

SISTEM *BIO-FEEDBACK* BERBASIS LASER *TIME-OF FLIGHT* UNTUK KOREKSI TEMPO GERAKAN PADA LATIHAN BEBAN MENGGUNAKAN PROTOKOL IOT DAN WEB DASHBOARD

Ramizat Ade Putra¹, Marah Doly Nst²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Email: pramizat@gmail.com¹, marahdoly@umsu.ac.id²

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *bio-feedback* berbasis laser *Time of-Flight* (ToF) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk membantu mengoreksi tempo gerakan pada latihan beban, khususnya *bicep curl*. Sistem dikembangkan menggunakan metode *prototyping* dengan ESP32 sebagai mikrokontroler utama dan sensor VL53L0X untuk mendeteksi perubahan jarak selama gerakan latihan. Data yang diperoleh diproses untuk mendeteksi siklus gerakan, menghitung durasi setiap repetisi, dan mengklasifikasikan tempo menggunakan metode *Fixed Threshold*. Tempo kurang dari 1,20 detik dikategorikan terlalu cepat, rentang 1,20–2,50 detik dikategorikan sesuai, sedangkan tempo lebih dari 2,50 detik dikategorikan terlalu lambat. Hasil klasifikasi digunakan untuk mengendalikan LED indikator dan *buzzer* sebagai media umpan balik visual dan suara. Data berupa jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke server web lokal untuk disimpan dalam basis data dan ditampilkan melalui *web Dashboard* secara *real-time*. Pengujian menunjukkan bahwa ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi dan berkomunikasi dengan server. Sistem juga mampu mendeteksi siklus gerakan, menghitung durasi repetisi, mengklasifikasikan tempo sesuai nilai ambang, serta memberikan respons *bio-feedback* berdasarkan kategori gerakan. Selain itu, seluruh data pengukuran berhasil diterima, disimpan, dan ditampilkan pada *web Dashboard*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai prototipe pemantauan tempo latihan beban yang menyediakan umpan balik langsung dan mendukung pemantauan hasil latihan berbasis web.

Kata kunci: *Bio-feedback*, *Time-of-Flight*, *Internet of Things*, ESP32, *Fixed Threshold*, latihan beban.

ABSTRACT

This study aims to develop a laser-based *Time of-Flight* (ToF) *bio-feedback* system integrated with *Internet of Things* (IoT) technology to assist in correcting movement tempo during weight training, specifically *bicep curls*. The system was developed using a *prototyping* method, utilizing an ESP32 as the main microcontroller and a VL53L0X sensor to detect distance changes during the exercise movement. The acquired data is processed to detect movement cycles, calculate the duration of each repetition, and classify the tempo using the *Fixed Threshold* method. Tempos of less than 1.20 seconds are categorized as too fast, the 1.20–2.50 second range as appropriate, and tempos exceeding 2.50 seconds as too slow. Classification results control an indicator LED and a *buzzer* to provide visual and auditory feedback. Data including distance, tempo, repetition count, and movement status is transmitted via Wi-Fi to a local web server for database storage and real-time display on a *web Dashboard*. Testing demonstrated that the ESP32 successfully connected to the Wi-Fi network and communicated with the server. The system was also capable of detecting movement cycles, calculating repetition duration, classifying tempo based on threshold values, and providing *bio-feedback* responses according to movement categories. Furthermore, all measurement data was successfully received, stored, and displayed on the *web Dashboard*. Thus, the developed system serves as a prototype for monitoring weight training tempo, providing immediate feedback and supporting web-based monitoring of training results.

Keywords: Bio-feedback, Time-of-Flight, Internet of Things, ESP32, Fixed Threshold, weight training

PENDAHULUAN

Latihan beban merupakan salah satu bentuk aktivitas fisik yang umum dilakukan untuk meningkatkan kekuatan otot, daya tahan, dan kebugaran tubuh. Dalam beberapa tahun terakhir, ketertarikan masyarakat terhadap kegiatan kebugaran semakin meningkat sejalan dengan kesadaran akan pentingnya olahraga secara teratur untuk menjaga kesehatan. Keberhasilan latihan beban tidak hanya ditentukan oleh beban yang digunakan, tetapi juga oleh ketepatan teknik dan konsistensi tempo gerakan. Tempo latihan merujuk pada kecepatan gerakan ketika mengangkat dan menurunkan beban. Apabila tempo gerakan tidak sesuai, efektivitas latihan dapat menurun dan risiko cedera meningkat, khususnya bagi individu yang berlatih tanpa pendampingan langsung dari pelatih (Navayo *et al.*, 2025).

Salah satu kendala yang sering dihadapi pengguna latihan beban adalah mempertahankan tempo gerakan secara konsisten selama sesi latihan. Kondisi ini dapat terjadi karena terbatasnya pengawasan pelatih dan belum tersedianya sistem yang mampu memberikan umpan balik secara langsung ketika latihan berlangsung. Akibatnya, pengguna berpotensi melakukan gerakan dengan kecepatan yang berlebihan atau tidak teratur sehingga hasil latihan menjadi kurang optimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem pemantauan yang dapat mendeteksi gerakan secara *real-time* dan menyampaikan informasi kepada pengguna sebagai dasar untuk memperbaiki teknik latihan (Schulthess *et al.*, 2023).

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan kesempatan untuk mengembangkan sistem pemantauan aktivitas fisik yang mampu mengumpulkan dan mengirimkan data secara *real-time* melalui jaringan internet. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat fisik, termasuk sensor dan aktuator, saling terhubung dan bertukar informasi untuk mendukung proses pemantauan serta pengendalian jarak jauh (Atzori *et al.*, 2010). Penerapan IoT dalam bidang olahraga dan kebugaran juga mendukung pengumpulan serta analisis data gerakan secara lebih terstruktur dan akurat sehingga proses evaluasi aktivitas fisik dapat dilakukan secara sistematis (Jaén-Carrillo *et al.*, 2024).

