

Internet of Things

Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien Menggunakan Integrasi Sensor Tanda Vital Berbasis IoT dengan Metode C4.5

Liza Azzahra Zein^{}, Mhd. Basri*

Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 16 Agustus 2025
Revisi Akhir: 15 Oktober 2025
Diterbitkan Online: 24 Oktober 2025

KATA KUNCI

Internet of Things
Monitoring Kesehatan
Algoritma C4.5
Sensor Tanda Vital
Sistem Pendukung Keputusan

KORESPONDENSI

Phone: +62 853-5841-4851
E-mail: lizazzhra21@gmail.com

A B S T R A K

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang besar dalam pengembangan sistem monitoring kesehatan pasien secara real-time dengan integrasi sensor tanda vital. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem monitoring dan pendukung keputusan kondisi kesehatan pasien yang menggabungkan sensor tanda vital berbasis IoT dengan metode C4.5 sebagai algoritma pengambilan keputusan. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan data vital seperti detak jantung, tekanan darah, dan suhu tubuh secara otomatis melalui sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan metode C4.5 untuk memberikan rekomendasi kondisi kesehatan pasien secara akurat dan cepat. Metodologi penelitian meliputi tahap perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi, serta pengujian secara bertahap. Pengujian dilakukan dengan menjalankan program pada perangkat keras yang telah disiapkan, melakukan interaksi pengguna melalui tombol input, dan menampilkan hasil pengukuran serta analisis pada layar LCD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan stabil, memberikan data tanda vital secara real-time, dan menghasilkan keputusan yang sesuai dengan kondisi kesehatan pasien. Sistem ini juga memiliki antarmuka yang mudah digunakan sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring dan pengambilan keputusan. Implementasi sistem menggunakan perangkat keras seperti ESP32, sensor MAX30102 untuk detak jantung dan oksigen darah, sensor MLX90614 untuk suhu tubuh, tensimeter untuk tekanan darah, push button sebagai input pengguna, dan LCD sebagai media tampilan. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan lingkungan pemrograman yang mendukung integrasi IoT dan algoritma C4.5. Komunikasi data antara sensor dan mikrokontroler menggunakan port serial dan I2C yang dipilih karena keandalannya dalam transfer data secara real-time. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sistem monitoring dan pendukung keputusan berbasis IoT dengan metode C4.5 yang dikembangkan dapat memberikan solusi efektif dalam memantau kondisi kesehatan pasien secara akurat dan efisien. Sistem ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan teknologi kesehatan berbasis IoT di masa depan dan memberikan manfaat nyata dalam dunia medis, khususnya dalam pemantauan pasien secara jarak jauh dan pengambilan keputusan klinis yang cepat dan tepat.

PENDAHULUAN

Kesehatan merupakan aspek fundamental dalam kehidupan manusia, mencakup kesejahteraan fisik, mental, dan sosial. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan kesehatan sebagai keadaan sejahtera yang tidak hanya terbatas pada ketiadaan penyakit, tetapi juga keseimbangan dalam berbagai aspek kehidupan (World Health Organization, 2023). Kesehatan yang baik dapat meningkatkan produktivitas dan daya tahan tubuh terhadap penyakit (Adar Bakhsh Baloch, 2017). Indikator utama kesehatan yang baik mencakup fungsi optimal dari organ-organ vital, termasuk jantung yang sehat, tekanan darah yang stabil, dan suhu tubuh yang berada dalam rentang normal (Benjamin et al., 2018). Pemeliharaan

kesehatan yang optimal memerlukan pemantauan kondisi organ vital, terutama sistem kardiovaskular yang memiliki peran penting dalam mendukung kehidupan dan kelangsungan fungsi tubuh (Virani et al., 2021). Data kesehatan yang tepat dan terintegrasi menjadi kunci dalam pengambilan keputusan klinis yang efektif dan tepat dalam pengelolaan kesehatan masyarakat.

Jantung merupakan organ utama dalam sistem kardiovaskular yang bertanggung jawab untuk memompa darah ke seluruh tubuh, mendistribusikan oksigen serta nutrisi yang diperlukan oleh sel dan jaringan (Llyod-Jones et al., 2018). Denyut jantung normal berkisar antara 60 hingga 100 denyut per menit (bpm) pada orang dewasa (Almaadawy et al., 2024). Abnormalitas seperti bradikardia (denyut jantung di bawah normal <60bpm) dan takikardia (denyut jantung di atas normal >100bpm) dapat menjadi indikasi adanya gangguan kesehatan yang memerlukan perhatian medis segera (Wong & Jaafar, 2021). Penyakit jantung koroner (PJK) merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia dan terus meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup masyarakat modern (Khera et al., 2017). Oleh karena itu, deteksi dini dan pencegahan penyakit jantung sangatlah penting untuk mengurangi angka morbiditas dan mortalitas. Faktor risiko penyakit jantung meliputi gaya hidup tidak sehat (merokok, kurang olahraga, diet tidak sehat), genetika, hipertensi, dan diabetes (Roth et al., 2020). Modifikasi faktor risiko ini merupakan strategi kunci dalam pencegahan penyakit jantung. Pendekatan yang komprehensif, yang melibatkan perubahan gaya hidup dan pengobatan medis, diperlukan untuk mengelola penyakit jantung secara efektif.

Selain jantung, Suhu tubuh juga merupakan salah satu tanda vital penting, yang mencerminkan keseimbangan antara produksi dan pelepasan panas tubuh, dan deviasi dari rentang normal dapat mengindikasikan adanya infeksi atau gangguan metabolisme (Anatomy, n.d., 2019). Suhu tubuh manusia normal berkisar antara 36,5°C hingga 37,5°C (Guyton & Hall, 2016). Perubahan suhu tubuh dapat menjadi tanda adanya infeksi atau gangguan kesehatan lainnya, seperti demam yang seringkali merupakan respons imun tubuh terhadap infeksi bakteri atau virus (Pickering et al., 2018). Sebaliknya, hipotermia dapat terjadi akibat paparan suhu dingin ekstrem atau gangguan pada sistem pengaturan suhu tubuh ((Mauliddiyah, 2021).

Meskipun pemeriksaan tanda vital secara langsung di fasilitas medis telah menjadi standar, metode ini memiliki keterbatasan, seperti akses terbatas di daerah terpencil dan kurangnya pemantauan berkelanjutan (Roth et al., 2020). Data kesehatan yang diperoleh dari pemeriksaan konvensional seringkali bersifat statis dan tidak memungkinkan deteksi dini perubahan kondisi pasien secara real-time (Selvaraju et al., 2022). Hal ini berkontribusi pada keterlambatan dalam diagnosis serta penanganan penyakit, yang dapat meningkatkan risiko komplikasi serius (Vos et al., 2019).

