

MODUL ELEKTROOKULOGRAFI BERBASIS MIKROKONTROLER: DETEKSI ARAH BOLA MATA MENGUNAKAN ANALISIS TEGANGAN THRESHOLD

Oleh : Sheilla Nadia Valina¹, Mohammad Rofi'i², Mohammadhisyam Sabiq³, Faizah⁴,
Devi Yesitasari⁵

Jurusan Teknik Elektro^{1,4,5}, Politeknik Negeri Semarang^{1,4,5}
Jurusan Teknik Elektro Medik^{2,3}, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan
Semarang^{2,3}

E-mail: sheilla.nadiavalina@polines.ac.id¹

Abstrak

Elektrookulografi (EOG) merupakan teknik perekaman sinyal bioelektrik yang dihasilkan dari perbedaan potensial antara kornea dan retina mata. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan modul elektrookulografi berbasis mikrokontroler Arduino Nano guna mendeteksi arah gerakan bola mata. Sinyal EOG ditangkap menggunakan elektroda AgCl yang diperkuat dan disaring melalui modul AD8232. Sistem menggunakan lima responden yang diminta melakukan lima arah gerakan mata. Data sinyal analog diproses melalui ADC internal Arduino dan dianalisis menggunakan metode tegangan ambang (threshold) untuk mengklasifikasikan arah pandangan. Hasil deteksi ditampilkan melalui LCD 16x2 dan divisualisasikan dengan dua motor servo. Sistem mampu mengenali gerakan mata dengan akurasi rata-rata 86,6%. Modul ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai antarmuka manusia-mesin (HMI), khususnya untuk pengguna disabilitas.

Kata kunci : elektrookulografi, Arduino Nano, AD8232, deteksi gerakan mata, threshold tegangan.

Abstract

Electrooculography (EOG) is a technique for recording bioelectrical signals generated by the potential difference between the cornea and retina of the eye. This study aims to design and implement an EOG module based on the Arduino Nano microcontroller to detect eye movement directions. EOG signals are captured using AgCl electrodes, then amplified and filtered through the AD8232 module. The system involves five respondents, each performing five different eye movement directions. The analog signal data are processed through the Arduino's internal ADC and analyzed using a voltage threshold method to classify gaze direction. The detection results are displayed via a 16x2 LCD and visualized using two servo motors. The system successfully recognizes eye movement directions with an average accuracy of 86.6%. This module has the potential to be further developed as a human-machine interface (HMI), particularly for users with disabilities.

Keywords : electrooculography, Arduino Nano, AD8232, eye movement detection, voltage threshold.

1. Pendahuluan

Elektrookulografi (EOG) adalah teknik perekaman sinyal bioelektrik yang memanfaatkan perbedaan potensial antara kornea dan retina. Sinyal ini termasuk dalam kategori sinyal biopotensial dan umumnya berkisar antara 15 hingga 200 μV , tergantung arah dan kecepatan pergerakan bola mata (Purnomo, 2019). Dalam kondisi statis, terdapat gradien potensial tetap antara kutub mata yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi

arah pandangan.

EOG merupakan metode yang menjanjikan dalam bidang biomedis dan sistem kendali karena dapat digunakan untuk mendiagnosis gangguan mata, memantau kelelahan, serta mengembangkan sistem kendali non-kontak berbasis gerakan mata, seperti penggerak kursi roda atau pengontrol perangkat rumah pintar (Wulandari & Santosa, 2023; Yusuf & Ramadhan, 2020). Keunggulan utama EOG

dibandingkan metode pelacakan pupil berbasis kamera adalah daya tahannya terhadap pencahayaan dan kecepatan respons yang tinggi (Fauzan, 2017).

Dalam bidang teknik elektro, sinyal EOG memiliki kontribusi penting terhadap pengembangan antarmuka manusia-mesin (Human-Machine Interface/HMI), yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan perangkat hanya melalui sinyal biologis. Mikrokontroler seperti Arduino Nano banyak digunakan dalam prototipe sistem HMI karena keunggulannya dalam hal fleksibilitas, ukuran kecil, serta kemampuannya dalam memproses sinyal analog secara *real-time* (Putra, 2020).