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mendukung pemantauan gerakan adalah *bio-feedback*, yaitu mekanisme penyampaian informasi secara langsung kepada pengguna mengenai kondisi atau kinerja gerakan yang sedang dilakukan. Melalui mekanisme ini, pengguna dapat mengetahui ketidaksesuaian gerakan dan segera melakukan penyesuaian selama latihan berlangsung. Dengan demikian, proses perbaikan teknik dapat dilakukan secara lebih cepat dan efektif (Schulthess *et al.*, 2023). Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem *bio-feedback* dengan memanfaatkan sensor *wearable*, seperti *Inertial Measurement Unit* (IMU), untuk mengidentifikasi postur dan pergerakan tubuh atlet ketika melakukan aktivitas olahraga (Jaén-Carrillo *et al.*, 2024). Penelitian lainnya juga memperlihatkan bahwa penerapan umpan balik berbasis sensor berpotensi meningkatkan kualitas

biomekanik dan kemampuan mengendalikan gerakan selama aktivitas fisik (Giraldo-Pedroza *et al.*, 2020).

Selain penggunaan sensor *wearable*, pengukuran jarak tanpa kontak langsung juga dapat dimanfaatkan untuk memantau pergerakan objek atau bagian tubuh. Salah satu teknologi yang mendukung kebutuhan tersebut adalah sensor laser *Time of-Flight* (ToF), yang menentukan jarak berdasarkan waktu tempuh cahaya dari sensor menuju objek dan kembali ke sensor. Teknologi ToF memiliki sejumlah keunggulan, antara lain respons pengukuran yang cepat, kemampuan mengukur jarak tanpa kontak fisik, serta potensi menghasilkan pengukuran yang akurat. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi sensor ToF dengan sistem IoT dapat menghasilkan data pengukuran jarak yang lebih stabil dibandingkan dengan sensor ultrasonik pada berbagai kondisi pengukuran (Alnur *et al.*, 2023).

Dalam bidang olahraga dan rehabilitasi, teknologi ToF telah dimanfaatkan bersama perangkat kendali dan jaringan IoT untuk mendukung pemantauan serta analisis pergerakan pengguna. Integrasi tersebut memungkinkan data gerakan diproses secara *real-time* sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemberian umpan balik terhadap performa latihan dan membantu pengguna memperbaiki teknik gerakannya. Meskipun demikian, penerapan sensor ToF secara khusus untuk memantau dan mengoreksi tempo gerakan pada latihan beban yang terintegrasi dengan teknologi IoT masih memerlukan pengembangan lebih lanjut (Melchiorre *et al.*, 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem *bio-feedback* berbasis laser *Time of-Flight* untuk membantu mengoreksi tempo gerakan latihan beban melalui penerapan protokol *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang dengan menggunakan sensor ToF untuk mendeteksi perubahan jarak selama gerakan latihan, sedangkan mikrokontroler ESP32 bertugas mengolah data tersebut untuk menentukan tempo setiap repetisi. Selanjutnya, tempo gerakan diklasifikasikan menggunakan metode *Fixed Threshold* berdasarkan batas waktu yang telah ditetapkan. Gerakan dengan durasi kurang dari 1,20 detik dikategorikan terlalu cepat, durasi 1,20–2,50 detik dikategorikan normal, sedangkan durasi lebih dari 2,50 detik dikategorikan terlalu lambat. Hasil klasifikasi digunakan untuk memberikan umpan balik melalui LED dan *buzzer* sebagai indikator kondisi gerakan kepada pengguna. Selain itu, data pengukuran yang mencakup jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke server web untuk disimpan dan disajikan melalui *web Dashboard* secara *real-time*.

Pengembangan sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi teknologi untuk mendukung pemantauan dan pengendalian tempo gerakan latihan beban secara lebih terukur. Pemanfaatan sensor laser ToF yang terintegrasi dengan teknologi IoT memungkinkan pengguna memperoleh informasi mengenai tempo gerakan secara langsung sehingga konsistensi latihan dapat ditingkatkan. Di samping itu, penyediaan indikator umpan balik melalui LED dan *buzzer*, serta pemantauan data melalui *web Dashboard*, diharapkan dapat membantu pengguna mengevaluasi pelaksanaan latihan

secara lebih praktis. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat mendukung latihan beban yang lebih efektif, terkontrol, dan mudah dipantau melalui pemanfaatan teknologi berbasis jaringan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode prototyping untuk mengembangkan sistem adaptive *bio-feedback* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang berfungsi memantau dan memberikan umpan balik terhadap tempo gerakan latihan beban. Metode ini dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan desain sistem, pembuatan prototipe, serta pengujian dan evaluasi. Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi terhadap perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan, meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor Laser *Time of-Flight* (ToF) untuk mendeteksi perubahan jarak, LED dan *buzzer* sebagai media umpan balik, serta Arduino IDE untuk pemrograman sistem. Selain itu, digunakan metode *Fixed Threshold* untuk mengklasifikasikan tempo gerakan menjadi tiga kategori, yaitu terlalu cepat apabila durasi kurang dari 1,20 detik, sesuai apabila durasi berada pada rentang 1,20–2,50 detik, dan terlalu lambat apabila durasi lebih dari 2,50 detik. Sistem juga dirancang menggunakan jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data hasil pengukuran menuju server web lokal agar dapat disimpan dalam basis data dan ditampilkan melalui web *Dashboard* secara real-time.

Tahap perancangan dan implementasi dilakukan dengan menyusun blok diagram, rangkaian perangkat keras menggunakan aplikasi *Fritzing*, serta *flowchart* untuk menggambarkan alur kerja sistem. Perangkat keras dirangkai dengan mengintegrasikan ESP32, sensor ToF, LED indicator, dan *buzzer* menggunakan *expansion board* serta kabel jumper. Pemrograman mikrokontroler dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk membaca data jarak, mendeteksi awal dan akhir gerakan bicep curl, menghitung durasi setiap repetisi, serta menentukan kategori tempo berdasarkan nilai ambang yang telah ditetapkan. Durasi satu repetisi dihitung melalui selisih waktu antara awal dan akhir gerakan, kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan respons sistem. LED indicator akan menyala ketika tempo gerakan berada dalam kategori sesuai, sedangkan *buzzer* memberikan peringatan apabila tempo terlalu cepat atau terlalu lambat. Data yang meliputi jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan selanjutnya dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke server untuk disimpan dan ditampilkan pada web *Dashboard* sebagai sarana monitoring hasil latihan.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, studi pustaka, dan eksperimen. Observasi dilakukan dengan mengamati gerakan latihan beban, khususnya bicep curl, untuk memahami pola gerakan, karakteristik tempo, dan konsistensi repetisi. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari jurnal ilmiah, buku, serta dokumentasi resmi yang berkaitan dengan IoT, sensor ToF, *bio-feedback*, dan sistem monitoring gerakan sebagai dasar pengembangan prototipe. Sementara itu, eksperimen dilakukan dengan menguji kemampuan sensor dalam mendeteksi