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah membawa kemajuan signifikan dalam sistem pemantauan kesehatan, baik secara manual maupun otomatis. Dengan adanya teknologi berbasis Internet of Things (IoT), pemantauan tanda vital dapat dilakukan secara real-time dengan sensor yang mampu mengukur denyut jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah secara bersamaan (Gandomi & Haider, 2015). IoT memungkinkan pengumpulan data kesehatan secara otomatis dan kontinu, sehingga tenaga medis dapat melakukan intervensi lebih cepat dan akurat (Wu et al., 2023). Menurut laporan WHO (2018), penerapan teknologi IoT dalam layanan kesehatan dapat meningkatkan efisiensi pelayanan hingga 30% dan memperluas akses terhadap layanan kesehatan digital.

Untuk meningkatkan akurasi dalam diagnosis, diperlukan sistem pendukung keputusan yang dapat mengolah data tanda vital secara efektif. Salah satu algoritma yang banyak digunakan dalam analisis data medis adalah algoritma C4.5, yang mampu membangun pohon keputusan berdasarkan data pasien (Chauhan & Chauhan, 2019). Algoritma C4.5 dipilih sebagai metode pengambilan keputusan dalam sistem ini karena kemampuannya yang unggul dalam membangun pohon keputusan berdasarkan data numerik dan kategorikal (Quinlan, 1993). Algoritma ini mampu menangani data yang tidak lengkap dan menghasilkan model yang mudah dipahami oleh tenaga medis, sehingga sangat cocok untuk aplikasi di bidang kesehatan (Chauhan & Chauhan, 2013). Dengan menggunakan algoritma C4.5, sistem tidak hanya mampu memantau tanda vital secara otomatis, tetapi juga memberikan rekomendasi kondisi kesehatan pasien yang dapat membantu tenaga medis dalam pengambilan keputusan klinis secara cepat dan tepat (Lee et al., 2018). Algoritma ini juga memiliki keunggulan dalam menangani atribut dengan nilai kontinu dan menghasilkan aturan klasifikasi yang mudah dipahami oleh tenaga medis (Rahman et al., 2019). Integrasi algoritma C4.5 dengan teknologi IoT memungkinkan pengembangan sistem yang tidak hanya memantau tanda-tanda vital secara otomatis, tetapi juga memberikan rekomendasi tindakan medis berdasarkan analisis data yang cepat dan akurat (Lee et al., 2018). Dalam sistem berbasis IoT untuk pemantauan kesehatan, algoritma ini dapat digunakan untuk mengolah data sensor seperti denyut jantung, tekanan darah, dan suhu tubuh secara real-time. Dengan demikian, sistem ini dapat mendukung pengambilan keputusan

klinis yang lebih efektif dan efisien, serta membantu tenaga medis dalam memberikan perawatan yang optimal kepada pasien.

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah sebuah paradigma yang memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling berkomunikasi melalui jaringan internet, memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi manusia (Pradhan & Bhattacharyya, 2023). Dalam dunia kesehatan, IoT banyak digunakan untuk memantau kondisi pasien secara real-time, meningkatkan efisiensi sistem perawatan kesehatan, serta mengurangi biaya operasional melalui otomatisasi pemantauan pasien (Zaman, 2024). Menurut Naresh et al. (2020), IoT dalam bidang kesehatan memanfaatkan teknologi seperti sensor nirkabel, cloud computing, dan kecerdasan buatan (AI) untuk memberikan layanan kesehatan yang lebih baik (Radwan et al., 2021). IoT memungkinkan pengukuran berbagai tanda vital pasien seperti tekanan darah, suhu tubuh, dan detak jantung secara langsung dan otomatis (Abd Al-Razzaq, 2024). Selain itu, perkembangan IoT juga telah mengarah pada penggunaan teknologi wearable, seperti jam tangan pintar dan perangkat medis lainnya yang dapat mengumpulkan data pasien secara terus-menerus (Bhattacharya, 2024).

Metode C4.5 dalam Pendukung Keputusan

Metode C4.5 merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan dalam pengambilan keputusan berbasis data. Algoritma ini merupakan pengembangan dari algoritma ID3 dan dirancang untuk menghasilkan pohon keputusan yang dapat menggambarkan hubungan antara variabel input dan output. Dalam penelitian ini, metode C4.5 akan diterapkan untuk menganalisis data tanda vital yang diperoleh dari sensor IoT dan memberikan rekomendasi keputusan bagi tenaga medis. Salah satu keunggulan utama dari metode C4.5 adalah kemampuannya dalam menangani data yang hilang serta variabel kategorikal, yang sangat relevan dalam konteks kesehatan, di mana data yang dikumpulkan sering kali tidak lengkap. C4.5 dapat menghasilkan model yang akurat dengan tingkat kesalahan yang rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di bidang kesehatan. Dalam praktiknya, metode C4.5 akan memproses data tanda vital pasien untuk mengklasifikasikan kondisi kesehatan mereka ke dalam kategori tertentu, seperti "sehat", "perlu perhatian", atau "darurat" (Quinlan, 1993). Sebuah penelitian oleh M. S. K. Rahman et al. (2021) menunjukkan bahwa penerapan metode C4.5 dalam analisis data kesehatan dapat meningkatkan akurasi diagnosis hingga 85%, yang menunjukkan efektivitas algoritma ini dalam mendukung pengambilan keputusan medis. Selain itu, pohon keputusan yang dihasilkan oleh C4.5 mudah dipahami oleh tenaga medis, sehingga memudahkan mereka dalam membuat keputusan. Namun, meskipun C4.5 memiliki banyak keunggulan, terdapat beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah kecenderungan algoritma ini untuk menghasilkan pohon keputusan yang terlalu besar, yang dapat menyebabkan overfitting. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemangkasan pada pohon keputusan yang dihasilkan agar model tetap dapat digeneralisasi dan tidak hanya cocok untuk data pelatihan.

