



Analisis Presisi Komunikasi Data Proses ADC Monitoring pH Air Berbasis Mikrokontroler 8-Bit

Reski Yulian Fauzan¹, Lifwarda², Ricky Wahyudi³, Putra Manda⁴

¹²³Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

¹reskiyulian@pnp.ac.id, ²lifwarda@pnp.ac.id, ³rickywahyudi@pnp.ac.id, ⁴putramanda@pnp.ac.id

Abstract

Drinking water quality is a critical factor in maintaining human health with the degree of acidity (pH) is served as one of the primary parameters for determining water suitability for consumption. Digital pH measurement requires a data communication process that begins with the acquisition of analog signals from a sensor and ends with the presentation of information on an output device. This study aims to analyze the precision of the data communication process during Analog-to-Digital Converter (ADC) conversion in a drinking water pH monitoring system based on an 8-bit microcontroller architecture. The data flow begins with an electrochemical pH sensor that responds to hydrogen ions, generating an analog voltage signal inversely proportional to the measured pH value. The signal is then transmitted to the microcontroller's internal ADC, where it is converted into discrete binary data, logically processed using a mathematical regression constant, and subsequently transmitted as visual character instructions to an LCD module, displaying the water condition as Acidic, Neutral, or Alkaline. Empirical evaluation was conducted through calibration using standard pH buffer solutions of pH 4 and pH 7. The results demonstrate that the 8-bit microcontroller data processing algorithm consistently converts signal deviations with a measurement precision ranging from 97.40% to 98.52%. These findings confirm the reliability limit of the 8-bit ADC precision and establish it as a fundamental baseline for liquid analytical instrumentation.

Keywords: 8-bit architecture, data communication, analog to digital conversion, adc precision, water quality

Abstrak

Kualitas air minum merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kesehatan manusia, di mana derajat keasaman (pH) menjadi parameter utama dalam menilai kelayakan konsumsi air. Pengukuran pH secara digital memerlukan proses komunikasi data yang diawali dari akuisisi sinyal analog oleh sensor hingga penyajian informasi pada perangkat keluaran. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat presisi proses komunikasi data pada konversi Analog-to-Digital (ADC) dalam sistem pemantauan pH air berbasis mikrokontroler berarsitektur 8-bit. Aliran data diawali dari akuisisi sensor pH elektrokimia yang merespons ion hidrogen, menghasilkan sinyal tegangan analog yang berbanding terbalik dengan nilai ukur pH. Sinyal tersebut dialirkan menuju ADC internal mikrokontroler untuk dikonversi menjadi data biner diskrit, diproses secara logis berdasarkan konstanta regresi matematis, dan ditransmisikan sebagai instruksi karakter visual ke modul LCD berupa klasifikasi kondisi Asam, Normal, atau Basa. Evaluasi empiris dilakukan melalui pengujian kalibrasi dengan larutan standar *pH buffer* 4 dan 7. Hasil analisis menunjukkan algoritma pemrosesan data arsitektur 8-bit mampu mengonversi deviasi sinyal secara konsisten dengan presisi pembacaan sebesar 97,40% hingga 98,52%. Kajian ini membuktikan batas keandalan presisi ADC mikro 8-bit sebagai rujukan utama (*baseline*) untuk instrumen analitik zat cair.

Kata kunci: arsitektur 8-bit, komunikasi data, konversi analog ke digital, presisi ADC, kualitas air



1. Pendahuluan

Kualitas air minum merupakan faktor krusial bagi kelangsungan kesehatan metabolisme tubuh, di mana salah satu parameter penentu utamanya adalah tingkat keasaman atau derajat pH [1], [2]. Berdasarkan standar kelayakan dan rekomendasi kesehatan, air yang sehat untuk dikonsumsi secara harian harus berada pada rentang kadar pH netral hingga basa lemah, yakni antara 6,5 hingga 8,5 [3], [4]. Konsumsi air dengan kadar pH di bawah 6,5 (asam) memiliki probabilitas memicu gangguan pencernaan, sedangkan air dengan pH di atas 8,5 (basa atau pahit) dapat memperberat kinerja organ metabolisme seperti lever dalam memproses detoksifikasi [5], [6]. Pengukuran parameter derajat keasaman ini secara fundamental didasarkan pada aktivitas ion hidrogen yang terlarut di dalam suatu zat cair [7], [8].

