

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Diabetes mellitus adalah gangguan metabolik kronis yang ditandai dengan kadar glukosa darah yang tinggi. Sangat penting bagi pasien untuk memeriksa kadar glukosa darah mereka secara teratur guna mencegah komplikasi jangka panjang yang serius, seperti kerusakan saraf otonom atau neuropati diabetik (Kaur et al., 2024). Namun, prosedur pemantauan yang umumnya digunakan saat ini bersifat invasif, yaitu menggunakan jarum glukometer. Metode ini sering menimbulkan rasa sakit, ketidaknyamanan, dan risiko infeksi, sehingga banyak orang enggan menjalani pemantauan rutin.

Solusi yang sangat menjanjikan untuk masalah-masalah ini adalah pendekatan noninvasif yang memanfaatkan Internet of Things (IoT) dan sensor yang dapat dikenakan (Abubeker et al., 2024). (Iqbal et al., 2022) Juga telah mengakui penggunaan teknologi IoT dalam sistem pemantauan berbasis sensor melalui sistem deteksi banjir dini yang memanfaatkan sensor ketinggian air dan platform Blynk. Penelitian ini menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat mengirimkan data sensor secara real-time ke platform pemantauan. Konsep akuisisi dan transmisi data ini merupakan salah satu dasar penerapan IoT dalam penelitian ini, di mana ESP32 digunakan sebagai antarmuka antara sensor fisiologis dan situs web. Diabetes dan fluktuasi glukosa darah telah terbukti memiliki korelasi fisiologis yang kuat dengan sistem kardiovaskular serta aktivitas kelenjar keringat. Neuropati otonom diabetik pada penderita diabetes secara langsung memengaruhi regulasi resistansi kulit dan suhu tubuh (Prajapati et al., 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan kombinasi dua sensor khusus, yaitu sensor respons kulit galvanik (GSR) untuk mendeteksi perubahan resistansi kulit (resistansi keringat) dan sensor optik MAX30102 untuk mengukur detak jantung dan saturasi oksigen (SpO_2) secara optik (Fajar Firmansyah et al., 2025). (Rahmawati et al., 2020) Juga menerapkan penggunaan mikrokontroler sebagai media untuk akuisisi data fisiologis melalui sistem pemantauan denyut nadi berbasis Android. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi sensor fisiologis dan mikrokontroler memungkinkan

pengumpulan dan transmisi data secara real-time, yang mendukung pembuatan sistem pemantauan kesehatan berbasis IoT.

Seiring perkembangan teknologi kesehatan digital, teknik-teknik noninvasif untuk deteksi diabetes mulai dikembangkan secara besar-besaran (Abubeker et al., 2024). Metode-metode ini memanfaatkan sifat fisiologis konduktivitas kulit dan sirkulasi kardiovaskular yang dapat diukur secara eksternal tanpa melukai jaringan tubuh pasien. Potensi parameter fisiologis ini sebagai indikator pendukung dalam sistem skrining risiko dini diabetes sangat tinggi. Hal ini didasarkan pada fakta klinis bahwa gangguan metabolik kronis pada penderita diabetes dapat memengaruhi aktivitas kelenjar keringat, sistem saraf otonom, ritme jantung, dan tingkat oksigenasi darah perifer (Kaur et al., 2024; Prajapati et al., 2022).