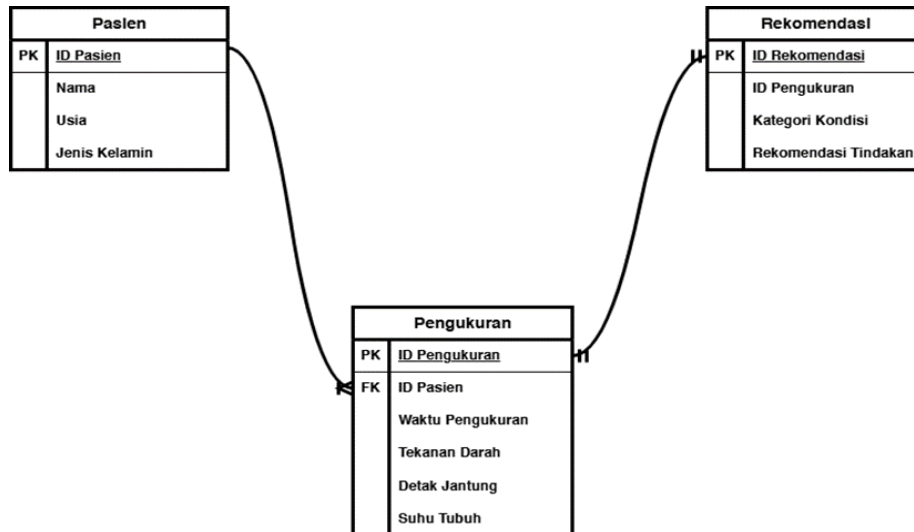
Integrasi Sensor Tanda Vital

Integrasi sensor tanda vital dalam sistem pemantauan kesehatan berbasis Internet of Things (IoT) merupakan elemen penting yang mendukung pengumpulan data kesehatan secara real-time. Sensor ini dirancang untuk mengukur berbagai parameter fisiologis, seperti detak jantung, tekanan darah, suhu tubuh, dan kadar oksigen dalam darah. Menurut data dari World Health Organization (WHO), pemantauan tanda vital secara terus-menerus dapat membantu dalam mendeteksi kondisi kritis yang memerlukan intervensi segera (WHO, 2021). Sensor tanda vital yang digunakan dalam sistem ini umumnya dilengkapi dengan teknologi nirkabel, seperti Bluetooth atau Wi-Fi, yang memungkinkan data dikirimkan secara langsung ke perangkat penerima, seperti smartphone atau komputer. Selain itu, integrasi sensor juga memungkinkan pengumpulan data yang lebih akurat dan konsisten. Sebagai contoh, sensor detak jantung dapat memberikan pembacaan yang lebih tepat dibandingkan dengan metode manual, yang sering kali dipengaruhi oleh faktor manusia. Penggunaan sensor dalam pemantauan kesehatan dapat mengurangi kesalahan pengukuran hingga 40%, yang sangat penting dalam diagnosis dan perawatan pasien (Smith et al., 2020).

METODOLOGI

Struktur Data yang Digunakan

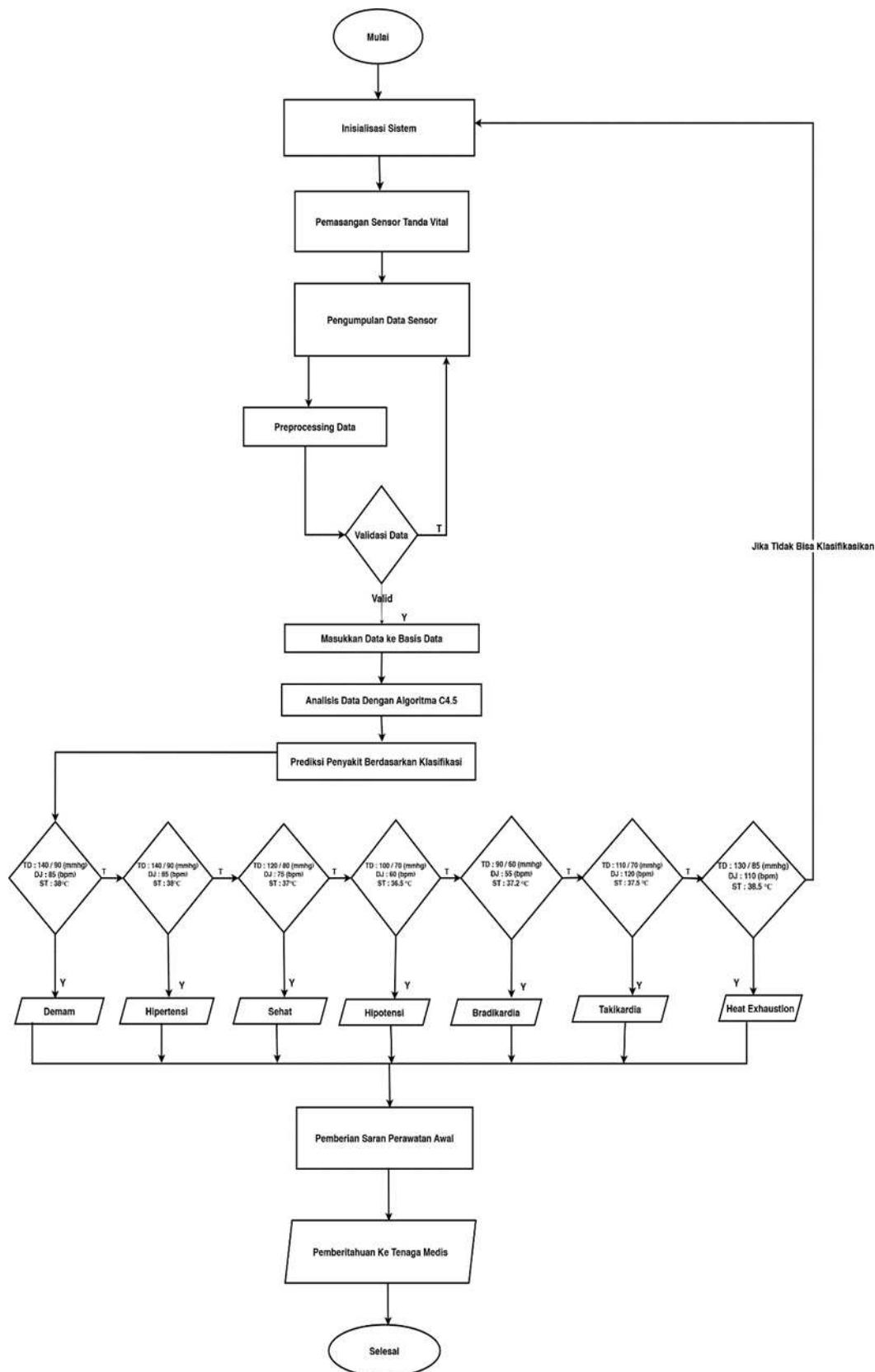
Diagram Entity-Relationship (E-R) digunakan untuk mendeskripsikan hubungan antara entitas dalam basis data. Dalam kasus ini, ERD digunakan untuk memodelkan data terkait sistem manajemen kesehatan yang berisi informasi tentang pasien, pengukuran tanda vital mereka, dan rekomendasi tindakan berdasarkan analisis data. ERD ini memiliki 3 entitas utama, yaitu Pasien, Pengukuran, dan Rekomendasi. Setiap entitas memiliki atribut-atribut yang berfungsi sebagai kolom dalam tabel basis data. Berikut gambar ERD dari Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien Menggunakan Integrasi Sensor Tanda Vital Berbasis IoT Dengan Metode C4.5:



Gambar 1. Diagram ERD

Flowchart Sistem

Flowchart ini dirancang untuk menggambarkan alur proses yang lebih kompleks dan terperinci, memastikan setiap langkah dalam pengolahan data dijelaskan dengan jelas. Flowchart ini juga menggambarkan sistem pemantauan kesehatan yang berbasis data sensor, menggunakan algoritma canggih untuk mendiagnosis kondisi pasien secara real-time. Dengan mengintegrasikan analisis berbasis algoritma C4.5. Sistem ini tidak hanya mendeteksi kondisi kesehatan, tetapi juga memberikan rekomendasi yang tepat dan berbasis data kepada tenaga medis. Berikut adalah visualisasi flowchart dari proses Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien dengan Integrasi Sensor Tanda Vital Berbasis IoT menggunakan Metode C4.5:



Gambar 2. Flowchart Sistem

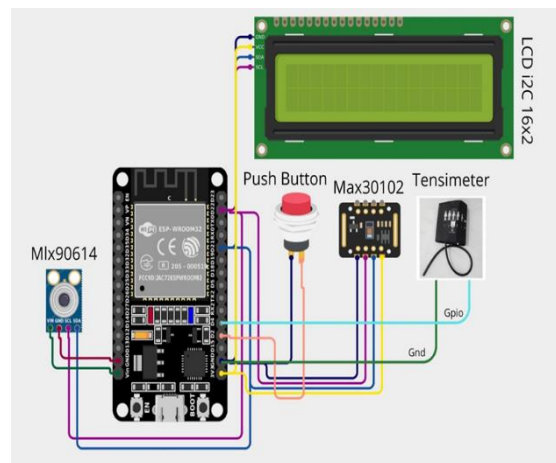
Tahapan alur proses adalah sebagai berikut :

1. Mulai ; Sistem dimulai dengan proses inisialisasi, di mana perangkat dan komponen pendukung disiapkan untuk menjalankan fungsi-fungsinya.

2. Inisialisasi Sistem ; Pada tahap ini, sistem akan mempersiapkan seluruh perangkat lunak dan perangkat keras untuk bekerja. Langkah ini melibatkan, Pengaturan parameter awal pada perangkat, dan Memastikan bahwa perangkat keras seperti sensor vital sudah terhubung dengan sistem pusat.
3. Pemasangan Sensor Tanda Vital pada Pasien ; Sensor dipasang pada pasien untuk mengumpulkan data tanda-tanda vital, seperti suhu tubuh, tekanan darah, detak jantung, dan tingkat hidrasi. Sensor ini harus dipasang di lokasi tubuh yang sesuai untuk memastikan pengukuran akurat.
4. Pengumpulan Data Sensor ; Setelah sensor terpasang, data vital mulai dikumpulkan secara real-time. Data ini meliputi, Tekanan darah (sistolik dan diastolik), Frekuensi denyut jantung(bpm), dan Suhu tubuh pasien.
5. Preprocessing Data ; Data yang diterima dari sensor tidak langsung digunakan. Data tersebut perlu melalui proses preprocessing, yang mencakup, Pembersihan data (Menghilangkan noise atau data yang tidak valid), dan Normalisasi data (Menstandarkan data agar semua berada dalam rentang tertentu).
6. Validasi Data ; Setelah preprocessing, sistem memeriksa validitas data. Jika data valid, proses dilanjutkan ke tahap berikutnya. Sebaliknya, Jika data tidak valid, sistem akan menampilkan notifikasi kesalahan dan meminta pengumpulan ulang data.
7. Masukkan Data ke Basis Data ; Data yang telah tervalidasi dimasukkan ke dalam basis data untuk disimpan. Basis data ini digunakan sebagai repositori informasi yang dapat diakses untuk analisis mendalam atau di masa depan.
8. Analisis Data Menggunakan Algoritma C4.5 ; Data yang disimpan di basis data kemudian dianalisis menggunakan algoritma C4.5, sebuah algoritma yang umum digunakan untuk membangun pohon keputusan. Langkah ini meliputi, Mengidentifikasi atribut utama dari dataset, dan Pembangunan pohon keputusan berdasarkan aturan klasifikasi.
9. Prediksi Penyakit Berdasarkan Klasifikasi ; Berdasarkan hasil analisis, sistem melakukan klasifikasi terhadap kondisi pasien. Jika tekanan darah, detak jantung, dan suhu tubuh pasien memenuhi kriteria tertentu, maka pasien dapat dikategorikan dalam salah satu kondisi berikut :
 - Demam (TD: 140/90 mmHg, DJ > 100 bpm, ST > 38°C)
 - Hipertensi (TD $\geq$ 140/90 mmHg, DJ > 100 bpm, ST 37-38°C)
 - Sehat (TD: 120/80 mmHg, DJ 60-100 bpm, ST 36-37°C)
 - Hipotensi (TD: < 100/70 mmHg, DJ < 60 bpm, ST 36-37°C)
 - Bradikardia (TD: 90/60 mmHg, DJ < 60 bpm, ST 36-37°C)
 - Takikardia (TD: 110/70 mmHg, DJ > 100 bpm, ST 37-38°C)
 - Heat Exhaustion (TD: 170/100 mmHg, DJ > 100 bpm, ST > 38°C)
 Jika kondisi pasien tidak masuk dalam kategori di atas, sistem akan memberikan notifikasi bahwa data tidak dapat diklasifikasikan dan meminta pengambilan data ulang.
10. Pemberian Saran Perawatan Awal ; Berdasarkan diagnosa yang dihasilkan, sistem memberikan saran perawatan awal. Contohnya, Jika pasien didiagnosa dehidrasi, sistem menyarankan pemberian cairan elektrolit. Kemudian, Jika pasien mengalami hipotensi, sistem mungkin menyarankan posisi tubuh tertentu untuk meningkatkan aliran darah.
11. Pemberitahuan ke Tenaga Medis ; Langkah terakhir adalah pemberitahuan kepada tenaga medis. Informasi mengenai kondisi pasien dikirim secara langsung ke perangkat yang terhubung, seperti aplikasi atau layar monitor medis. Langkah ini bertujuan untuk memungkinkan respons cepat.
12. Proses Selesai ; Setelah semua langkah di atas selesai, sistem menyatakan proses telah selesai. Namun, pemantauan terus dilakukan secara periodik untuk mengupdate kondisi pasien.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dalam penelitian ini bertujuan untuk membangun Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien yang berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode klasifikasi C4.5. Sistem ini dirancang agar dapat mengumpulkan, menganalisis, dan mengklasifikasikan tanda vital pasien secara real-time, serta memberikan rekomendasi kesehatan berdasarkan hasil klasifikasi. Sistem ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang bekerja secara terintegrasi. Perangkat keras terdiri dari sensor tanda vital seperti MAX30102 (detak jantung dan oksigen darah), MLX90614 (suhu tubuh), dan tensimeter digital (tekanan darah). Sementara itu, perangkat lunak terdiri dari sistem pemrosesan data berbasis ESP32, basis data MySQL, serta algoritma C4.5 yang digunakan untuk klasifikasi kondisi kesehatan. Berikut tampilan kerangka circuit untuk Perancangan Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kondisi Kesehatan Pasien Menggunakan Integrasi Sensor Tanda Vital Berbasis IoT Dengan Metode C4.5 :