Dalam operasional industri modern, khususnya pada fasilitas produksi air minum isi ulang, pemantauan kualitas pH secara kontinu amat diperlukan untuk menjamin stabilitas mutu produk yang didistribusikan kepada masyarakat [9], [10]. Pemanfaatan instrumen elektronik komputasi dalam sistem kendali modern sendiri telah berkembang pesat. Sebagaimana riset-riset terkini yang telah dipublikasikan, integrasi komputasi instrumen digital kini menjadi ujung tombak di berbagai sektor, baik pada pengembangan sistem integrasi Internet of Things (IoT) berbasis mikrokontroler dan komputasi Edge [16], hingga pemanfaatan algoritma logika pakar untuk sistem diagnosis yang presisi [17].

Pada konteks pemantauan kualitas cair, proses akuisisi parameter keasaman dioptimalkan menggunakan instrumen sensor pH berbasis elektroda kaca [11]. Sensor elektroda ini bekerja dengan mendeteksi interaksi ion hidrogen, kemudian meresponsnya dengan membangkitkan fluktuasi sinyal berbentuk tegangan analog [3], [12]. Akan tetapi, fluktuasi tegangan analog mentah ini belum dapat memberikan informasi langsung, sehingga membutuhkan sebuah sistem konversi dan aliran komunikasi data elektronik agar dapat dibaca secara presisi [4], [13].

Untuk membedah bagaimana proses konversi dan aliran data tersebut berlangsung, penelitian ini menggunakan mikrokontroler arsitektur 8-bit (seperti keluarga AVR ATmega8535) sebagai objek analisis komputasi [14], [15]. Penggunaan arsitektur 8-bit dalam studi ini tidak ditujukan sebagai bentuk komparasi arsitektur terhadap sistem komputasi modern, melainkan murni difungsikan sebagai instrumen dasar untuk menguji dan menganalisis secara spesifik tingkat presisi dari fitur *Analog to Digital Converter* (ADC). Sinyal tegangan analog dari sensor dialirkan menuju saluran ADC internal pada mikrokontroler tersebut untuk dikonversi menjadi representasi data biner diskrit [5], [10]. Alur konversi matematis dan klasifikasi data digital di dalam memori mikrokontroler ini kemudian dieksekusi menggunakan logika bahasa pemrograman *BASCOM-AVR* [8], [11].

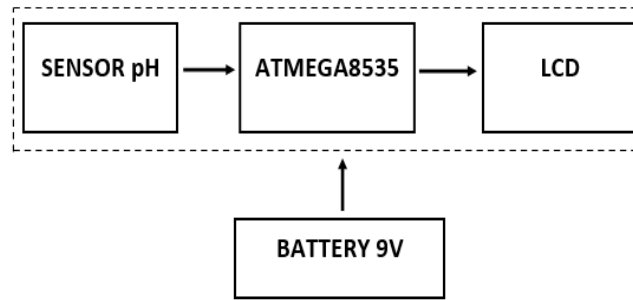
Sebagai tahap akhir dari komunikasi data, instruksi pemrosesan ditransmisikan menuju modul antarmuka visual berupa *Liquid Crystal Display* (LCD) [7], [13]. Modul LCD bertugas menerima aliran data digital berupa karakter ASCII dari mikrokontroler untuk menyajikan representasi visual kadar pH [1], [15]. Bertitik tolak dari hal tersebut, penelitian ini memfokuskan kajian untuk menganalisis tingkat presisi proses konversi *Analog-to-Digital* serta karakteristik aliran komunikasi datanya; mulai dari titik akuisisi sensor analog, evaluasi resolusi ADC pada arsitektur 8-bit, hingga presentasi status kualitas air (Asam, Normal, Basa) pada antarmuka penampil [2], [14].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium (*laboratory research*) untuk memodelkan dan mengevaluasi presisi aliran komunikasi data konversi analog ke digital. Tahapan perancangan dan analisis difokuskan pada tiga segmen utama: arsitektur aliran data perangkat keras, algoritma konversi perangkat lunak, dan metode pengujian presisi pembacaan.