perubahan jarak, ketepatan sistem dalam menghitung dan mengklasifikasikan tempo, proses pengiriman data ke platform IoT, serta respons LED dan *buzzer* terhadap hasil klasifikasi. Pengujian juga mencakup penerimaan, penyimpanan, dan penampilan data pada web *Dashboard* untuk memastikan informasi hasil latihan dapat dipantau secara real-time. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dan mengidentifikasi kekurangan yang perlu diperbaiki sehingga prototipe dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan

1. Hasil Perancangan Alat

Berdasarkan tahapan perancangan dan implementasi yang telah dilakukan pada Bab III, penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe sistem *bio-feedback* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk membantu mengoreksi tempo gerakan pada latihan beban, khususnya latihan *bicep curl*. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali dan pengolah data yang terhubung dengan sensor Laser *Time of-Flight* (ToF) VL53L0X untuk mendeteksi perubahan jarak selama pengguna melakukan gerakan latihan.

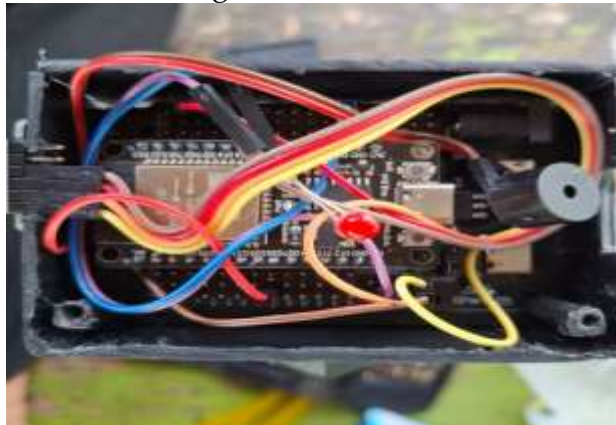
Data jarak yang diperoleh dari sensor ToF diproses oleh ESP32 untuk mendeteksi perubahan gerakan, menentukan satu siklus repetisi, dan menghitung durasi atau tempo gerakan. Nilai tempo kemudian diklasifikasikan menggunakan metode *Fixed Threshold* dengan batas bawah 1,20 detik dan batas atas 2,50 detik. Tempo kurang dari 1,20 detik dikategorikan sebagai terlalu cepat, tempo 1,20–2,50 detik dikategorikan sesuai, sedangkan tempo lebih dari 2,50 detik dikategorikan terlalu lambat.

Hasil klasifikasi digunakan untuk memberikan *bio-feedback* kepada pengguna melalui LED indikator dan *buzzer*. Selain itu, data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju server web lokal untuk disimpan pada basis data dan ditampilkan melalui web *Dashboard*. Dengan demikian, sistem dapat memberikan koreksi tempo secara langsung sekaligus menyediakan informasi hasil latihan melalui media monitoring berbasis web.



Gambar 1 Tampak depan prototipe alat

Gambar 1 menunjukkan tampak depan prototipe sistem *bio-feedback* yang telah direalisasikan. Pada prototipe tersebut terdapat ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, sensor VL53L0X sebagai pendeteksi perubahan jarak gerakan, LED indikator sebagai umpan balik visual, serta *buzzer* sebagai umpan balik suara. Seluruh komponen dirangkai menjadi satu kesatuan sistem sehingga mampu melakukan proses pembacaan jarak, pengolahan tempo, klasifikasi berdasarkan *Fixed Threshold*, serta pemberian umpan balik kepada pengguna. Data hasil pengukuran selanjutnya dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju server lokal dan ditampilkan pada web *Dashboard* sebagai media monitoring.



Gambar 2 Tampak dalam rangkaian komponen

Gambar 2 memperlihatkan susunan komponen elektronik yang terpasang pada bagian dalam prototipe. Komponen yang digunakan terdiri atas ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, sensor Laser *Time of-Flight* (ToF) VL53L0X sebagai pendeteksi perubahan jarak, LED indikator sebagai media *bio-feedback* visual, dan *buzzer* sebagai media *bio-feedback* suara. Penempatan masing-masing komponen disesuaikan dengan rancangan sistem agar koneksi antarperangkat dapat berjalan dengan baik serta memudahkan proses pembacaan sensor, pengolahan data tempo, pemberian *bio-feedback*, dan pemeliharaan perangkat. Rangkaian tersebut juga terhubung dengan jaringan Wi-Fi untuk mendukung pengiriman data hasil pengukuran menuju server web lokal dan selanjutnya ditampilkan pada web *Dashboard*.

2. Impelementasi Kode Program

Implementasi kode program dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program pada ESP32 dirancang untuk melakukan inisialisasi sensor VL53L0X, LED indikator, *buzzer*, dan koneksi Wi-Fi. Program juga mengatur proses pembacaan jarak, deteksi gerakan, perhitungan tempo, klasifikasi *Fixed Threshold*, pemberian *bio-feedback*, serta pengiriman data menuju server web lokal.

Proses pengolahan dimulai dengan pembacaan jarak menggunakan sensor VL53L0X. Perubahan nilai jarak digunakan untuk mendeteksi gerakan pengguna. Ketika kondisi awal gerakan terdeteksi, sistem mencatat waktu awal. Setelah satu siklus gerakan selesai, sistem mencatat waktu akhir dan menghitung durasi repetisi.

