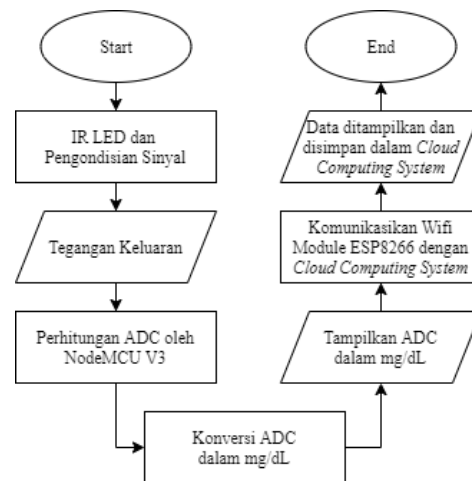
Rancangan *cloud computing system* yang akan digunakan ditunjukkan oleh Gambar 5. Sistem ini menggunakan *website* untuk menerima dan mengelola data pada *cloud computing system*. ESP8266 pada NodeMCU-V3 akan digunakan untuk mengirimkan data hasil gula darah pada *website*. *Cloud computing* bekerja untuk memproses dan menganalisis data pasien dalam kondisi normal, diabetes atau pradiabetes serta memperlihatkan data riwayat pengukuran pasien berupa diagram. *User* dapat melihat

data hasil pengukuran dan riwayat pasien melalui *website* dengan koneksi internet.

Cloud computing system yang dibuat berdasarkan *sequence diagram* yang ditunjukkan oleh Gambar 6. *Cloud computing system* akan melakukan sinkronisasi pada alat ukur gula darah. Bahasa pemrograman PHP yang digunakan dalam pembuatan *website* ini. *phpMyAdmin* digunakan untuk menampilkan dan penyimpanan *database* pasien [16], [17].

2.2. Pengujian Alat

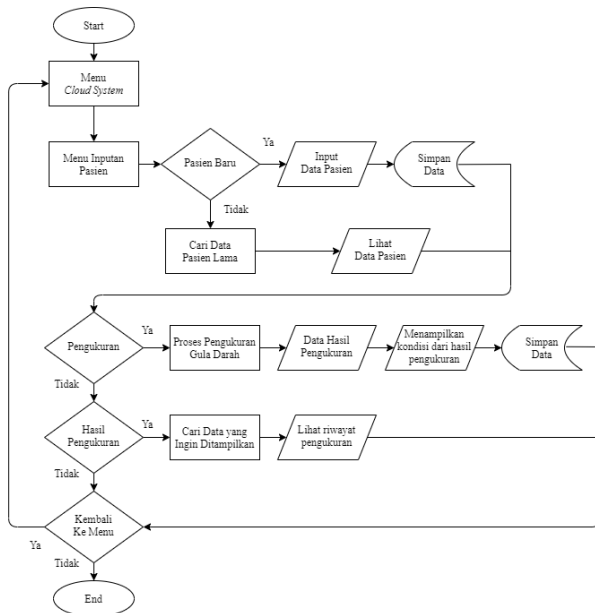
Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi dua yaitu pengujian terhadap alat ukur gula darah yang ditunjukkan oleh Gambar 7 dan pengujian terhadap *cloud computing system* ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 7. Diagram alir pengujian alat ukur gula darah.

Berdasarkan Gambar 7, pengujian alat ukur gula darah dimulai dengan pemancaran sinyal inframerah (IR) menggunakan LED, yang kemudian melewati tahap pengondisian sinyal untuk menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai. Tegangan ini diolah oleh mikrokontroler NodeMCU V3 melalui proses konversi *Analog to Digital Converter* (ADC), yang kemudian dikonversi ke satuan mg/dL sebagai hasil pengukuran kadar gula darah. Data hasil konversi ini ditampilkan secara *real-time* dan dikirim melalui modul WiFi ESP8266 ke *cloud computing system*. Di dalam sistem *cloud*, data disimpan untuk

pemantauan, analisis lebih lanjut, dan pengelolaan rekam medis digital pasien.



Gambar 8. Diagram alir pengujian cloud computing system.

Diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 8 menjelaskan proses pengujian *cloud computing system* dalam pengelolaan data pasien terkait pengukuran kadar gula darah. Proses dimulai dengan mengakses menu *Cloud System*, di mana pengguna dapat memperbarui data pasien. Jika pasien baru, maka data pasien akan dimasukkan dan disimpan, sedangkan jika pasien lama, sistem akan mencari dan menampilkan data yang sudah ada. Setelah itu, dilakukan pengukuran kadar gula darah, di mana hasil pengukuran diproses dan disimpan dalam sistem. Jika hasil pengukuran memerlukan tindakan lebih lanjut, sistem akan mencari data yang ingin dibandingkan dan menampilkan riwayat pengukuran sebelumnya. Jika tidak ada tindakan lanjut, sistem kembali ke menu utama untuk menunggu input selanjutnya atau mengakhiri proses.

2.3. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan meletakkan jari telunjuk ke dalam *box* kecil yang terdapat pada alat. Parameter yang telah

ditentukan pada tahap pengambilan data ini adalah sebagai berikut.

1. Pengukuran dilakukan dengan alat ukur penelitian dan alat ukur konvensional.
2. Pengukuran dilakukan pada 2 kondisi, saat pagi hari kondisi puasa 8-10 jam dan/atau 2 jam setelah makan siang atau malam.

Pengambilan data akan dilakukan kepada masyarakat sekitar dan Puskesmas Karang Joang. Hasil pengukuran akan dikumpulkan sebanyak mungkin untuk mendapat persamaan regresi yang baik serta selisih *error* yang kecil.

2.4. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan meliputi analisis terhadap koefisien regresi dan korelasi alat, analisis terhadap *cloud computing system*, dan yang terakhir adalah analisis keakuratan alat.

Analisis terhadap koefisien regresi dan korelasi alat dilakukan dengan membandingkan nilai gula darah yang telah diukur secara konvensional dan nilai keluaran tegangan alat penelitian yang telah dikonversi menjadi bilangan digital. Sehingga akan menghasilkan persamaan regresi dan mendapat koefisien korelasi. Koefisien dan persamaan yang didapat akan dimasukkan ke dalam pemrograman mikrokontroler agar nilai tegangan dapat terbaca menjadi nilai gula darah.

Data hasil pengukuran yang dilakukan 2 kali dengan minimal 15 variabel berbeda akan dikirim dan dikelola pada *cloud computing system*. Analisis yang dilakukan terhadap *cloud computing system* bertujuan untuk melihat hasil pengukuran yang tersimpan sesuai dengan variabel yang diuji, dapat menampilkan diagnosis kondisi berupa tabel dan grafik berdasarkan riwayat pengukuran, dan melihat *cloud computing system* dapat diakses dimanapun dan kapanpun.

Analisis keakuratan alat akan dilakukan perbandingan antara pengukuran dari alat penelitian dan alat ukur konvensional. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi

alat secara keseluruhan dengan menghitung tingkat akurasi alat. Keluaran dari analisis ini juga untuk melihat perbandingan (*error absolute* dan *mean square error*) 2 alat dari sejumlah hasil pengukuran.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Performa Alat Ukur Gula Darah

Alat ukur gula darah yang berhasil dibuat ditunjukkan oleh Gambar 9. Daerah bernomor 1 adalah tempat dimana jari pasien dimasukkan. Nomor 2 adalah tombol *on/off* untuk menyalakan dan mematikan alat uku. Nomor 3 adalah display hasil pengukuran gula darah. Nomor 4 adalah tombol untuk melakukan pengukuran gula darah.

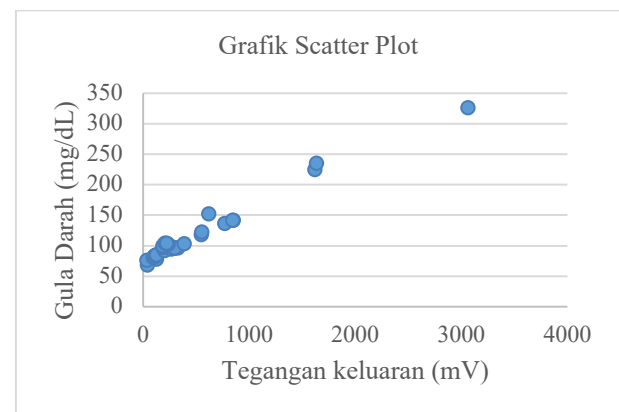


Gambar 9. Tampilan dari alat ukur gula darah yang berhasil dibuat.