2.1. Arsitektur Perangkat Keras dan Aliran Data

Model aliran komunikasi data dibangun dalam tiga blok fungsional utama, yaitu unit input (sensor), unit pemroses data diskrit (mikrokontroler 8-bit), dan unit antarmuka *output* (layar LCD). Sebagai bahan studi analisis, mikrokontroler arsitektur 8-bit jenis ATmega8535 digunakan sebagai pusat kendali aliran data mandiri (*stand-alone*). Sistem ini didukung oleh catu daya baterai 9V dan rangkaian *minimum system* yang mencakup osilator kristal 8 MHz untuk menjaga stabilitas siklus instruksi komputasi.



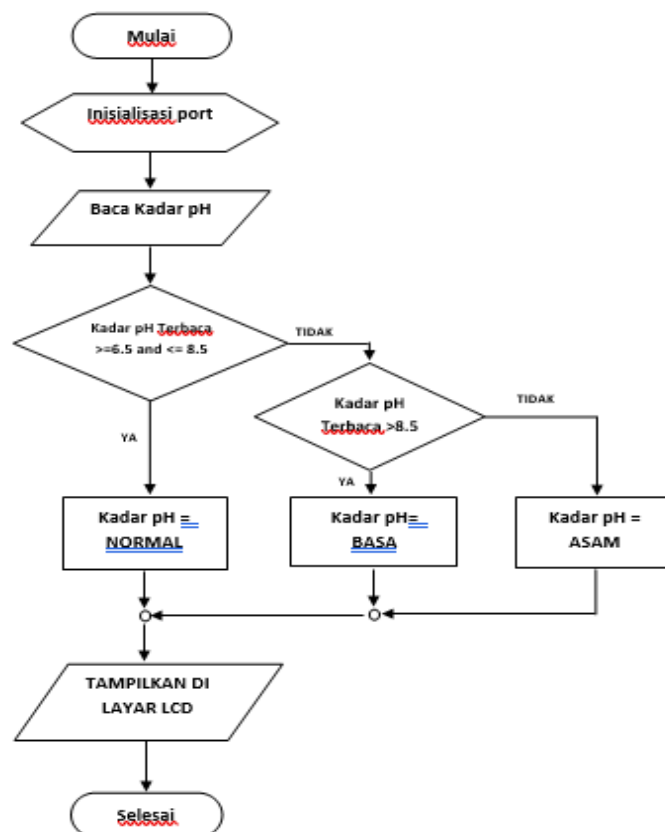
Gambar 1. Blok Diagram Rangkaian

2.2. Proses Akuisisi Sinyal Analog

Tahap pertama aliran data adalah akuisisi parameter kimia oleh sensor pH yang mendeteksi aktivitas ion hidrogen di dalam air. Sinyal yang dibangkitkan merupakan tegangan analog kontinu dengan karakteristik linier berbanding terbalik terhadap nilai pH. Sensor dikalibrasi pabrik untuk menghasilkan tegangan awal 1,75 Volt pada kondisi netral (larutan *buffer* pH 7), di mana tegangan akan berfluktuasi sebesar 0,25 Volt untuk setiap deviasi satu tingkat nomor pH. Tegangan analog tersebut dialirkan dari pin keluaran (pin 6) sensor menuju pin 39 yang terintegrasi dengan saluran ADC1 pada mikrokontroler ATMEga8535 untuk memasuki tahap konversi.

2.3. Algoritma Konversi ADC dan Pemrosesan Klasifikasi Data

Sinyal analog dari pin 39 disampel oleh fitur *Analog to Digital Converter* (ADC) internal mikrokontroler untuk diubah menjadi representasi bilangan biner diskrit. Algoritma pemrosesan data tersebut disusun menggunakan perangkat lunak *compiler BASCOM-AVR*. Komputasi logika diprogram untuk mengonversi nilai ADC menjadi data tegangan, yang kemudian dikalkulasikan ke dalam nilai derajat keasaman air. Setelah data dikalkulasi, algoritma mengevaluasi nilai tersebut ke dalam tiga blok percabangan (klasifikasi) kondisi sebelum ditransmisikan ke LCD.