Durasi satu repetisi dihitung menggunakan persamaan:

$$T = \frac{t_{akhir} - t_{awal}}{1000}$$

Keterangan:

T = tempo atau durasi satu repetisi dalam detik.

t_{awal} = waktu awal gerakan dalam milidetik.

t_{akhir} = waktu akhir gerakan dalam milidetik.

1000 = faktor konversi milidetik menjadi detik.

Nilai tempo selanjutnya dibandingkan dengan *Fixed Threshold*:

$$Status(T) = \begin{cases} \text{Terlalu Cepat,} & T < 1,20 \\ \text{Sesuai,} & 1,20 \leq T \leq 2,50 \\ \text{Terlalu Lambat,} & T > 2,50 \end{cases}$$

Tabel 1 Keterangan Implementasi Program

No	Bagian Program	Keterangan
1	Library	Memasukkan library yang diperlukan untuk ESP32, Wi-Fi, dan sensor VL53L0X
2	Konfigurasi Pin	Menentukan pin LED dan <i>buzzer</i>
3	Inisialisasi	Menginisialisasi Serial, sensor, LED, <i>buzzer</i> , dan Wi-Fi
4	Pembacaan Sensor	Membaca jarak objek menggunakan VL53L0X
5	Deteksi Gerakan	Mendeteksi perubahan posisi dan siklus gerakan
6	Perhitungan Tempo	Menghitung durasi satu repetisi
7	<i>Fixed Threshold</i>	Mengklasifikasikan tempo berdasarkan nilai 1,20 dan 2,50 detik
8	<i>Bio-feedback</i>	Mengendalikan LED dan <i>buzzer</i> berdasarkan status tempo
9	Pengiriman Data	Mengirim data hasil pengukuran ke server web
10	Monitoring	Menampilkan data hasil pengukuran pada web <i>Dashboard</i>

Berdasarkan Tabel 1, program diawali dengan pemanggilan *library* yang diperlukan serta pendefinisian pin yang digunakan oleh ESP32. Selanjutnya, pada fungsi *setup()* dilakukan inisialisasi komunikasi serial, sensor Laser *Time of-Flight* (ToF) VL53L0X, LED indikator, *buzzer*, serta koneksi Wi-Fi. Sensor VL53L0X diinisialisasi melalui komunikasi I2C untuk memungkinkan ESP32 melakukan pembacaan jarak objek selama proses latihan.

Proses utama sistem dijalankan pada fungsi *loop()* dengan melakukan pembacaan data jarak dari sensor secara berkala. Data jarak tersebut diproses untuk mendeteksi perubahan posisi dan menentukan satu siklus gerakan *bicep curl*. Setelah satu siklus gerakan terdeteksi, sistem menghitung durasi atau tempo satu repetisi berdasarkan selisih waktu awal dan waktu akhir gerakan.

3. Implementasi Web Dashboard

Web *Dashboard* digunakan sebagai media monitoring hasil latihan. *Dashboard* dirancang untuk menampilkan data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi menuju server web lokal.

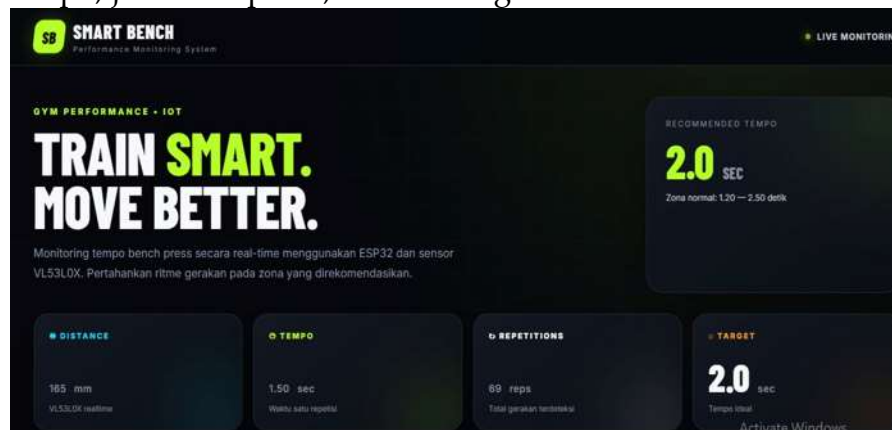
Data yang dikirimkan terdiri atas nilai jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan. Data tersebut diterima oleh server, disimpan pada basis data, kemudian diambil kembali oleh web *Dashboard* untuk ditampilkan kepada pengguna.

Tabel 2 Implementasi Komponen Web *Dashboard*

No	Komponen	Fungsi
1	Header <i>Dashboard</i>	Menampilkan identitas sistem
2	Jarak	Menampilkan hasil pembacaan sensor ToF
3	Tempo	Menampilkan durasi satu repetisi
4	Repetisi	Menampilkan jumlah repetisi
5	Status Tempo	Menampilkan kategori gerakan
6	Threshold	Menampilkan batas klasifikasi tempo
7	Grafik Tempo	Menampilkan perkembangan tempo
8	Riwayat Data	Menampilkan data pengukuran yang tersimpan

Berdasarkan Tabel 2, web *Dashboard* terdiri atas beberapa komponen yang saling terintegrasi dengan data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi menuju server web lokal. Komponen jarak digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor Laser *Time of-Flight* (ToF), sedangkan komponen tempo digunakan untuk menampilkan durasi setiap repetisi gerakan. Informasi jumlah repetisi dan status tempo juga ditampilkan untuk memberikan gambaran mengenai hasil latihan yang dilakukan pengguna.

Selain itu, komponen *threshold* digunakan untuk menampilkan batas klasifikasi tempo yang diterapkan pada sistem, yaitu 1,20 detik sebagai batas bawah dan 2,50 detik sebagai batas atas. Grafik tempo digunakan untuk menampilkan perkembangan tempo gerakan dari setiap repetisi, sedangkan riwayat data digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran yang telah tersimpan pada basis data. Dengan demikian, web *Dashboard* tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai antarmuka monitoring hasil latihan yang memungkinkan pengguna melihat jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan secara *real-time*.

Gambar 3 Tampilan *Dashboard*

Berdasarkan gambar 3, web *Dashboard* berfungsi sebagai media visualisasi dan monitoring. Pengguna dapat melihat hasil pengukuran tanpa harus mengamati Serial Monitor pada Arduino IDE.