Dibandingkan dengan alat ukur gula darah konvensional, alat ini memiliki keunggulan dalam hal integrasi digital dan kemampuan pemantauan berbasis *cloud*. Alat konvensional biasanya mengharuskan pengguna untuk melakukan pengukuran manual dan mencatat hasil secara terpisah, sementara alat baru ini mampu secara otomatis mengkonversi tegangan keluaran menjadi nilai gula darah melalui persamaan regresi dan menyimpan data secara digital. Selain itu, integrasi dengan sistem *Web Cloud Computing* memungkinkan penyimpanan dan akses data pasien secara

terpusat, fitur yang umumnya tidak tersedia pada alat konvensional. Namun, alat konvensional sering kali memiliki reputasi lebih tinggi dalam hal keandalan dan penggunaan luas di fasilitas kesehatan, sehingga alat baru ini perlu melalui uji klinis lebih lanjut untuk memastikan konsistensi dan keakuratannya dalam berbagai kondisi penggunaan. Dengan demikian, inovasi ini memberikan solusi yang lebih modern dan efisien, meskipun tetap perlu disandingkan dengan keunggulan alat konvensional dalam hal presisi dan penerimaan umum di kalangan medis.

Dilakukan pengambilan data tegangan keluaran dari alat ukur dan nilai gula darah asli dari para relawan. Kedua nilai yang didapat akan dianalisis sehingga mendapatkan nilai persamaan regresi. Hasil pemeriksaan terhadap puluhan relawan dengan berbagai jenis umur dan variasi gula darah ditunjukkan oleh grafik hubungan antara tegangan luaran vs. kandungan gula dalam darah di Gambar 10.



Gambar 10. Scatter plot antara kandungan gula dalam darah vs. tegangan keluaran.

Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara gula darah dan tegangan keluaran. Keeratan hubungan antara dua variabel ini dapat dilihat dengan menghitung persamaan regresi dan koefisien korelasi dari data gula darah dan tegangan keluaran. Perhitungan koefisien dari persamaan regresi (*a* dan *b*) yaitu:

$$b = \frac{30 \times 2701307 - 14549 \times 3499}{30 \times 18662789 - (14549)^2}$$

$$a = \frac{3499 - b \times 14549}{30}$$

Sehingga didapatkan persamaan regresinya yaitu:

$$y = 0.086534665x + 74.66690527$$

Sedangkan koefisien korelasinya yaitu:

$$r_{xy} = \frac{30 \times 2701307 - (14549)(3499)}{\sqrt{[30 \times 497081 - (14549)^2]}} = 0.9888329406$$

Sehingga nilai determinasinya adalah:

$$r^2 = 0.976795015$$

Pada nilai determinasi menunjukkan bahwa nilai mendekati 1, artinya variabel-variabel bebas memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel-variabel terikat. Ini menunjukkan, persamaan regresi yang didapat dapat menjadi acuan persamaan untuk mendapatkan nilai gula darah pada alat ukur penelitian. Nilai persamaan regresi yang didapatkan akan dimasukkan ke dalam program Arduino IDE untuk menghasilkan nilai gula darah.

Langkah yang dilakukan setelah mendapatkan persamaan regresi adalah melakukan sekali lagi pemeriksaan. Pemeriksaan dilakukan dengan mengunjungi Puskesmas KM 13 Balikpapan dan juga sampel *random*. Hasil pemeriksaan ini akan diolah untuk mendapatkan persentase kesalahan alat sebagai bahan evaluasi. Hasil pemeriksaan untuk persentase kesalahan ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan untuk persentase kesalahan

Jenis Kondisi	Gula Darah Asli (mg/dL)	Gula Darah Alat Penelitian (mg/dL)	Persentase <i>Error Absolute</i> (%)
Puasa	86	84	2,325581395

Jenis Kondisi	Gula Darah Asli (mg/dL)	Gula Darah Alat Penelitian (mg/dL)	Persentase <i>Error Absolute</i> (%)
SM 2 Jam	86	88	2,325581395
Puasa	90	91	1,111111111
Puasa	93	93	0
SM 2 Jam	93	94	1,075268817
SM 2 Jam	94	93	1,063829787
SM 2 Jam	96	92	4,166666667
SM 2 Jam	99	99	0
SM 2 Jam	106	105	0,943396226
SM 2 Jam	110	106	3,636363636
SM 2 Jam	116	110	5,172413793
SM 2 Jam	147	146	0,680272109
Rata-rata error =			1,875

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ukur gula darah yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki rata-rata *error absolut* sebesar 1,875%, yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi dan sebanding dengan beberapa metode pengukuran non-invasif lainnya. Sebagai perbandingan, terdapat penelitian yang menggunakan teknik non-invasif berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan rata-rata error 2,31%, yang berarti alat yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki tingkat akurasi lebih baik dalam mengestimasi kadar gula darah [3].