Gambar 2. Flowchart Program

2.4. Metode Kalibrasi dan Pengujian Presisi

Untuk menganalisis tingkat presisi konversi data pada sistem 8-bit ini, metode pengujian komparatif dilakukan dengan menggunakan sampel cairan standar pH buffer 4 dan pH buffer 7. Pengambilan data (sampling) dilakukan sebanyak lima kali iterasi pada tiap-tiap titik sampel untuk mengidentifikasi konsistensi dan stabilitas konversi data ADC

Analisis evaluasi presisi dilakukan dengan menghitung deviasi antara hasil konversi komputasi mikrokontroler dengan nilai rujukan larutan buffer. Persentase ketidakpastian (tingkat error) dihitung menggunakan persamaan matematis berikut:

Setelah tingkat kesalahan konversi diketahui, persentase kepresisian (ketelitian) aliran komunikasi data ADC pada instrumen pengukuran ditentukan berdasarkan selisih persentase sempurna dengan tingkat *error* yang dihasilkan, sesuai dengan formulasi:

3. Hasil dan Pembahasan

Fokus utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi keandalan mikrokontroler 8-bit (ATMega8535) dalam memproses aliran data konversi *Analog-to-Digital Converter* (ADC) secara presisi, mulai dari penerimaan sinyal sensor hingga transmisi karakter ke layar LCD.

3.1. Analisis Presisi dan Kalibrasi ADC

Untuk memverifikasi tingkat kepresisian komputasi ADC pada sistem, pengujian dilakukan menggunakan larutan standar yang telah terkalibrasi, yakni *pH buffer* 4 dan *pH buffer* 7. Mikrokontroler diprogram untuk melakukan *sampling* sinyal secara berulang sebanyak 5 kali pada masing-masing larutan untuk menguji konsistensi konversi.

Berdasarkan pengujian aliran data tersebut, konversi komputasi internal mikrokontroler menghasilkan rata-rata *error* absolut sebesar 0,124 pada kedua titik pengujian. Menggunakan formulasi persentase *error* yang telah ditetapkan pada metodologi, persentase ketidakpastian pembacaan sinyal pada *pH buffer* 4 adalah sebesar 2,60%. Sedangkan pada *pH buffer* 7, persentase ketidakpastian berada di angka 1,48%

Berdasarkan data simpangan tersebut, analisis presisi aliran konversi data pada arsitektur 8-bit ini dapat dihitung sebagai berikut:

pH Buffer 4

$$\text{Ketelitian atau Kepresisian} = 100 \% - 2.60 \% = 97.40 \%$$

pH Buffer 7

$$\text{Ketelitian atau Kepresisian} = 100 \% - 1.48 \% = 98.52 \%$$

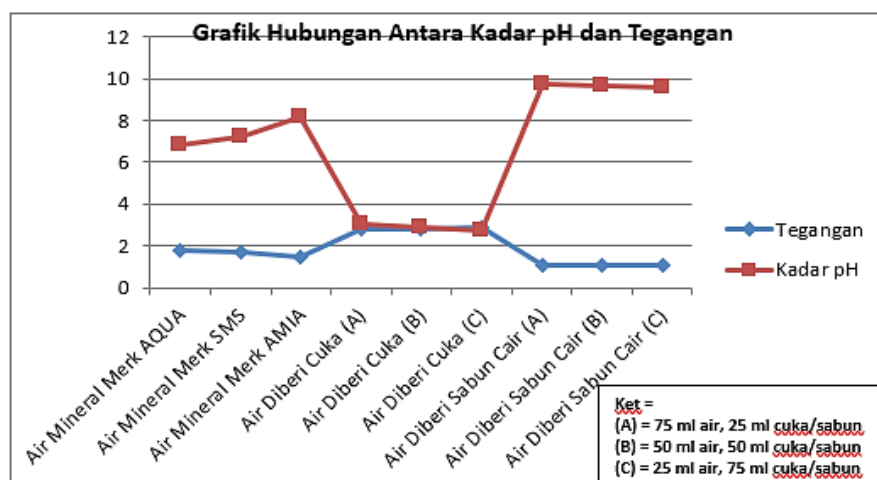
Tingkat presisi yang mencapai rentang 97,40% hingga 98,52% ini membuktikan bahwa arsitektur 8-bit murni memiliki keandalan komputasi yang sangat tinggi dan stabil dalam memetakan konversi tegangan analog sensor kimia menjadi data diskrit. Persentase ketidakpastian yang sangat kecil tersebut umumnya dipengaruhi oleh faktor eksternal lingkungan, seperti suhu ruangan maupun batas toleransi komponen perangkat keras yang digunakan

3.2. Karakteristik Konversi Sinyal Tegangan Terhadap *pH*

Tahap selanjutnya adalah mengevaluasi karakteristik linearitas aliran data menggunakan sampel cairan riil dengan variasi tingkat keasaman, mulai dari air mineral komersial, larutan asam (campuran cuka), hingga larutan basa (campuran sabun cair). Hal ini bertujuan untuk menguji respon ADC mikrokontroler terhadap rentang tegangan yang lebih luas.

Data hasil akuisisi menunjukkan adanya korelasi yang sangat jelas antara input sinyal tegangan analog yang diterima pin ADC dengan *output* pH yang diproses secara logis di dalam mikrokontroler. Sebagai contoh, pada

sampel cairan yang sangat asam (75 ml air dicampur 75 ml cuka), tegangan input yang terbaca mencapai 2,86 Volt dan dikonversi menjadi pH 2,73. Sebaliknya, pada larutan basa (campuran sabun), ketika tegangan input merosot hingga 1,05 Volt, komputasi menghasilkan nilai pH 9,71. Pada larutan netral (air mineral komersial), tegangan terukur berada di kisaran 1,45 hingga 1,79 Volt untuk rentang pH 6,84 hingga 8,17.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar pH dan Tegangan

Analisis grafik memvalidasi bahwa sistem konversi ADC pada mikrokontroler berhasil mempertahankan karakteristik *datasheet* sensor, yakni berbanding terbalik. Semakin rendah tegangan analog yang dialirkan ke port mikrokontroler, maka algoritma komputasi akan menghasilkan nilai derajat keasaman (*pH*) yang semakin tinggi, dan sebaliknya.

3.3. Implementasi Transmisi Instruksi Karakter Visual

Tahap akhir dari aliran komunikasi data diuji melalui evaluasi eksekusi instruksi percabangan (*If-Then*) yang dikirim dari mikrokontroler menuju modul antarmuka LCD. Transmisi data biner tersebut berhasil diterjemahkan oleh *ROM* internal LCD menjadi karakter visual yang relevan dengan hasil hitung ADC.

Pada pengujian larutan dengan nilai $pH \leq 6,4$, mikrokontroler berhasil mentransmisikan string "ASAM" ke layar penampil. Untuk pembacaan di mana $6,5 \leq pH \leq 8,4$, data yang mengalir secara presisi memunculkan klasifikasi "NETRAL". Serta untuk $pH \geq 8,5$, sistem berhasil mengirimkan klasifikasi "BASA".



Gambar 4. Kolase Hasil Pengujian LCD

Secara keseluruhan, analisis data empiris membuktikan bahwa arsitektur 8-bit mampu menjalankan fungsi vital sebagai pusat penerjemah komunikasi data perangkat keras untuk parameter pemantauan air.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis aliran komunikasi data yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Arsitektur mikrokontroler 8-bit terbukti andal dalam menjalankan fungsinya sebagai pengolah data utama, yang secara presisi mengonversi tegangan analog dari sensor pH menjadi tegangan digital melalui fitur ADC, hingga memvisualisasikannya melalui penampil LCD
2. Analisis empiris memvalidasi karakteristik konversi sinyal sensor di mana semakin rendah tegangan yang masuk ke mikrokontroler, maka hasil komputasi kadar pH akan semakin tinggi. Sebaliknya, peningkatan tegangan input berbanding lurus dengan penurunan kadar pH yang dihasilkan, sesuai dengan spesifikasi standar sensor
3. Sistem secara konsisten berhasil mengeksekusi instruksi aliran komunikasi data dari hulu ke hilir; yakni membaca input sensor, mencocokkannya dengan syarat kondisi program, dan menampilkan informasi berupa nilai tegangan, angka kadar pH, serta kategori kualitas keasaman pada layar antarmuka. Kepresisian konversi algoritma pada arsitektur 8-bit ini mencapai 97,40% hingga 98,52%, membuktikan kelayakannya sebagai *baseline* pemrosesan data instrumen analitik.