B. Pengujian Seluruh Komponen Sistem

1. Pengujian Koneksi ESP32 dan Wifi

Pengujian koneksi dilakukan untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam terhubung dengan jaringan Wi-Fi yang digunakan sebagai media komunikasi menuju server web lokal.

Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan ESP32 dan menghubungkannya ke jaringan Wi-Fi. Status koneksi diamati melalui Serial Monitor. Keberhasilan ditandai dengan ESP32 memperoleh alamat IP dan dapat melakukan komunikasi dengan jaringan yang digunakan.

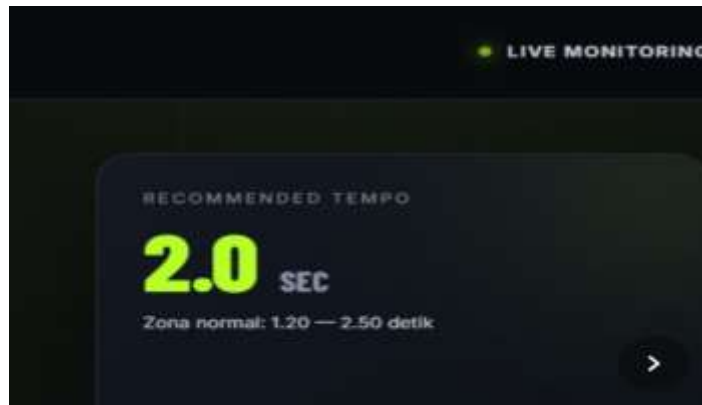
Tabel 3 Hasil Pengujian Koneksi ESP32 dan Wifi

No	Parameter Pengujian	Hasil
1	ESP32 aktif	Berhasil
2	Koneksi wifi	Berhasil
3	ESP32 memperoleh IP Address	Berhasil
4	RSSI Terbaca	Berhasil
5	Komunikasi dengan server	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3, seluruh parameter pengujian koneksi menunjukkan hasil berhasil. ESP32 dapat diaktifkan dan terhubung ke jaringan Wi-Fi yang telah dikonfigurasi. Setelah berhasil terhubung, ESP32 memperoleh alamat IP yang digunakan sebagai identitas perangkat pada jaringan. Nilai RSSI juga berhasil terbaca sehingga kondisi kekuatan sinyal Wi-Fi dapat diketahui selama sistem beroperasi.

Selain koneksi Wi-Fi, pengujian juga dilakukan terhadap komunikasi antara ESP32 dan server web lokal. ESP32 berhasil mengirimkan data hasil pengolahan menuju server melalui jaringan Wi-Fi. Data yang dikirimkan meliputi jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status tempo. Keberhasilan komunikasi ditunjukkan dengan data dari ESP32 yang dapat diterima oleh server dan selanjutnya diproses untuk disimpan ke dalam basis data.

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa koneksi jaringan yang digunakan telah mampu mendukung komunikasi antara ESP32 dan server web lokal. Dengan demikian, ESP32 dapat digunakan sebagai perangkat pengirim data dalam sistem monitoring, sedangkan server web lokal berfungsi menerima dan mengelola data sebelum ditampilkan pada web *Dashboard*.



Gambar 4 Web Dashboard dengan status Online

2. Pengujian Sensor Laser *Time of-Flight* (ToF)

Pengujian sensor ToF dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor VL53L0X dalam membaca perubahan jarak objek.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek pada beberapa posisi atau jarak yang berbeda. Nilai jarak yang terbaca oleh sensor kemudian diamati melalui Serial Monitor.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor *Time-Of-Flight*

No	Posisi Objek	Jarak Aktual (mm)	Jarak Sensor(mm)	Keterangan
1	Posisi 1	29.6	100	Terbaca
2	Posisi 2	29.7	150	Terbaca
3	Posisi 3	29.7	200	Terbaca
4	Posisi 4	29.8	250	Terbaca
5	Posisi 5	29.8	300	Terbaca

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, sensor VL53L0X digunakan untuk mendeteksi perubahan jarak objek. Data tersebut menjadi masukan bagi ESP32 dalam menentukan perubahan gerakan selama latihan.

3. Pengujian Deteksi Gerakan dan Repetisi

Pengujian deteksi gerakan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengenali perubahan posisi objek selama pengguna melakukan latihan bicep curl serta menentukan satu siklus gerakan sebagai satu repetisi. Sensor VL53L0X membaca perubahan jarak objek, kemudian ESP32 mengolah perubahan tersebut untuk menentukan kondisi gerakan.

Tabel 5 Hasil Pengujian Deteksi Gerakan

No	Gerakan	Jarak(mm)	Status Gerakan	Repetisi
1	Posisi awal	229	Posisi awal	0
2	Gerakan turun	270	GERAKAN TURUN	0
3	Gerakan naik	280	GERAKAN NAIK	0
4	Siklus selesai	229	Siklus selesai	1

Berdasarkan Tabel 5, sistem dapat mendeteksi perubahan posisi objek berdasarkan perubahan jarak yang dibaca oleh sensor ToF. Pada posisi awal, sistem belum menghitung adanya repetisi. Ketika objek bergerak turun, sistem mengenali kondisi sebagai GERAKAN TURUN, kemudian ketika objek bergerak naik sistem mengenali kondisi sebagai GERAKAN NAIK. Setelah satu siklus gerakan selesai dan objek kembali pada kondisi yang ditentukan, jumlah repetisi bertambah menjadi satu.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan jarak dapat digunakan sebagai dasar untuk mendeteksi siklus gerakan bicep curl dan menghitung jumlah repetisi yang dilakukan pengguna.



Gambar 5 Grafik Historis Nilai MQ-135

4. Pengujian Perhitungan Tempo

Pengujian perhitungan tempo dilakukan untuk memastikan sistem dapat menghitung durasi setiap repetisi berdasarkan waktu awal dan waktu akhir gerakan. Durasi atau tempo merupakan parameter utama yang digunakan dalam proses klasifikasi gerakan menggunakan metode *Fixed Threshold*.