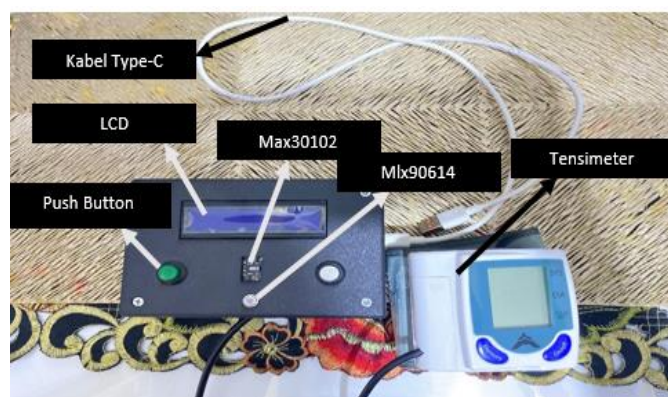


Gambar 3. Kerangka Circuit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Alat

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini merupakan sebuah alat monitoring kesehatan pasien berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu membaca tanda vital tubuh secara otomatis, menyimpan, dan menganalisisnya menggunakan algoritma C4.5 untuk membantu pengambilan keputusan klinis. Adapun alat ini dirancang sebagai sistem terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.



Gambar 4. Alat Ukur Tanda Vital

Desain Fisik dan Arsitektur Sistem

Prototype alat disusun dalam bentuk portable box yang memuat semua komponen utama, dengan konfigurasi sebagai berikut :

- ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang mengolah seluruh data dari sensor. Modul ini dihubungkan langsung ke laptop menggunakan kabel USB Type-C sebagai sumber daya sekaligus media pemrograman.
- Sensor MAX30102 untuk membaca detak jantung
- Sensor MLX90614 untuk mengukur suhu tubuh secara non-kontak.
- Tensimeter digital yang dimodifikasi untuk mentransmisikan data tekanan darah melalui koneksi serial.
- LCD 20x4 untuk menampilkan hasil analisis data sensor dan klasifikasi pasien.
- Push Button untuk memicu proses pembacaan ulang dan eksekusi algoritma C4.5.

Penggunaan kabel USB Type-C dari laptop ke ESP32 memudahkan pengembangan karena berfungsi ganda yaitu, sebagai sumber daya (power supply 5V DC) saat alat digunakan dan sebagai jalur komunikasi data ketika mengunggah program atau debugging menggunakan Arduino IDE. Alat ini tidak memerlukan baterai tambahan karena laptop sudah mampu memasok daya yang cukup saat pengujian dan pengoperasian.



Gambar 5. Prototype Alat Monitoring Tanda Vital Berbasis IoT

Pengujian Mikrokontroler ESP32

ESP32 sebagai pusat kendali utama diuji dengan cara menghubungkannya ke laptop menggunakan kabel USB Type-C. Mikrokontroler ini berhasil menjalankan tugas sebagai pengelola komunikasi data dari sensor-sensor, menjalankan algoritma klasifikasi C4.5, serta menampilkan dan mengirim hasil ke website. Hasil menunjukkan bahwa ESP32 dapat :

- Menyambung ke jaringan WiFi dengan stabil dalam hitungan detik.
- Menangani proses input-output sensor tanpa jeda atau lag.
- Memproses logika klasifikasi dengan cepat dan efisien.



Gambar 6. Pengujian Mikrokontroler ESP32

Pengujian Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 digunakan untuk mendeteksi detak jantung pasien. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan jari di atas permukaan sensor. Sensor mampu memberikan pembacaan dalam waktu singkat dengan nilai yang konsisten. Meskipun tidak dibandingkan langsung dengan alat medis karena keterbatasan penelitian, hasil pembacaan menunjukkan kestabilan dan berada dalam rentang normal detak jantung manusia. Sensor juga tidak mengalami error atau kehilangan sinyal selama pengujian berlangsung.



Gambar 7. Pengujian MAX30102

Pengujian Sensor MLX90614

Sensor suhu tubuh non-kontak ini diuji dengan cara telapak tangan diarahkan ke sensor dari jarak sekitar 3–5 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memberikan pembacaan suhu yang masuk akal dan berada dalam kisaran suhu tubuh normal. Sensor merespons dengan sangat cepat (kurang dari 1 detik), dan pembacaan tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan sekitar secara signifikan, sesuai dengan literatur tentang karakteristik sensor MLX90614.



Gambar 8. Pengujian MLX90614 Pada Kondisi Suhu Tubuh Normal, Dingin, dan Panas

Tensimeter Digital Pergelangan Tangan

Tensimeter digunakan untuk membaca tekanan darah pasien. Pengujian dilakukan dengan mengenakan alat di pergelangan tangan dan menekan tombol START. Setelah ± 10 –15 detik, tensimeter menampilkan hasil tekanan darah, yang kemudian dibaca oleh sistem melalui jalur komunikasi data. Hasil pembacaan ditangkap secara otomatis oleh mikrokontroler dan diproses untuk menghasilkan klasifikasi. Tensimeter bekerja sesuai dengan fungsinya dan memberikan data tekanan darah yang realistis berdasarkan skenario simulative.



Gambar 9. Tensimeter Digital Pergelangan Tangan

Pengujian LCD

LCD digunakan sebagai media tampilan utama dari seluruh hasil pengukuran dan klasifikasi kondisi pasien. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semua informasi dapat ditampilkan secara utuh dan mudah dibaca oleh pengguna. Hasil menunjukkan bahwa :

- LCD dapat menampilkan empat baris informasi secara berurutan, mencakup detak jantung, suhu tubuh, tekanan darah, serta hasil diagnosa pasien.
- Proses update data berlangsung cepat, dengan teks berganti secara otomatis setelah sensor selesai membaca. Tampilan berjalan stabil tanpa mengalami flicker atau kesalahan tampilan.



Gambar 10. Pengujian LCD

Push button yang sebelumnya direncanakan untuk memicu ulang proses klasifikasi tidak difungsikan dalam implementasi akhir. Sistem dirancang agar bekerja secara otomatis penuh, tanpa membutuhkan input dari tombol apa pun. Berdasarkan hasil uji, seluruh perangkat keras yang digunakan dalam sistem monitoring kondisi kesehatan pasien ini bekerja secara optimal dan stabil. Seluruh proses dilakukan secara otomatis, mulai dari pembacaan sensor hingga klasifikasi, tanpa memerlukan interaksi tombol dari pengguna.