Respon Kulit Galvanik (GSR) merupakan salah satu parameter fisiologis utama yang menjadi subjek banyak penelitian non-invasif. Menurut studi klinis yang dilakukan oleh (Prajapati et al., 2022). Pada pasien diabetes mellitus, kadar glukosa darah yang tinggi dalam jangka panjang dapat menyebabkan komplikasi seperti neuropati otonom diabetik, yang memengaruhi saraf simpatik yang mengontrol kelenjar keringat. Kerusakan ini menyebabkan kelainan dan penurunan signifikan pada konduktivitas listrik kulit pada pasien diabetes dibandingkan dengan orang sehat. Selain GSR, parameter kardiovaskular seperti denyut jantung dan saturasi oksigen (SpO_2) juga merupakan indikator penentu yang penting. Perubahan kadar glukosa darah dapat memengaruhi kontrol otonom terhadap ritme jantung, sehingga penderita diabetes sering kali memiliki denyut jantung istirahat yang lebih tinggi. Penelitian mengenai perangkat pengukuran noninvasif oleh (Nugroho et al., 2025), dan (Fajar Firmansyah et al., 2025) menunjukkan bahwa sensor optik seperti MAX30102 sangat andal untuk memantau secara praktis parameter detak jantung dan SpO_2 melalui ujung jari. Variasi parameter dari kombinasi sensor GSR dan MAX30102 menawarkan peluang signifikan untuk merancang sistem deteksi risiko diabetes yang cerdas.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan sensor fisiologis telah dilakukan dalam konteks akademik Program Studi Informatika. Beberapa alumni menggabungkan sensor GSR dan sensor detak jantung untuk mengukur tingkat stres mahasiswa. Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa sensor GSR mampu

merepresentasikan respons fisiologis tubuh secara noninvasif, namun metode pemrosesan dan klasifikasi data yang digunakan masih berbasis aturan. Oleh karena itu, sistem prototipe tersebut masih belum dapat beradaptasi secara optimal terhadap variasi, pola, dan kompleksitas data fisiologis manusia yang dinamis.

Oleh karena itu, sistem cerdas adaptif harus dikembangkan dengan menggunakan pendekatan pembelajaran mesin untuk memproses data fisiologis yang diperoleh dari sensor. Penelitian klasifikasi dalam pembelajaran mesin umumnya menggunakan algoritma seperti model pohon keputusan, Support Vector Machines (SVM), Random Forests, dan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) yang memiliki karakteristik dan kinerja yang berbeda-beda. Penelitian yang dilakukan oleh (Babajide Mustapha & Saeed, 2016) Menunjukkan bahwa algoritma XGBoost memiliki kinerja klasifikasi yang lebih baik daripada Support Vector Machine (SVM), Random Forest, dan Naïve Bayes dalam prediksi data biologis. Selain itu, (Chen & Guestrin, 2016) Juga menyatakan bahwa XGBoost merupakan metode regularisasi yang mampu mengurangi overfitting, menangani hubungan nonlinier variabel, serta menciptakan proses komputasi yang efisien untuk data tabular. Mengingat keunggulan-keunggulan tersebut, algoritma XGBoost dipilih untuk penelitian ini dan dianggap cocok untuk mengolah data fisiologis yang dikumpulkan dari pengukuran sensor GSR, detak jantung, SpO₂, BMI, dan usia dalam proses klasifikasi risiko diabetes.

Penelitian ini telah merancang dan mengusulkan sebuah “Sistem Deteksi Risiko Diabetes Non-Invasif Berbasis Sensor GSR dan MAX30102 dengan Menggunakan Algoritma XGBoost yang Terintegrasi dengan Situs Web” berdasarkan perumusan masalah, penelitian sebelumnya, dan pertimbangan terkait pemilihan algoritma klasifikasi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang sebagian besar menggunakan dataset sekunder, penelitian ini memanfaatkan 100 data klinis primer yang diperoleh langsung dari pengukuran yang dilakukan pada responden menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem ini memiliki lima masukan: usia, BMI, detak jantung, SpO₂, dan nilai GSR. Hasil klasifikasi divalidasi dengan membandingkannya terhadap pembacaan glukometer sebagai ground truth dan ditampilkan secara real-time di situs web sebagai alat skrining risiko diabetes awal.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini berfokus pada penerapan model segmentasi semantik dalam kondisi jalanan nyata di Indonesia. Masalah utama yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun perangkat keras noninvasif berbasis mikrokontroler ESP32 menggunakan sensor MAX30102 dan sensor GSR yang terintegrasi dengan website?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma klasifikasi XGBoost untuk mendeteksi risiko diabetes murni menggunakan 100 data primer klinis dengan lima variabel input (Usia, BMI, Heart Rate, SpO2, dan GSR)?
3. Bagaimana tingkat akurasi sistem deteksi noninvasif (sensor + XGBoost) apabila divalidasi langsung terhadap hasil pengukuran glukometer invasif aktual?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan sistem perangkat keras wearable noninvasif menggunakan sensor MAX30102 dan GSR yang datanya dapat dipantau secara real-time pada website.
2. Menerapkan algoritma klasifikasi XGBoost secara murni pada 100 data primer klinis tanpa intervensi dataset internet maupun teknik oversampling.
3. Mengukur kinerja dan akurasi prediksi model XGBoost dengan menggunakan pengukuran glukometer medis sebagai ground truth (label uji).