Penelitian ini menggunakan modul AD8232 sebagai penguat sinyal EOG, yang pada dasarnya dirancang untuk sinyal EKG, namun dapat digunakan juga untuk EOG karena kesamaan dalam karakteristik amplitudo dan frekuensinya. Modul ini mampu menyaring *noise* dan memperkuat sinyal sehingga dapat diproses lebih lanjut oleh Arduino Nano (Nugroho, 2015).

Sinyal EOG yang masuk ke mikrokontroler akan dianalisis berdasarkan nilai ambang tegangan (*threshold*) untuk menentukan arah gerakan mata. Rentang tegangan yang ditetapkan memungkinkan sistem mengklasifikasikan lima arah pandang: kanan, kiri, atas, bawah, dan tengah, tanpa menggunakan algoritma komputasi berat. Hasil deteksi arah mata ditampilkan melalui LCD 16x2 dan divisualisasikan menggunakan dua motor servo yang berfungsi sebagai indikator arah mekanis (Setiawan, 2020).

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) merancang sistem deteksi arah bola mata berbasis mikrokontroler dengan

pendekatan *threshold*, (2) mengimplementasikan penguatan sinyal menggunakan AD8232 dan analisis digital pada Arduino Nano, serta (3) menampilkan hasil deteksi secara *real-time* melalui LCD dan motor servo sebagai indikator visual.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian oleh Exaudi et al. (2022) mengembangkan sistem kontrol robot menggunakan sinyal EOG berbasis Arduino Uno dan modul penguat sinyal. Metode yang digunakan meliputi pemasangan elektroda AgCl dan analisis sinyal tegangan untuk menggerakkan robot ke arah kanan dan kiri. Hasilnya menunjukkan akurasi pergerakan sebesar 88% berdasarkan respon amplitudo sinyal horizontal (Exaudi et al., 2022).

Lestari dan Yuniarti (2021) merancang sistem smarthome berbasis EOG menggunakan Arduino Nano dan motor servo. Elektroda AgCl digunakan untuk menangkap sinyal EOG dan mendeteksi gerakan mata ke kanan dan kiri berdasarkan nilai ambang tegangan. Hasil pengujian menunjukkan akurasi kendali sebesar 85% dengan respon waktu kurang dari 1 detik (Lestari & Yuniarti, 2021).

Laksono et al. (2021) mengusulkan pendekatan satu kanal untuk pengolahan sinyal EOG menggunakan karakterisasi vektor dan deteksi puncak. Sistem ini dirancang untuk kontrol multimedia sederhana dengan satu arah gerakan. Metode ini berhasil membedakan antara sinyal aktif dan sinyal diam dengan akurasi 90% (Laksono et al., 2021).

Penelitian oleh Wulandari dan Santosa (2023) mengembangkan sistem deteksi kelelahan berbasis EOG dengan pemrosesan sinyal menggunakan metode ekstraksi fitur waktu. Sistem dirancang

untuk memantau tingkat kelelahan pengemudi kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengidentifikasi kondisi mengantuk dengan akurasi sebesar 87% (Wulandari & Santosa, 2023).

Sementara itu, Yusuf dan Ramadhan (2020) mengusulkan sistem deteksi kedipan mata berbasis EOG satu kanal untuk mengontrol perangkat lampu rumah tangga. Metode yang digunakan adalah deteksi pola sinyal naik-turun dari kedipan mata. Sistem berhasil merespons perintah dengan akurasi 90% dan waktu tanggap kurang dari 1 detik (Yusuf & Ramadhan, 2020).

Kelima penelitian tersebut menyoroti potensi besar sinyal EOG dalam sistem kendali dan pemantauan. Namun, sebagian besar hanya mengimplementasikan deteksi dua arah atau satu aksi saja. Penelitian ini memiliki keunggulan karena mampu mendeteksi lima arah gerakan mata (kanan, kiri, atas, bawah, dan tengah) secara *real-time* menggunakan pendekatan *threshold* sederhana tanpa memerlukan pemrosesan kompleks. Selain itu, penggunaan kombinasi LCD dan motor servo memberikan visualisasi hasil yang lebih jelas dan interaktif, menjadikannya lebih adaptif untuk aplikasi HMI berbasis sinyal biopotensial.

3. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental berbasis perangkat keras dan lunak, yang terdiri dari tahapan perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Tujuan utama dari metode ini adalah merancang sistem yang mampu mengenali arah gerakan mata dengan memanfaatkan sinyal EOG secara *real-time*, serta menguji akurasi dan konsistensi sistem terhadap beberapa pengguna

(responden).

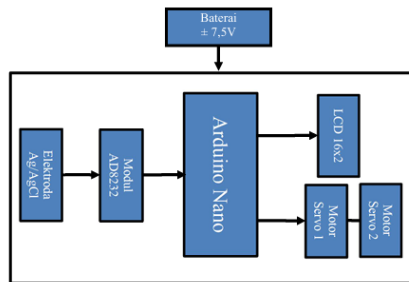
Langkah awal adalah merancang sistem akuisisi sinyal EOG yang terdiri dari elektroda permukaan (AgCl), penguat sinyal (modul AD8232), dan mikrokontroler Arduino Nano. Sinyal EOG yang sangat kecil ditangkap oleh elektroda, kemudian diperkuat dan disaring oleh AD8232 agar menghasilkan sinyal analog yang bersih dan stabil. Sinyal ini kemudian dikirim ke pin analog Arduino untuk dikonversi menjadi data digital dan diproses untuk klasifikasi arah gerakan.

Arduino Nano memproses data tersebut dengan membandingkan tegangan masukan dengan nilai *threshold* yang telah ditentukan. Apabila tegangan berada dalam rentang tertentu, sistem mengklasifikasikan arah gerakan mata sesuai rentang tegangan tersebut. Hasil pengklasifikasian ditampilkan pada layar LCD dan direspons secara mekanis oleh motor servo.

3.1 Rancangan Sistem

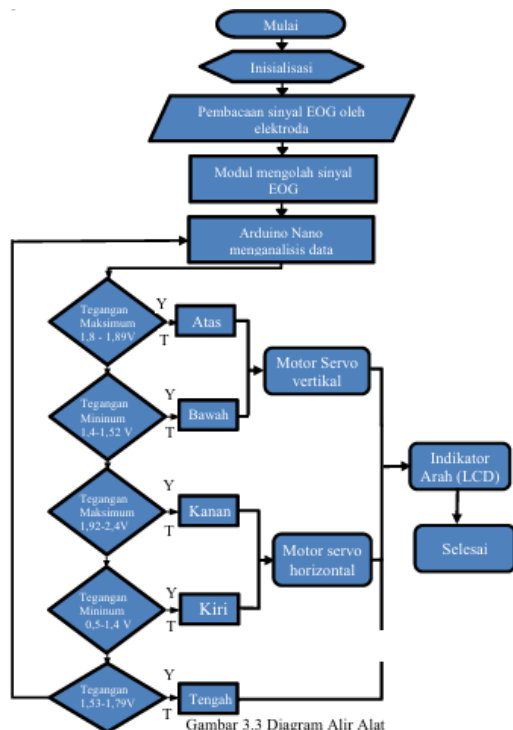
Sistem deteksi arah gerakan mata berbasis EOG ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Elektroda AgCl berfungsi untuk menangkap sinyal bioelektrik dari pergerakan bola mata, yang kemudian diteruskan ke modul AD8232 untuk dilakukan penguatan dan penyaringan. Sinyal analog yang telah dikondisikan tersebut selanjutnya dibaca oleh mikrokontroler Arduino Nano melalui pin analog, lalu diproses untuk menentukan arah gerakan mata berdasarkan rentang tegangan *threshold* yang telah ditetapkan. Output dari proses ini ditampilkan melalui LCD 16x2 untuk informasi tekstual, dan dua motor servo digunakan sebagai indikator visual untuk menggambarkan arah gerakan bola mata secara fisik (horizontal dan vertikal).