- Komunikasi antara sensor dan mikrokontroler berjalan lancar
- Tampilan informasi pada LCD responsif dan terbaca dengan jelas
- Sistem telah sesuai dengan prinsip kerja real-time monitoring otomatis berbasis IoT

Data Hasil Pengukuran Tanda Vital Pasien dan Diagnosa Sistem Menggunakan Integrasi Sensor

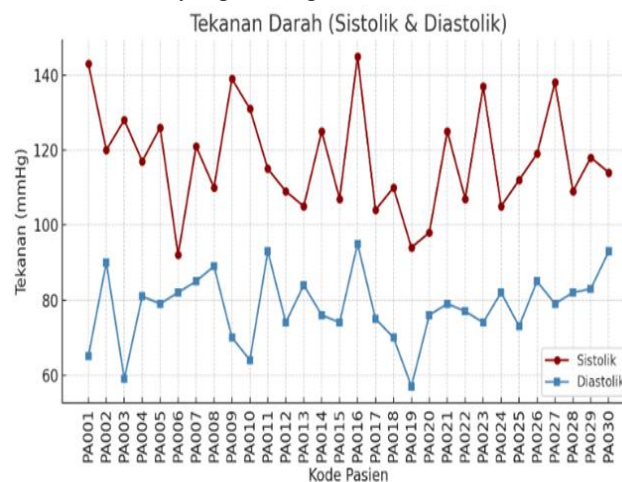
Pengujian sistem dilakukan terhadap 30 pasien dari Klinik UMSU, yang terdiri dari kalangan dosen, mahasiswa, dan masyarakat umum. Setiap pasien diuji menggunakan alat yang telah dikembangkan, di mana seluruh parameter vital (detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah) diukur secara simultan dalam satu sesi pengukuran. Sistem dirancang agar pengukuran dilakukan secara otomatis dan real-time setelah perangkat terhubung ke laptop melalui kabel USB Type-C dan koneksi WiFi aktif. Pasien meletakkan jari di atas sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung, sementara suhu tubuh diukur secara non-kontak menggunakan sensor MLX90614. Pengukuran tekanan darah dilakukan melalui tensimeter digital pergelangan tangan yang diaktifkan oleh pasien sendiri. Setelah ketiga parameter diperoleh, sistem menjalankan algoritma C4.5 untuk menentukan hasil klasifikasi kondisi pasien. Hasil tersebut ditampilkan pada LCD dan dikirim ke server web. Tabel berikut menunjukkan hasil pengukuran dan diagnosa dari sistem.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran

Kode Pasien	Tekanan_Sistolik (mmHg)	Tekanan_Diastolik (mmHg)	Detak_Jantung (bpm)	Suhu_Tubuh (°C)	Diagnosa
PA001	143	65	68	37	Hipertensi
PA002	120	90	93	37.2	Normal
PA003	128	59	92	37.1	Normal
PA004	117	81	58	37.3	Bradikardia
PA005	126	79	60	37.1	Normal
PA006	92	82	57	36.9	Bradikardia
PA007	121	85	100	36.5	Takikardia
PA008	110	89	79	35	Normal
PA009	139	80	77	36.6	Normal
PA010	131	64	84	36.3	Normal
PA011	115	93	66	36.4	Normal
PA012	109	74	75	35.8	Normal
PA013	105	87	63	37.3	Normal
PA014	128	77	85	35.7	Normal

PA015	109	86	66	37.1	Normal
PA016	145	79	82	36.7	Hipertensi
PA017	104	75	90	37.1	Normal
PA018	110	87	76	37.3	Normal
PA019	104	57	87	38	Demam
PA020	98	76	63	37.6	Demam
PA021	125	79	63	37.4	Normal
PA022	107	82	80	37.7	Demam
PA023	137	74	75	36.8	Normal
PA024	120	62	61	36.9	Normal
PA025	91	82	72	36.5	Normal
PA026	107	68	92	37	Normal
PA027	119	85	69	37.5	Demam
PA028	138	82	78	36.8	Normal
PA029	111	79	73	36.8	Normal
PA030	114	93	80	36.4	Normal

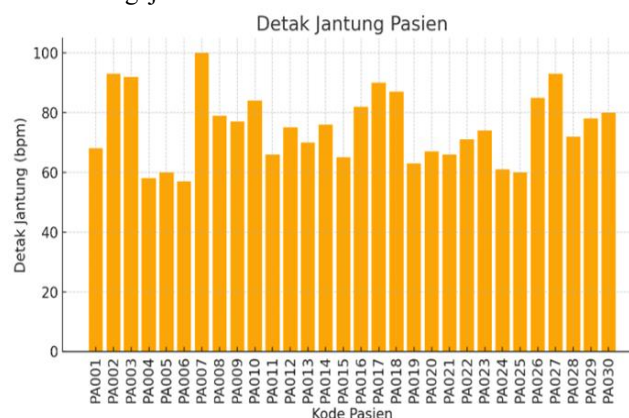
Berdasarkan Tabel 1. sistem berhasil mengukur dan mengklasifikasikan kondisi 30 pasien berdasarkan parameter vital yang diperoleh secara otomatis melalui sensor yang terintegrasi.



Gambar 11. Grafik Tekanan Darah

Grafik ini menunjukkan perbandingan tekanan sistolik (garis merah) dan diastolik (garis biru) untuk tiap pasien.

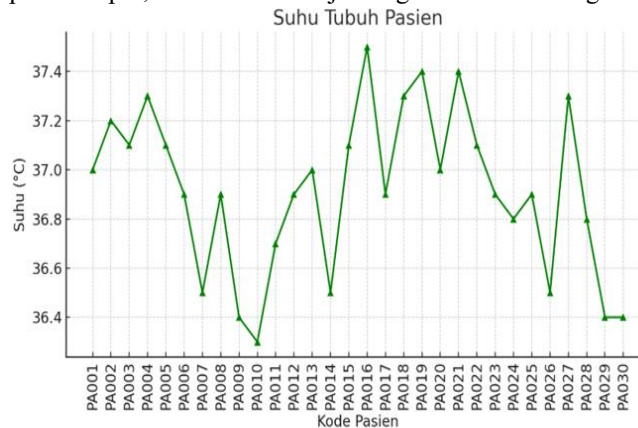
- Terlihat bahwa sebagian besar pasien memiliki tekanan sistolik antara 110–130 mmHg dan diastolik antara 70–90 mmHg, yang masih tergolong normal.
- Dua pasien (PA001 dan PA016) menunjukkan tekanan sistolik di atas 140 mmHg, masuk kategori hipertensi.
- Perbedaan antara sistolik dan diastolik (pulse pressure) cukup besar pada beberapa pasien, yang bisa menunjukkan risiko penyakit jantung jika disertai gejala.



Gambar 12. Grafik Detak Jantung

Grafik batang ini memperlihatkan detak jantung tiap pasien dalam satuan bpm (denyut per menit).