Perhitungan tempo dilakukan menggunakan persamaan:

$$T = \frac{t_{akhir} - t_{awal}}{1000}$$

Keterangan:

T = tempo atau durasi satu repetisi dalam detik.

t_{awal} = waktu awal gerakan dalam milidetik.

t_{akhir} = waktu akhir gerakan dalam milidetik.

1000 = faktor konversi milidetik menjadi detik.

Tabel 6 Hasil Pengujian Perhitungan Tempo

No	Waktu Awal (ws)	Waktu Akhir (ms)	Tempo Sistem (detik)
1	10000	11000	1,00
2	15000	16700	1,70
3	20000	22000	2,00
4	25000	27300	2,30
5	30000	33000	3,00

Berdasarkan Tabel 6, sistem menghasilkan nilai tempo yang diperoleh dari selisih waktu awal dan waktu akhir setiap repetisi. Nilai tempo yang diperoleh berturut-turut adalah 1,00 detik, 1,70 detik, 2,00 detik, 2,30 detik, dan 3,00 detik.

Sebagai contoh, pada pengujian pertama waktu awal gerakan adalah 10.000 ms dan waktu akhir gerakan adalah 11.000 ms. Perhitungannya adalah:

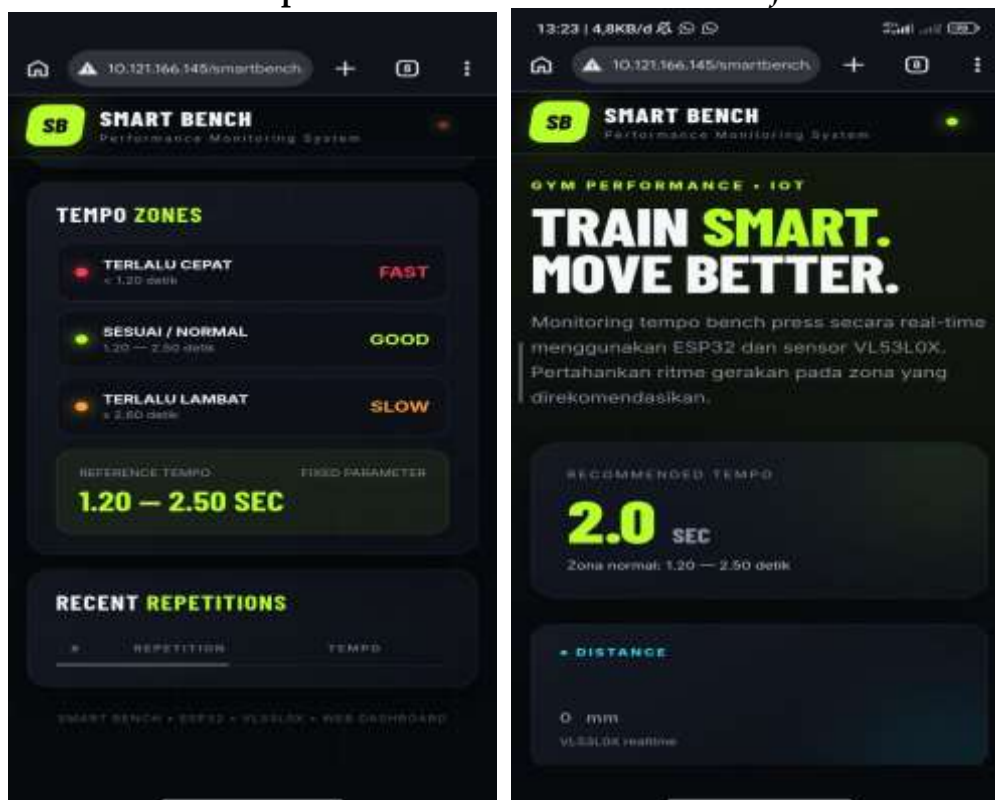
$$T = \frac{11.000 - 10.000}{1000}$$

$$T = 1,00 \text{ detik}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat menghitung durasi satu repetisi berdasarkan waktu yang dicatat oleh ESP32. Nilai tempo yang diperoleh kemudian digunakan sebagai masukan untuk proses klasifikasi menggunakan metode *Fixed Threshold*.



Gambar 6 Tampilan Web Dashboard Sistem Bio-feedback Berbasis Web



Gambar 7 Tampilan Web Dashboard Sistem Bio-feedback pada Android

5. Pengujian Algoritma *Fixed Threshold*

Pengujian algoritma *Fixed Threshold* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat mengklasifikasikan tempo gerakan sesuai dengan batas yang telah

ditentukan. Pada penelitian ini digunakan dua nilai ambang tetap, yaitu batas bawah sebesar 1,20 detik dan batas atas sebesar 2,50 detik.

Parameter klasifikasi yang digunakan adalah:

$$T_{lower} = 1,20 \text{ detik}$$

$$T_{upper} = 2,50 \text{ detik}$$

Tabel 7 Hasil Pengujian *Fixed Threshold*

No	Tempo Pengujian	Kategori Seharusnya	Status Sistem
1	0,80 detik	Terlalu cepat	Terlalu cepat
2	1,00 detik	Terlalu cepat	Terlalu cepat
3	1,20 detik	Sesuai	Sesuai
4	1,50 detik	Sesuai	Sesuai
5	2,00 detik	Sesuai	Sesuai
6	2,50 detik	Sesuai	Sesuai
7	3,00 detik	Terlalu lambat	Terlalu lambat

Berdasarkan Tabel 7, hasil klasifikasi yang diberikan oleh sistem sesuai dengan kategori yang telah ditentukan. Tempo sebesar 0,80 detik dan 1,00 detik dikategorikan sebagai terlalu cepat karena berada di bawah batas bawah 1,20 detik. Tempo sebesar 1,20 detik, 1,50 detik, 2,00 detik, dan 2,50 detik dikategorikan sebagai sesuai karena berada pada rentang yang telah ditentukan.

Sementara itu, tempo sebesar 3,00 detik dikategorikan sebagai terlalu lambat karena melebihi batas atas 2,50 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan klasifikasi tempo berdasarkan nilai *Fixed Threshold* yang telah ditentukan.