Daftar Rujukan

- [1] A. Rahman dan H. Santoso, "Sistem Pemantauan Kualitas Air Minum Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 45-52, 2018.
- [2] B. Yanto, "Analisis Parameter pH dan Kekeruhan pada Air Minum Isi Ulang," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 12-18, 2019.
- [3] C. Setiawan, dkk., "Karakterisasi Sensor pH Analog untuk Sistem Monitoring Kualitas Cairan," *Jurnal Instrumentasi*, vol. 4, no. 3, pp. 110-117, 2020.
- [4] D. Pratama, "Perancangan Akuisisi Data Sensor Analog Berbasis Analog-to-Digital Converter (ADC)," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 215-222, 2021.
- [5] E. Susanti dan R. Gunawan, "Implementasi Konversi Data Analog ke Digital pada Sistem Pengukuran Terintegrasi," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 12, no. 4, pp. 99-105, 2017.
- [6] F. Kurniawan, "Pemodelan Sensor Kualitas Air untuk Deteksi Kandungan Asam dan Basa Terlarut," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 12, no. 1, pp. 30-36, 2016.
- [7] G. Nugroho, "Desain Sistem Komunikasi Data Berbasis I2C dan Paralel pada Modul LCD Display," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 33-40, 2018.
- [8] H. Wijaya, "Otomatisasi Sistem Pengukuran Derajat Keasaman (pH) Air Menggunakan Instrumen Sensor Cerdas," *Jurnal Fisika Terapan*, vol. 15, no. 2, pp. 78-85, 2019.
- [9] I. Saputra, dkk., "Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air Secara Real-Time Menggunakan Mikrokontroler," *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 150-158, 2020.
- [10] J. Hidayat, "Studi Aliran Data Digital pada Arsitektur Mikrokontroler 8-bit untuk Aplikasi Akuisisi Sensor," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 14, no. 1, pp. 45-53, 2021.
- [11] K. Anwar, "Pemrosesan Sinyal Sensor Kualitas Air untuk Penentuan Status Mutu Air Berbasis Logika Pemrograman," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 3, pp. 211-219, 2022.
- [12] L. Maulana, "Sistem Kalibrasi Otomatis Sensor pH Berbasis Mikrokontroler untuk Industri Air Minum," *Jurnal Metrologi*, vol. 7, no. 2, pp. 60-68, 2023.
- [13] S. M. Ikhsan dan A. Fauzi, "Evaluasi Keandalan Transmisi Data Karakter Antarmuka Sensor pada Layar Penampil," *Jurnal Rekayasa Sistem*, vol. 10, no. 1, pp. 22-30, 2024.
- [14] N. Fitriani, "Pemanfaatan ADC Internal Mikrokontroler AVR untuk Konversi Tegangan Sensor Kimia," *Jurnal Elektronika Terapan*, vol. 3, no. 4, pp. 18-25, 2016.
- [15] O. Permana, "Rancang Bangun Antarmuka Visual Modul LCD 16x2 untuk Monitoring Parameter Lingkungan," *Jurnal Instrumentasi dan Kontrol*, vol. 5, no. 2, pp. 88-95, 2015.
- [16] A. Syawalidipa, I. Gaputra, A. F. Kasmar, dan D. E. Putra, "Sistem Smart Door Lock Terintegrasi IoT dan Face Recognition Berbasis Edge Computing," *Jurnal Pustaka AI (Pusat Akses Kajian Teknologi Artificial Intelligence)*, vol. 6, no. 2, pp. 234-242, 2026.
- [17] R. Budiarsa dan N. P. Putra, "Sistem Pakar Dengan Case Base Reasoning Dan Certainty Factor Untuk Diagnosa THT," *Jurnal Pustaka AI (Pusat Akses Kajian Teknologi Artificial Intelligence)*, vol. 6, no. 2, pp. 210-221, 2026.