Selain itu, penelitian yang mengembangkan program aplikasi alat pengukur kadar glukosa dalam darah berbasis

desktop, mencatat tingkat error sekitar 2,5%, yang masih lebih tinggi dibandingkan dengan alat yang kami buat [4]. Teknologi berbasis *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) juga telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk mengukur kadar glukosa darah secara non-invasif. Terdapat penelitian yang menemukan bahwa perangkat berbasis *near-infrared device* memiliki margin error sekitar 2,0-3,5%, yang

berarti alat ini menawarkan akurasi lebih baik dalam beberapa kasus [7].

Meskipun beberapa alat non-invasif memiliki keunggulan dalam kenyamanan penggunaan, sebagian besar masih menghadapi tantangan dalam meningkatkan akurasi dan mengurangi variabilitas data akibat faktor lingkungan, seperti kondisi kulit dan sirkulasi darah [8].



Gambar 11. Tampilan website saat (a) login, (b) pemilihan jenis pasien, (c) data pasien lama, (d) pengisian data pasien baru, (e) memasukkan pengukuran gula darah, dan (f) riwayat pengukuran.

Selain dibandingkan dengan alat ukur gula darah lainnya, akurasi alat ini juga dapat dikontraskan dengan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam penelitian yang mengembangkan sistem

pemantauan gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA) [18]. Dalam penelitian tersebut, penggunaan sensor MQ4 dan MQ135 untuk mendeteksi konsentrasi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂)

dikombinasikan dengan sistem pemrosesan data berbasis Arduino Uno dan ESP8266, yang serupa dengan pendekatan alat ukur gula darah ini.

Kedua sistem menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam mengonversi data sensor menjadi parameter lingkungan yang bermakna. Namun, dalam sistem pemantauan gas, data dikirim secara nirkabel ke *server* ThingSpeak setiap 16 detik, sementara dalam alat ukur gula darah ini, data diproses secara lokal tanpa keterlibatan transmisi data ke *cloud*.

Dengan demikian, meskipun pendekatan pemrosesan data serupa, sistem IoT yang digunakan dalam pemantauan gas memiliki keunggulan dalam hal pemantauan jarak jauh secara real-time, sementara alat ukur gula darah lebih berorientasi pada akurasi lokal dan efisiensi pengukuran langsung.

Oleh karena itu, alat yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya memiliki akurasi yang kompetitif, tetapi juga menawarkan keunggulan dalam pemrosesan data yang lebih cepat melalui integrasi dengan mikrokontroler Arduino serta potensi pengembangan lebih lanjut dengan sistem *cloud computing* untuk pemantauan kadar gula darah secara *real-time*.

3.2. Web Cloud Computing System

Tampilan dari website yang dibuat ditunjukkan oleh Gambar 11. Pada halaman *login*, seluruh *user* dapat mendaftar akun dengan memasukkan *username* dan *password* untuk menggunakan *website*. Setelah mendaftar, apabila *username* dan *password* dan menekan tombol “*Sign In*” maka akan masuk pada halaman *website*.

Saat klik tombol “*Sign In*” akan ditampilkan halaman utama untuk memilih pasien seperti. Pada saat klik tombol “Pasien Baru”, akan menampilkan halaman untuk pasien baru. Lalu, *user* dapat mengisi data pada kolom yang tertera dari ID pasien hingga telepon. Apabila selesai maka akan disimpan pada halaman pasien lama, sedangkan apabila ingin mengukur akan diarahkan ke halaman pengukur. Apabila ingin melihat riwayat

pengukuran, klik pada kolom pasien dan klik tombol “Lihat Riwayat”, maka diarahkan pada halaman riwayat pengukuran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan alat ukur gula darah dan pengelolaan data pada web *cloud computing system*, maka dapat disimpulkan bahwa alat ukur gula darah non-invasif yang telah dibuat memiliki performa yang baik dengan nilai *mean square error* sebesar 1.875%. Selain itu, pengelolaan data web *cloud computing system* dapat mengirim data sesuai yang diinginkan dengan selisih waktu 8 ms - 12 ms, dapat menyimpan data pengukuran untuk diolah menjadi status pasien dan riwayat pengukuran pasien ditampilkan berupa tabel dan grafik dengan urutan tanggal pemeriksaan.