Integrasi seluruh komponen ini menghasilkan sistem yang dapat bekerja secara *real-time* dan responsif terhadap sinyal EOG pengguna.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem EOG

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem EOG yang terdiri dari elektroda AgCl, modul AD8232, Arduino Nano, LCD 16×2, dan dua motor servo. Sinyal dari mata diteruskan melalui AD8232 ke Arduino, yang kemudian mengolah dan menampilkan hasil deteksi gerakan pada LCD serta menggerakkan motor sesuai arah yang terdeteksi.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan Sistem

Gambar 2 menunjukkan diagram alir perencanaan sistem deteksi arah gerakan mata diawali dengan proses inisialisasi perangkat seperti LCD, motor servo, dan komunikasi serial. Setelah sistem aktif, Arduino Nano akan membaca sinyal analog dari modul AD8232 melalui pin input analog. Sinyal tersebut kemudian dikonversi menjadi data digital dalam satuan tegangan menggunakan fungsi ADC internal. Selanjutnya, sistem melakukan perbandingan nilai tegangan tersebut dengan rentang ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan sebelumnya untuk lima kategori arah gerakan mata, yaitu kanan, kiri, atas, bawah, dan tengah. Berdasarkan hasil klasifikasi, sistem akan menampilkan informasi arah gerakan bola mata pada layar LCD dan secara bersamaan menggerakkan motor servo untuk memberikan umpan balik visual berupa arah gerakan secara fisik. Seluruh proses ini berjalan secara kontinu dalam sebuah loop program agar sistem mampu merespons secara *real-time* terhadap perubahan posisi bola mata.

3.2 Penentuan Nilai *Threshold*

Penentuan nilai ambang (*threshold*) dalam sistem ini merupakan tahap penting yang bertujuan mengklasifikasikan sinyal EOG berdasarkan arah gerakan bola mata. Proses ini dilakukan dengan cara menguji beberapa responden yang diminta untuk menggerakkan mata ke lima arah berbeda, yaitu kanan, kiri, atas, bawah, dan posisi netral (tengah). Selama proses pengujian, sinyal EOG yang terekam oleh elektroda AgCl dan diperkuat oleh modul AD8232 dikirimkan ke Arduino Nano untuk dicatat nilai tegangannya.

Setiap arah gerakan mata menghasilkan pola tegangan yang khas, sehingga dilakukan pencatatan beberapa kali untuk memperoleh nilai yang stabil dan

representatif. Data hasil rekaman sinyal tersebut kemudian diolah untuk menentukan rentang tegangan rata-rata dari masing-masing arah gerakan. Hasil pengolahan tersebut digunakan sebagai batas atas dan bawah untuk setiap arah, yang selanjutnya dijadikan acuan *threshold* dalam pemrograman sistem deteksi.

Pengambilan data dilakukan dengan sampling rate sekitar 100 Hz, yang disesuaikan dengan kemampuan ADC internal Arduino Nano. Sinyal EOG dibaca secara terus-menerus dan dikonversi menjadi data digital untuk dibandingkan dengan nilai ambang. Setiap responden melakukan masing-masing gerakan mata sebanyak tiga kali, dan data yang dihasilkan dicatat untuk dihitung rata-rata serta simpangan bakunya. Proses ini digunakan untuk memastikan nilai *threshold* stabil dan akurat dalam klasifikasi gerakan. Waktu respons sistem dari perubahan tegangan hingga tampilan *output* (LCD dan motor servo) rata-rata berada di bawah 1 detik, yang menunjukkan sistem cukup responsif untuk aplikasi antarmuka *real-time*.