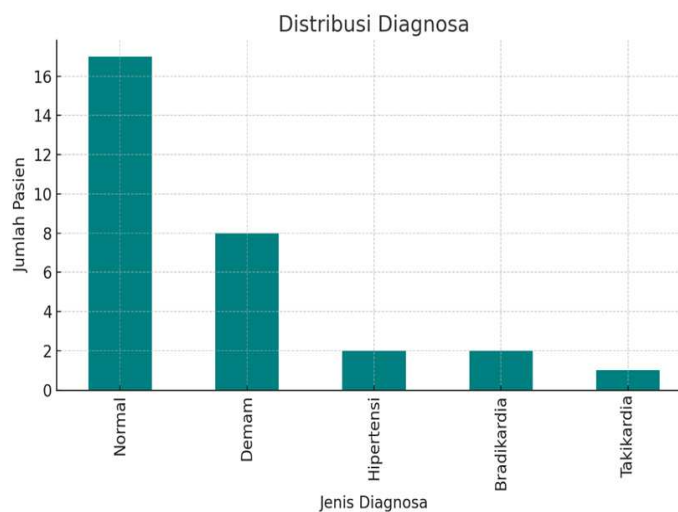
- Pasien dengan nilai sekitar 60–90 bpm menunjukkan detak jantung yang sehat.
- PA006 dan PA004 memiliki detak <60 bpm, tergolong bradikardia (lambat).
- PA007 mencatat nilai tepat 100 bpm, batas atas detak jantung normal — didiagnosis sebagai takikardia.



Gambar 13. Grafik Suhu Tubuh

Grafik ini menunjukkan fluktuasi suhu tubuh dari masing-masing pasien.

- Suhu tubuh sebagian besar berkisar antara 36,4°C hingga 37,2°C.
- Beberapa pasien seperti PA019, PA020, PA022, dan PA027 menunjukkan suhu $\geq 37,3^\circ\text{C}$, masuk kategori demam ringan.
- Dua pasien menunjukkan suhu $< 36^\circ\text{C}$ (PA008 dan PA012), yang dapat menandakan hipotermia ringan, meski belum tergolong darurat.



Gambar 14. Grafik Distribusi Diagnosa

Grafik batang ini merangkum jumlah pasien untuk setiap jenis diagnosa.

- Mayoritas pasien (lebih dari separuh) dikategorikan Normal, artinya semua parameter vital mereka dalam rentang sehat.
- “Demam” menjadi kondisi kedua terbanyak, mencerminkan gangguan ringan yang bisa terkait infeksi.
- Kasus Hipertensi, Bradikardia, dan Takikardia muncul namun hanya sedikit. Menunjukkan variasi kardiovaskular yang layak dipantau, terutama bila disertai keluhan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan sistem yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut : Telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sebuah sistem monitoring dan pendeteksi kondisi kesehatan pasien berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan beberapa sensor tanda vital ke dalam satu alat. Sistem ini mampu mengukur tekanan darah (sistolik dan diastolik), detak jantung (bpm), dan suhu tubuh (°C) secara otomatis melalui sensor-sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data hasil pengukuran dari alat dikirim secara nirkabel (Wi-Fi) ke server lokal dan ditampilkan secara real-time pada website monitoring. Website ini menampilkan data dalam bentuk tabel riwayat dan grafik statistik, serta menyediakan fungsi pendukung seperti pencarian data, detail data pasien, dan penghapusan entri. Dengan demikian, sistem ini mendukung proses pemantauan kondisi pasien secara efisien dan tanpa intervensi manual. Implementasi algoritma C4.5 dalam sistem ini berhasil melakukan diagnosa secara otomatis terhadap kondisi pasien berdasarkan parameter tekanan darah, detak jantung, dan suhu tubuh. Hasil klasifikasi dapat berupa kategori seperti Normal, Hipertensi, Bradikardia, Takikardia, Demam, dan gabungan kondisi tersebut. Algoritma C4.5 terbukti dapat bekerja dengan baik dalam menghasilkan keputusan berdasarkan data yang masuk. Uji coba sistem menggunakan 30 data sampel pasien menunjukkan bahwa sistem berjalan stabil, respon cepat, dan menghasilkan diagnosa yang relevan berdasarkan kondisi vital yang terbaca. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dapat digunakan sebagai alat bantu monitoring medis yang potensial, terutama untuk lingkungan klinik, puskesmas, atau tempat rawat inap dengan kebutuhan pengawasan berkelanjutan. Dari sisi teknis, sistem berhasil menunjukkan penerapan nyata dari konsep IoT (Internet of Things) dalam bidang kesehatan, dengan integrasi antara perangkat keras (hardware), pengolahan data (data processing), dan tampilan antarmuka pengguna (user interface) berbasis web. Sistem ini juga mendemonstrasikan bagaimana teknologi dapat digunakan untuk mendukung keputusan medis secara cepat dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- [1] Indah Purnama Sari. Algoritma dan Pemrograman. Medan: UMSU Press, 2023, pp. 290.
- [2] Indah Purnama Sari. Buku Ajar Pemrograman Internet Dasar. Medan: UMSU Press, 2022, pp. 300.
- [3] Indah Purnama Sari. Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak. Medan: UMSU Press, 2021, pp. 228.
- [4] Janner Simarmata Arsan Kumala Jaya, Syarifah Fitrah Ramadhani, Niel Ananto, Abdul Karim, Betrisandi, Muhammad Ilham Alhari, Cucut Susanto, Suardinata, Indah Purnama Sari, Edson Yahuda Putra. Komputer dan Masyarakat. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2024, pp.162.
- [5] Mahdianta Pandia, Indah Purnama Sari, Alexander Wirapraja Fergie Joanda Kaunang, Syarifah Fitrah Ramadhani Stenly Richard Pungus, Sudirman, Suardinata Jimmy Herawan Moedjahedy, Elly Warni, Debby Erce Sondakh. Pengantar Bahasa Pemrograman Python. Medan : Yayasan Kita Menulis, 2024, pp.180
- [6] Zelvi Gustiana Arif Dwinanto, Indah Purnama Sari, Janner Simarmata Mahdianta Pandia, Supriadi Syam, Semmy Wellem Taju Fitrah Eka Susilawati, Asmah Akhriana, Rolly Junius Lontaan Fergie Joanda Kaunang. Perkembangan Teknologi Informatika. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2024, pp.158
- [7] Muharman Lubis Ilham Firman Ashari, Debby Erce Sondakh, Rahmawati Rolly Junius Lontaan, Mustarum Musaruddin Indah Purnama Sari, Muh. Nadzirin Anshari Nur, Hanalde Andre Muh. Rais, Janner Simarmata. Internet of Things (IoT) Dan Multimedia: Integrasi Dan Aplikasi. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2024, pp.182