Penggunaan *Fixed Threshold* menyebabkan nilai batas bawah dan batas atas tetap selama proses pengujian. Dengan demikian, sistem menggunakan standar klasifikasi yang sama pada setiap repetisi dan tidak melakukan perubahan nilai threshold berdasarkan hasil pengukuran sebelumnya.

6. Pengujian *Bio-feedback*

Pengujian *bio-feedback* dilakukan untuk mengetahui respons LED indikator dan *buzzer* terhadap hasil klasifikasi tempo gerakan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kondisi tempo yang mewakili kategori terlalu cepat, sesuai, dan terlalu lambat.

Tabel 8 Hasil Pengujian *Bio-feedback*

No	Kondisi Tempo	LED	Buzzer	Hasil
1	Terlalu cepat	Mati	Aktif	Sesuai
2	Sesuai	Menyala	Mati	Sesuai
3	Terlalu lambat	Mati	Aktif	Sesuai

Berdasarkan Tabel 8, perangkat *bio-feedback* memberikan respons sesuai dengan hasil klasifikasi tempo. Ketika tempo berada pada kondisi terlalu cepat, LED berada dalam kondisi mati dan *buzzer* aktif sebagai peringatan kepada pengguna. Pada

kondisi tempo sesuai, LED menyala dan *buzzer* tidak aktif. Sementara itu, ketika tempo berada pada kondisi terlalu lambat, LED mati dan *buzzer* kembali aktif.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat keluaran dapat memberikan umpan balik berdasarkan kategori tempo yang dihasilkan oleh metode *Fixed Threshold*. Dengan adanya umpan balik tersebut, pengguna dapat mengetahui secara langsung apakah tempo gerakan yang dilakukan sudah berada dalam rentang yang ditentukan.

7. Pengujian Pengiriman Data ke Server

Pengujian pengiriman data dilakukan untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam mengirimkan data hasil pengukuran menuju server web lokal melalui jaringan Wi-Fi. Data yang dikirimkan terdiri atas jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status tempo.

Tabel 9 Hasil Pengujian Pengiriman Data

No	Parameter	Data ESP32	Data Server	Keterangan
1	Distance	229 mm	229 mm	Sesuai
2	Tempo	2.00 detik	2.00 detik	Sesuai
3	Repetition	1	Sesuai	Sesuai
4	Status	SESUAI	SESUAI	Sesuai

Berdasarkan Tabel 9, data hasil pengolahan yang dihasilkan oleh ESP32 dapat dikirimkan menuju server web lokal melalui jaringan Wi-Fi. Nilai distance, tempo, repetitions, dan status yang dikirimkan oleh ESP32 diterima oleh server dengan nilai yang sesuai.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan server web lokal dapat berjalan dengan baik. Data yang berhasil diterima server selanjutnya dapat diproses dan disimpan ke dalam basis data untuk kebutuhan monitoring melalui web *Dashboard*.

8. Pengujian Database dan Web Dashboard

Pengujian database dan web *Dashboard* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menerima, menyimpan, dan menampilkan data hasil pengukuran. Data yang dikirimkan oleh ESP32 diterima oleh server web lokal kemudian disimpan pada basis data sebelum ditampilkan pada web *Dashboard*.

Tabel 10 Hasil Pengujian Database dan Web Dashboard

No	Parameter Pengujian	Hasil
1	Data jarak diterima server	Berhasil
2	Data tempo diterima server	Berhasil
3	Data repetisi diterima server	Berhasil
4	Data status diterima server	Berhasil
5	Data tersimpan database	Berhasil
6	Data tampil pada <i>Dashboard</i>	Berhasil
7	Riwayat data dapat ditampilkan	Berhasil

Berdasarkan Tabel 10, seluruh proses pengujian database dan web *Dashboard* menunjukkan hasil berhasil. Data jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status dapat diterima oleh server dan disimpan ke dalam basis data. Data yang telah tersimpan kemudian dapat ditampilkan pada web *Dashboard*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa web *Dashboard* dapat digunakan sebagai media monitoring hasil latihan. Pengguna dapat melihat informasi hasil pengukuran melalui browser tanpa harus mengakses Serial Monitor pada Arduino IDE. Integrasi antara ESP32, jaringan Wi-Fi, server web lokal, basis data, dan web *Dashboard* memungkinkan data latihan ditampilkan secara terstruktur dan dapat dipantau secara real-time.

Pembahasan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan sensor Laser *Time of-Flight* (ToF) VL53L0X, ESP32, LED indikator, *buzzer*, jaringan Wi-Fi, server web lokal, basis data, dan web *Dashboard* menjadi satu kesatuan sistem *bio-feedback* untuk latihan *bicep curl*. Alur sistem dimulai dari pembacaan perubahan jarak oleh sensor ToF, pengolahan data oleh ESP32, klasifikasi tempo menggunakan *Fixed Threshold*, pemberian *bio-feedback*, hingga pengiriman data menuju web *Dashboard*.

Sensor VL53L0X digunakan sebagai perangkat input untuk mendeteksi perubahan jarak objek selama pengguna melakukan gerakan *bicep curl*. Perubahan jarak tersebut diproses oleh ESP32 untuk menentukan perubahan posisi, mendeteksi satu siklus gerakan, serta menghitung durasi atau tempo setiap repetisi. Hasil perhitungan tempo kemudian menjadi parameter utama dalam proses klasifikasi gerakan.

Metode *Fixed Threshold* diterapkan dengan menggunakan batas bawah sebesar 1,20 detik dan batas atas sebesar 2,50 detik. Berdasarkan parameter tersebut, tempo kurang dari 1,20 detik dikategorikan terlalu cepat, tempo pada rentang 1,20–2,50 detik dikategorikan sesuai, sedangkan tempo lebih dari 2,50 detik dikategorikan terlalu lambat. Penggunaan nilai ambang yang tetap membuat setiap repetisi dinilai menggunakan standar klasifikasi yang sama.