4. Hasil dan Pembahasan

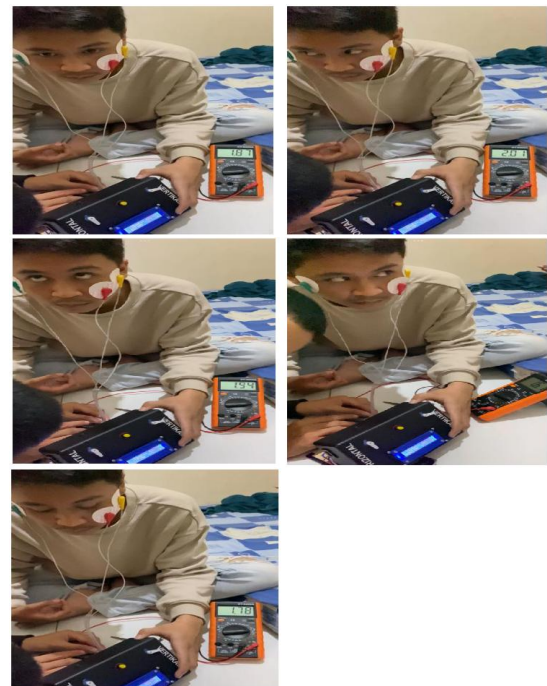
Pengujian sistem dilakukan terhadap lima responden untuk mengukur efektivitas deteksi arah gerakan mata. Masing-masing responden diminta untuk melakukan lima jenis gerakan mata (kanan, kiri, atas, bawah, dan tengah) sebanyak tiga kali secara berurutan. Tujuannya adalah untuk memperoleh data tegangan yang konsisten dan dapat diandalkan. Selama pengujian, sinyal EOG yang diperoleh dari elektroda AgCl diperkuat oleh modul AD8232 dan diproses oleh mikrokontroler Arduino Nano melalui konversi ADC.

Data tegangan dari masing-masing responden dicatat, lalu dianalisis dengan

membandingkannya terhadap batas *threshold* yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan nilai rata-rata hasil pengukuran awal. Rentang tegangan untuk masing-masing arah gerakan mata ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rentang Tegangan Berdasarkan Hasil Pengukuran

Arah Gerakan Mata	Hasil Tegangan
Tengah/Depan	1,53 – 1,79 V
Kanan	$\geq 1,92$ V
Kiri	$\leq 1,41$ V
Atas	1,80 – 1,89 V
Bawah	1,41 – 1,53 V



Gambar 3. Tegangan Output Modul saat Mata ke Tengah, Kanan, Kiri, Atas, dan Bawah.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem mampu mengenali arah gerakan bola mata dengan rata-rata akurasi sebesar 86,6%. Setiap kali mata digerakkan ke arah tertentu, tegangan yang terbaca pada pin analog Arduino akan dibandingkan dengan nilai

threshold, dan arah gerakan akan ditampilkan pada LCD 16x2. Selain itu, dua motor servo akan berputar ke arah horizontal dan vertikal sesuai arah gerakan yang terdeteksi, memberikan tampilan visual berupa gerakan penunjuk arah.

Hasil deteksi tegangan yang divisualisasikan pada LCD menunjukkan bahwa nilai minimum dan maksimum sesuai dengan nilai ADC yang telah dikalibrasi. Hal ini menandakan bahwa sistem mampu membaca sinyal bioelektrik dengan baik dan mengubahnya menjadi informasi arah gerakan mata secara akurat. Sistem juga dilengkapi dengan fitur deteksi kesalahan atau "*lead-off detection*" yang berasal dari kemampuan modul AD8232. Ketika elektroda tidak terpasang dengan benar atau terlepas, sistem akan memberikan peringatan berupa tampilan pesan kesalahan pada LCD. Fitur ini meningkatkan keandalan sistem ketika digunakan dalam skenario nyata atau jangka panjang.