5. Saran

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengumpulkan lebih banyak data terutama pasien Pra-Diabetes dan Diabetes agar persamaan regresi untuk kalibrasi mendapat hasil lebih baik. Sehingga akurasi dan selisih error mendapatkan hasil yang maksimal.

Daftar Pustaka

- [1] S. A. Soelistijo *et al.*, “Pedoman pengelolaan dan pencegahan diabetes melitus tipe 2 dewasa di Indonesia 2019,” *Perkumpulan Endokrinol. Indones.*, vol. 4, pp. 1–117, 2019.
- [2] “Hari Diabetes Sedunia Tahun 2018 - Direktorat P2PTM.” Accessed: Feb. 23, 2024. [Online]. Available: <https://p2ptm.kemkes.go.id/infographic/hari-diabetes-sedunia-tahun-2018>
- [3] H. Suyono and H. Hambali, “Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik Non-Invasive Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *JTEV J. Tek. Elektro Dan Vokasional*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.107482.

- [4] M. Sulehu and A. H. Senrimang, "Program Aplikasi Alat Pengukur Kadar Glukosa Dalam Darah Non Invasive Berbasis Desktop," *Inspir. J. Teknol. Inf. Dan Komun.*, vol. 8, no. 1, Jun. 2018, doi: 10.35585/inspir.v8i1.2454.
- [5] T. Vo-Dinh and G. Gauglitz, Eds., *Handbook of spectroscopy*. Weinheim; [Cambridge]: Wiley-VCH, 2003.
- [6] "Near Infrared Reflectance Spectroscopy : Applications in Deer Nutrition," 2003. Accessed: Feb. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Near-Infrared-Reflectance-Spectroscopy-%3A-in-Deer/1435bfe087f87699b40b6710b484668d6fce50a9>
- [7] D. Sia, "Design of a Near-Infrared Device for the Study of Glucose Concentration Measurements," Apr. 2010, Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://macsphere.mcmaster.ca/handle/11375/14442>
- [8] M. T. B. Z. Abidin, M. K. R. Rosli, S. A. Shamsuddin, N. K. Madzhi, and M. F. Abdullah, "Initial quantitative comparison of 940nm and 950nm infrared sensor performance for measuring glucose non-invasively," in *2013 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)*, Nov. 2013, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSIMA.2013.6717938.
- [9] R. A. Buda and M. Mohd. Addi, "A portable non-invasive blood glucose monitoring device," in *2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)*, Dec. 2014, pp. 964–969. doi: 10.1109/IECBES.2014.7047655.
- [10] Jonathan Prabowo, Yaya Suryana, Rony Ferbyarto, and I. Made Astawa, "Sistem Instrumentasi Alat Ukur Kadar Gula Darah Non Invasive Berbasiskan Arduino," presented at the Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta 2016, Indonesia, 2016.
- [11] E. Setyaningsih, D. Prastiyanto, and S. Suryono, "Penggunaan Sensor Photodiode sebagai Sistem Deteksi Api pada Wahana Terbang Vertical Take-Off Landing (VTOL)," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2017, doi: 10.15294/jte.v9i2.11155.
- [12] M. A. A. Wibowo, F. Hunaini, and D. U. Effendy, "PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE LINE FOLLOWER FORKLIFT," *Widya Tek.*, vol. 26, no. 2, Oct. 2018, doi: 10.31328/jwt.v26i2.794.
- [13] A. Malvino, *Prinsip - Prinsip Elektronika 2*, 2nd ed. Salemba Teknika, 2004.
- [14] R. Hermawan and A. Abdurrohman, "PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS PADA ALARM SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN NodeMcu LoLiN V3 DAN MEDIA TELEGRAM," *Infotronik J. Teknol. Inf. Dan Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 58, Dec. 2020, doi: 10.32897/infotronik.2020.5.2.453.
- [15] N. Nuryadi, T. D. Astuti, E. S. Utami, and M. Budiantara, *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. SIBUKU MEDIA, 2017.
- [16] A. Solichin, *Pemrograman Web dengan PHP dan MySQL*. Penerbit Budi Luhur, 2016.
- [17] R. Budi, *Belajar Otodidak Pemrograman web dengan PHP + ORACLE*. INFORMATIKA, 2011.
- [18] F. Z. Rachman, "Sistem Pemantau Gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Berbasis Internet of Things," *J. Teknol. Dan Sist. Komput.*, vol. 6, no. 3, pp. 100–105, Jul. 2018, doi: 10.14710/jtsiskom.6.3.2018.100-105.