Jurnal

- [8] Adar Bakhsh Baloch, Q. (2017). No 11 Analysis of the covariance structure of health-related indicators in elderly people living at home, with a focus on subjective sense of health. Title. 11(1), 92-105. <https://doi.org/10.1136/bmj.j3310>
- [9] Sari, I.P., Al-Khowarizmi, A.K., Apdilah, D., Manurung, A.A., & Basri, M. (2023). Perancangan Sistem Pengaturan Suhu Ruangan Otomatis Berbasis Hardware Mikrokontroler Berbasis AVR. *sudo Jurnal Teknik Informatika* 2 (3), 131-142
- [10] Wardani, S., & Dewantoro, R.W. (2024). Internet of Things: Home Security System based on Raspberry Pi and Telegram Messenger. *Indonesian Journal of Applied Technology, Computer and Science* 1 (1), 7-13
- [11] Almaadawy, O., Uretsky, B. F., Krittanawong, C., & Birnbaum, Y. (2024). Target Heart Rate Formulas for Exercise Stress Testing: What Is the Evidence? *Journal of Clinical Medicine*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/jcm13185562>

- [12] Benjamin, E. J., Virani, S. S., Callaway, C. W., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., Chiuve, S. E., Cushman, M., Delling, F. N., Deo, R., De Ferranti, S. D., Ferguson, J. F., Fornage, M., Gillespie, C., Isasi, C. R., Jiménez, M. C., Jordan, L. C., Judd, S. E., Lackland, D., ... Muntner, P. (2018). Heart disease and stroke statistics - 2018 update: A report from the American Heart Association. In *Circulation* (Vol. 137, Issue 12). <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000558>
- [13] Sari, I.P., Al-Khowarizmi, A.K., Hariani, P.P., Perdana, A., & Manurung, A.A. (2023). Implementation And Design of Security System On Motorcycle Vehicles Using Raspberry Pi3-Based GPS Tracker And Facedetection. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika* 8 (3), 2003-2007
- [14] Y.Efendi, "Internet of Things (IoT) Light Control System Using Mobile-Based Raspberry Pi", *Scientific Journal of Computer Science*, Vol. 4, no. 1, April 2018.
- [15] Chauhan, H., & Chauhan, A. (2013). Implementation of decision tree algorithm c4. 5. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(10), 4-6. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Implementation+of+decision+tree+algorithm+c4.5#0>
- [16] Islam, M. (2023). The role of the Internet of Things in healthcare transformation. *Journal of Healthcare Informatics*, 19(2), 85-97. <https://scholar.google.com/scholar?q=The+Role+of+The+Internet+of+Things+in+Healthcare+Transformation>
- [17] Khera, A. V., Emdin, C. A., Drake, I., Natarajan, P., Bick, A. G., Cook, N. R., Chasman, D. I., Baber, U., Mehran, R., Rader, D. J., Fuster, V., Boerwinkle, E., Melander, O., Orho-Melander, M., Ridker, P. M., & Kathiresan, S. (2016). Genetic Risk, Adherence to a Healthy Lifestyle, and Coronary Disease. *New England Journal of Medicine*, 375(24), 2349-2358. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1605086>
- [18] Sari, I.P., Basri, M., Ramadhani, F., & Manurung, A.A. (2023). Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan. *Blend Sains Jurnal Teknik* 2 (1), 16-25
- [19] SJ Sokop et.al, "Peripheral Interface Trainer Based on Arduino Uno Microcontroller", *E-Journal of Electrical and Computer Engineering* vol.5 no.3 (2016).
- [20] Sari, I.P., & Batubara, I.H. (2020). Aplikasi Berbasis Teknologi Raspberry Pi Dalam Manajemen Kehadiran Siswa Berbasis Pengenalan Wajah. *JMP-DMT* 1 (4), 6
- [21] Lee, S. J., Xu, Z., Li, T., & Yang, Y. (2018). A novel bagging C4.5 algorithm based on wrapper feature selection for supporting wise clinical decision making. *Journal of Biomedical Informatics*, 78, 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.11.005>
- [22] McClelland, R. L., Jorgensen, N. W., Budoff, M., Blaha, M. J., Post, W. S., Kronmal, R. A., Bild, D. E., Shea, S., Liu, K., Watson, K. E., Folsom, A. R., Khera, A., Ayers, C., Mahabadi, A. A., Lehmann, N., Jöckel, K. H., Moebus, S., Carr, J. J., Erbel, R., & Burke, G. L. (2015). 10-Year Coronary Heart Disease Risk Prediction Using Coronary Artery Calcium and Traditional Risk Factors Derivation in the MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) with Validation in the HNR (Heinz Nixdorf Recall) Study and the DHS (Dallas Heart Stud. *Journal of the American College of Cardiology*, 66(15), 1643-1653. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.08.035>
- [23] Naresh, V. S., & Pericherla, S. S. (2020). Internet of Things in Healthcare: Architecture, Applications, Challenges, and Solutions. *Systems Science & Engineering*, 12(3), 112-127. <https://pdfs.semanticscholar.org/e1c8/de3b073e68d112351be94e326e82731d4f01.pdf>
- [24] Sari, I.P., Batubara, I.H., & Basri, M. (2022). Implementasi Internet of Things Berbasis Website dalam Pemesanan Jasa Rumah Service Teknisi Komputer dan Jaringan Komputer. *Blend Sains Jurnal Teknik* 1 (2), 157-163
- [25] Matondang, M.H.A., Asadel, A., Fauzan, D., & Setiawan, A.R. (2024). Smart Helmet for Motorcycle Safety Internet of Things Based. *Tsabit Journal of Computer Science* 1 (1), 35-39
- [26] Sari, I.P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A., Ramadhani, F., & Satria, A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik* 2 (4), 337-343
- [27] Husaini, A., & Sari, I.P. (2023). Konfigurasi dan Implementasi RB750Gr3 sebagai RT-RW Net pada Dusun V Suka Damai Desa Sei Meran. *sudo Jurnal Teknik Informatika* 2 (4), 151-158
- [28] Nazir, F., Ahmad, R., & Patel, K. (2019). Internet of Things for healthcare using mobile computing. *International Journal of IoT Applications*, 7(1), 22-35. <https://scholar.google.com/scholar?q=Internet+of+Things+for+Healthcare+using+Mobile+Computing>
- [29] Prafanto, D., Rahman, S., & Widodo, B. (2023). Air pollution assessment of Samarinda using the C4.5 algorithm. *Environmental Science and Data Analytics*, 14(1), 110-125. <https://scholar.google.com/scholar?q=Air+Pollution+Assessment+of+Samarinda+Using+the+C4.5+Algorithm>
- [30] Qadri, A., Kumar, P., & Singh, D. (2020). The future of healthcare Internet of Things: A survey of emerging technologies. *Health Informatics Review*, 10(2), 45-63.