Hasil klasifikasi kemudian digunakan untuk mengendalikan perangkat *bio-feedback*. LED indikator digunakan untuk memberikan tanda ketika tempo berada pada kategori sesuai, sedangkan *buzzer* memberikan peringatan ketika tempo berada pada kategori terlalu cepat atau terlalu lambat. Dengan mekanisme tersebut, pengguna dapat memperoleh informasi secara langsung mengenai kesesuaian tempo gerakan yang dilakukan.

Pada sisi monitoring, data hasil pengukuran dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi menuju server web lokal. Data tersebut disimpan pada basis data dan kemudian ditampilkan melalui web *Dashboard*. Data yang ditampilkan meliputi jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status tempo sehingga hasil latihan dapat dipantau melalui antarmuka web.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap bagian sistem memiliki fungsi yang saling mendukung. Sensor ToF menyediakan data jarak, ESP32 melakukan pengolahan dan klasifikasi tempo, LED dan *buzzer* memberikan *bio-feedback*, sedangkan server lokal, database, dan web *Dashboard* mendukung proses penyimpanan serta monitoring data latihan. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah sesuai dengan konsep penelitian yang menggunakan *Fixed Threshold* dan web *Dashboard* sebagai bagian dari sistem *bio-feedback*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem *bio-feedback* berbasis *Laser Time of-Flight* (ToF) berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 serta sensor VL53L0X untuk membantu mengoreksi tempo gerakan pada latihan bicep curl. Sensor VL53L0X berfungsi mendeteksi perubahan jarak selama latihan, kemudian data yang diperoleh diproses oleh ESP32 untuk mendeteksi siklus gerakan dan menghitung durasi setiap repetisi. Sistem menerapkan metode *Fixed Threshold* untuk mengklasifikasikan tempo gerakan berdasarkan batas bawah 1,20 detik dan batas atas 2,50 detik. Tempo kurang dari 1,20 detik dikategorikan terlalu cepat, tempo pada rentang 1,20–2,50 detik dikategorikan sesuai, sedangkan tempo lebih dari 2,50 detik dikategorikan terlalu lambat.

Sistem juga mampu memberikan umpan balik (*bio-feedback*) berdasarkan hasil klasifikasi tempo melalui LED indikator dan *buzzer*. LED indikator digunakan untuk menunjukkan bahwa tempo gerakan berada dalam rentang yang sesuai, sedangkan *buzzer* memberikan peringatan ketika tempo gerakan terlalu cepat atau terlalu lambat. Selain itu, web *Dashboard* dapat digunakan sebagai media monitoring hasil latihan dengan menampilkan informasi berupa jarak, tempo, jumlah repetisi, dan status gerakan. Data tersebut dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi menuju server web lokal untuk disimpan dalam basis data dan ditampilkan sehingga pengguna dapat memantau hasil latihan secara real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- Alnur, B., Mulyono, Fitri Amillia, & Sutoyo, S. (2023). JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering). *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 7(1), 102–111. <https://doi.org/10.31289/jite.v8i2.13406>
- Alyammahi, S., Alhmoudi, A., Alawadhi, M., & Alqaydi, F. (2025). *Low-Cost IoT-Based Smart Grain Monitoring System for Sustainable Storage Management*. 90. <https://doi.org/10.3390/ecsa-12-26545>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The *Internet of Things*: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Ford, N. L., Wyckoff, S. N., & Sherlin, L. H. (2016). Neurofeedback and Mindfulness in Peak Performance Training Among Athletes. *Biofeedback*, 44(3), 152–159. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-44.3.11>

- Fuggetta, A. (2000). Software process: A roadmap. In *Proceedings of the Conference on the Future of Software Engineering, ICSE 2000*. <https://doi.org/10.1145/336512.336521>
- Giraldo-Pedroza, A., Lee, W. C. C., Lam, W. K., Coman, R., & Alici, G. (2020). Effects of wearable devices with biofeedback on biomechanical performance of running—a systematic review. *Sensors (Switzerland)*, 20(22), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s20226637>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Jaén-Carrillo, D., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2024). Wearable and Portable Devices in Sport Biomechanics and Training Science. In *Sensors* (Vol. 24, Number 14). <https://doi.org/10.3390/s24144616>
- Kolb, A., Barth, E., Koch, R., & Larsen, R. (2010). *Time-of-Flight cameras in computer graphics*. *Computer Graphics Forum*, 29(1), 141–159. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01583.x>
- Navayo, B., Syauqy, D., & Kurniawan, W. (2025). *Sistem Wearable Deteksi Postur pada Gerakan Lunge dengan Algoritma Random Forest Berdasarkan Data Sensor IMU*. 9(10), 2548–2964. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Pan, T., & Zhu, Y. (2018). Getting Started with Arduino. In *Designing Embedded Systems with Arduino*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4418-2_1
- Pratama, G. A., & Nurpulaela, L. (2024). *Pengaruh Suhu Pada Kinerja Sensor MQ-135 Dalam Mendeteksi Gas CO 2 Galuh Andika Pratama 1 , Lela Nurpulaela 2 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang*. 10(20), 350–358.
- Roos, R. E., Lambiase, J., Riffitts, M., Scholle, L., Kulkarni, S., Luck, C. L., Parmanto, D., Putraadinatha, V., Yoga, M. D., Lang, S. N., Tatko, E., Grant, J., Oakley, J. I., Disantis, A., Saptono, A., Parmanto, B., Popchak, A., McClincy, M. P., & Bell, K. M. (2025). The Reliability and Validity of an Instrumented Device for Tracking the Shoulder Range of Motion. *Sensors*, 25(12). <https://doi.org/10.3390/s25123818>
- Schulthess, L., & al., et. (2023). *Bio-feedback Systems for Movement Monitoring: A Review*. *Sensors*.
- Schulthess, L., Ingolfsson, T. M., Nolke, M., Magno, M., Benini, L., & Leitner, C. (2023). Skilog: A Smart Sensor System for Performance Analysis and Biofeedback in Ski Jumping. *BioCAS 2023 - 2023 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference, Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/BioCAS58349.2023.10389124>
- Wang, A., Luca, A., & Edelenbos, M. (2019). Emission of volatile organic compounds from yellow onion (*Allium cepa* L.) bulbs during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2940–2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03764-z>