Keunggulan utama dari sistem ini terletak pada kemampuannya membedakan lima arah gerakan mata dengan metode pemrosesan sederhana berbasis *threshold*. Pendekatan ini sangat sesuai untuk perangkat mikrokontroler seperti Arduino Nano yang memiliki keterbatasan kapasitas pemrosesan. Sistem juga menggabungkan visualisasi melalui dua motor servo dan tampilan LCD, menjadikannya intuitif dan mudah dipahami oleh pengguna. Berdasarkan hasil tersebut, sistem ini menunjukkan potensi besar untuk dikembangkan sebagai antarmuka manusia-mesin (HMI) berbasis sinyal biopotensial, terutama bagi pengguna dengan kebutuhan aksesibilitas atau keterbatasan gerak.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan sebuah modul elektrokulografi (EOG) berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang mampu mendeteksi arah gerakan bola mata secara *real-time*. Sistem menggunakan pendekatan klasifikasi berbasis ambang tegangan (*threshold*) untuk mengidentifikasi lima arah gerakan mata, yaitu kanan, kiri, atas, bawah, dan tengah. Sinyal EOG diperoleh melalui elektroda AgCl dan diperkuat menggunakan modul AD8232, kemudian diproses oleh Arduino Nano untuk ditampilkan secara visual melalui LCD 16x2 dan dua motor servo sebagai penunjuk arah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 86,6% dalam mengenali arah gerakan mata, dengan respon yang stabil dan konsisten pada lima responden. Fitur tambahan berupa deteksi kesalahan pemasangan elektroda (*lead-off detection*) juga berhasil meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi penggunaan nyata. Metode *threshold* yang diterapkan terbukti efektif dalam lingkungan mikrokontroler dengan keterbatasan daya pemrosesan, namun tetap mampu memberikan kinerja deteksi yang responsif. Dengan segala keunggulannya, sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai antarmuka manusia-mesin (Human-Machine Interface/HMI), terutama bagi penyandang disabilitas atau pengguna dengan keterbatasan fisik yang membutuhkan sistem kendali alternatif berbasis sinyal biopotensial.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat dimodifikasi dengan menambahkan komunikasi nirkabel seperti Bluetooth atau Wi-Fi untuk

aplikasi remote. Selain itu, penggunaan metode klasifikasi berbasis machine learning juga dapat diterapkan untuk meningkatkan akurasi deteksi secara adaptif terhadap karakteristik sinyal individu.

Daftar Pustaka

- M. H. Purnomo. 2019. *Pengolahan Sinyal Biomedis untuk Sistem Kendali dan Interfacing*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- I. W. Putra. 2020. *Mikrokontroler Arduino dalam Aplikasi Biomedik*. Surabaya: Penerbit Informatika.
- D. Exaudi, A. Rahmat, dan I. Utama. 2022. "Implementasi Elektrokulografi untuk Kendali Robot dengan Arduino Uno," dalam *Jurnal Elektro Indonesia*, vol. 14, no. 1.
- R. Lestari dan A. Yuniarti. 2021. "Sistem Smart Home Berbasis Elektrokulografi Menggunakan Arduino Nano," dalam *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 2.
- D. Laksono, R. Wibowo, dan A. Fitri. 2021. "Pemrosesan Sinyal EOG Satu Kanal untuk Kendali Multimedia," dalam *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 13, no. 3.
- H. Wulandari dan T. Santosa. 2023. "Pengembangan Antarmuka Mata untuk Pengguna Disabilitas Menggunakan EOG," dalam *Jurnal Ilmiah Elektro*, vol. 15, no. 1.
- A. K. Nugraha dan S. Y. Hidayat. 2020. "Desain Sistem Monitoring EOG dengan Bluetooth HC-05," dalam *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 8, no. 2.
- R. Y. Saputra. 2022. "Perancangan Sistem Kendali Gerakan Kursor Menggunakan EOG dan Arduino," dalam *Jurnal Sistem Kendali*, vol. 10, no. 2.
- L. Hartati. 2018. *Sistem Biometrik: Teori dan Aplikasi*. Bandung: Informatika.
- A. Fauzan. 2017. "Penggunaan Threshold pada Deteksi Sinyal Biomedik," dalam *Media Elektronika dan Informatika*, vol. 6, no. 1.
- D. Irawan. 2016. "Antarmuka Otak-Komputer Berbasis Sinyal Bioelektrik," dalam *Teknika: Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 12, no. 1.
- M. Rahmadi. 2023. "Analisis Perbandingan Metode Threshold dan SVM dalam Klasifikasi EOG," dalam *Jurnal Neural Engineering Indonesia*, vol. 4, no. 2.
- F. Prasetyo. 2021. "Sensor Biopotensial dan Aplikasinya dalam Medis," dalam *Jurnal Medis Elektronik*, vol. 7, no. 3.
- B. Nugroho. 2015. "Mengenal Sinyal Biopotensial: EEG, EMG, dan EOG," dalam *Teknologi Kedokteran Modern*, edisi Mei 2015.
- M. Setiawan. 2020. "Arduino Nano dan Pemrosesan Data Sinyal Analog," dalam *Majalah Elektronika Digital*, edisi No. 17.