Manfaat Penelitian:

1. Memberikan alternatif solusi skrining dini risiko diabetes yang aman, praktis, dan tanpa rasa sakit (noninvasif) memanfaatkan parameter sensor fisiologis (Galvanic Skin Response, Heart Rate, dan SpO2), sehingga dapat meminimalkan rasa cemas atau ketidaknyamanan pasien terhadap jarum suntik (finger-prick test).
2. Memberikan hasil analisis perbandingan performa yang akurat antara sistem prediksi noninvasif dan hasil alat medis invasif (glukometer) berdasarkan metrik evaluasi klasifikasi seperti confusion matrix, accuracy, precision, recall, dan F1-score.

1.4. Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian

Studi ini mencakup beberapa kontribusi, yaitu:

1. Memperkenalkan sistem deteksi risiko diabetes tanpa rasa sakit (noninvasif) yang secara spesifik memanfaatkan kombinasi sensor Galvanic Skin Response (GSR) dan MAX30102. Hal ini melengkapi dan memperbarui studi sebelumnya yang umumnya masih bergantung pada pengukuran glukosa darah invasif atau sekadar analisis parameter klinis, tanpa menekankan implementasi perangkat keras sensor terapan.
2. Orisinalitas utama penelitian ini terletak pada penggunaan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) yang dilatih dan diuji secara murni menggunakan 100 data primer lapangan, tanpa menggunakan dataset sekunder dari internet. Pemodelan difokuskan hanya pada 5 fitur esensial (Usia, BMI, Heart Rate, SpO2, dan GSR) dengan membandingkan hasil prediksinya secara langsung terhadap parameter alat medis standar (glukometer) sebagai ground truth.
3. Mengembangkan sistem pendeteksi yang utuh mulai dari akuisisi data sensor secara real-time menggunakan mikrokontroler ESP32, pemrosesan klasifikasi data, hingga penyajian hasil status risiko (Normal/Berisiko) melalui website. Ini menjadi solusi atas keterbatasan penelitian sebelumnya yang sering kali hanya berfokus pada analisis machine learning di atas kertas tanpa adanya wujud integrasi sistem yang praktis dan siap diakses oleh pasien maupun tenaga medis di klinik.

1.5. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak melebar dari fokus utama, maka ditetapkan beberapa batasan sebagai berikut:

- a) Perangkat Keras: Sistem hanya menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MAX30102 (untuk pengukuran Heart Rate dan SpO2), dan sensor GSR (untuk pengukuran hambatan kulit).
- b) Variabel Input: Algoritma machine learning hanya memproses 5 (lima) parameter input, yaitu: Usia, Body Mass Index (BMI), Heart Rate, SpO2, dan Nilai GSR.

- c) Data Penelitian (Mutlak): Penelitian ini menggunakan 100% data primer, berupa 100 rekam klinis yang diambil langsung di lapangan. Sistem sama sekali tidak menggunakan data sekunder dari internet (Kaggle/UCI) dan tidak menggunakan metode penyeimbang data buatan.
- d) Validasi (Ground Truth): Target atau label klasifikasi dievaluasi langsung menggunakan alat medis invasif aktual (glukometer). Label target dibagi menjadi dua kelas: Normal (angka 0) dan Berisiko (angka 1).
- e) Algoritma Utama: Metode klasifikasi machine learning yang digunakan difokuskan secara eksklusif pada Extreme Gradient Boosting (XGBoost).

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dokumen skripsi dibagi menjadi tiga bab. Bab I berisi tentang latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan, manfaat, kontribusi, dan batasan penelitian dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan kajian pustaka dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Selain kajian pustaka, Bab II juga menjelaskan tentang konsep dasar teori sebagai pedoman dalam penelitian ini. Bab III menjelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini.