

SISTEM *MONITORING* PERFORMA NEURO-FISIOLOGIS TERINTEGRASI IOT UNTUK ANALISIS BEBAN LATIHAN FISIK

IHSAN HADI GUNAWAN



**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Perpustakaan IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa Laporan Akhir dengan judul “Sistem *Monitoring* Performa Neuro-Fisiologis Terintegrasi IoT untuk Analisis Beban Latihan Fisik” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir Laporan Akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Oktober 2026

Ihsan Hadi Gunawan
J0404221010

ABSTRAK

IHSAN HADI GUNAWAN. *Sistem Monitoring Performa Neuro-Fisiologis Terintegrasi IoT untuk Analisis Beban Latihan Fisik. Dibimbing oleh BAYU WIDODO.*

Penelitian ini membahas sistem *monitoring* IoT untuk analisis beban latihan melalui respons neuromuskular dan kardiovaskular. ESP32 menerima dua kanal sEMG serta HR Polar H10 melalui BLE, kemudian mengirimkan data melalui Wi-Fi dan *broker* MQTT. Analisis menggunakan tiga rekaman sEMG dan tiga ekspor Polar Beat yang diolah terpisah. Segmentasi menghasilkan 1959 jendela berdurasi 2,56 detik dengan langkah 1,28 detik. Empat fitur RMS dan MAV kedua kanal digunakan pada dua model *Random Forest* dengan pembagian kronologis: 1368 jendela latih, 293 validasi, dan 274 uji. Model aktivitas mengenali label sesi Jalan, Jalan-lari, dan Sepeda statis dengan akurasi 90,15% dan *Macro-F1* 90,72%. Model beban menggunakan rata-rata empat persentil amplitudo dengan kalibrasi per sesi dari data latih, kemudian membaginya menurut tertill menjadi label sementara *Light*, *Normal*, dan *Fatigue*. Pada data uji, model memperoleh *agreement* 93,07% dan *Macro-F1* 88,43%; *Light* mendominasi jalan dan *Fatigue* mendominasi sepeda statis. *Fatigue* menandai kategori skor amplitudo relatif tertinggi dan belum memvalidasi kelelahan fisiologis. HR dianalisis tersendiri karena pasangan waktu dengan sEMG belum terkonfirmasi. Kinerja komunikasi *streaming* dan generalisasi lintas sesi belum terverifikasi.

Kata kunci: IoT, MQTT, Polar H10, *Random Forest*, sEMG bilateral

ABSTRACT

IHSAN HADI GUNAWAN. *IoT-Integrated Neuro-Physiological Performance Monitoring System for Exercise Load Analysis. Supervised by BAYU WIDODO.*

This study examines an IoT monitoring system for exercise load analysis using neuromuscular and cardiovascular responses. The ESP32 receives two sEMG channels and Polar H10 heart rate via BLE, then transmits data over Wi-Fi through an MQTT broker. Three sEMG recordings and three Polar Beat exports were analyzed separately. Segmentation produced 1959 windows lasting 2.56 seconds with a 1.28-second step. Four bilateral RMS and MAV features supported two Random Forest models with chronological partitions of 1368 training, 293 validation, and 274 test windows. The activity model classified Walking, Walking–running, and Static cycling session labels with 90.15% accuracy and 90.72% Macro-F1. The load model averaged four amplitude percentiles calibrated per known session using training data, then applied training-score tertiles to define provisional Light, Normal, and Fatigue labels. Test agreement was 93.07%, with 88.43% Macro-F1; Light dominated walking and Fatigue dominated static cycling predictions. Fatigue denotes the highest relative amplitude-score category and does not establish physiological fatigue. Heart rate was analyzed separately because temporal pairing with sEMG was unconfirmed. Streaming communication performance and cross-session generalization were not established.

Keywords: bilateral sEMG, IoT, MQTT, Polar H10, *Random Forest*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



SISTEM *MONITORING* PERFORMA NEURO-FISIOLOGIS TERINTEGRASI IOT UNTUK ANALISIS BEBAN LATIHAN FISIK

IHSAN HADI GUNAWAN

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer

**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji pada ujian laporan proyek akhir: Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si.



Judul Laporan Akhir : Sistem *Monitoring* Performa Neuro-Fisiologis Terintegrasi
IoT untuk Analisis Beban Latihan Fisik
Nama : Ihsan Hadi Gunawan
NIM : J0404221010

Disetujui oleh

Pembimbing:
Bayu Widodo, S.T., M.T.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Inna Novianti, S.Si., M.Si.
NPI 19861119201811201

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP 196607171992031003

Tanggal Ujian:
07 Oktober 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2025 sampai bulan Agustus 2026 ini ,dengan judul “Sistem *Monitoring* Performa Neuro-Fisiologis Terintegrasi IoT untuk Analisis Beban Latihan Fisik”.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Bayu Widodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama penyusunan laporan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komis pembimbing. Di samping itu. Penghargaan penulis sampaikan kepada Aditya Sukma Nugraha, S.T., M.T., Ph. Dan Sapdo Utomo, M.T. beserta staf Workshop di BRIN Samaun samadikun. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada papah, mamah, kakak ku yang tercinta, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan,dan kasih sayangnya. Ucapan terima kasih juga kepada sahabat saya Restu, Alwi, Dhafin dan Jacky yang telah memberi saran dan memberi bantuan selama pengumpulan data.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang sistem tertanam, IoT, dan pemantauan latihan fisik.

Bogor, Oktober 2026

Ihsan Hadi Gunawan



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Elektromiografi Permukaan Bilateral	4
2.2 Sensor Gravity Analog EMG by OYMotion	4
2.3 Denyut Jantung dan Polar H10	5
2.4 Segmentasi dan Ekstraksi Fitur	6
2.5 <i>Random Forest</i>	7
2.6 Evaluasi Klasifikasi dan Label Acuan	7
2.7 MQTT dan Sistem Pemantauan Terintegrasi	8
III METODE	10
3.1 Perancangan	10
3.1.1 <i>Hardware</i>	10
3.1.2 <i>Software</i>	12
3.1.3 Pemilihan dan Pembersihan Data	14
3.1.4 Pembentukan Jendela dan Fitur	14
3.1.5 Pelabelan dan Model Klasifikasi	14
3.2 Uji Kinerja	16
3.3 Teknik Analisis Data	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Pemilihan dan Pengolahan Data	19
4.2 Perbandingan <i>Raw</i> dan <i>Filtered</i> serta Pola RMS sEMG	19
4.2.1 Rekaman Jalan	20
4.2.2 Rekaman Jalan dan Lari	21
4.2.3 Rekaman Sepeda Statis	22
4.3 Kinerja Klasifikasi Label Sesi	23
4.4 Klasifikasi Beban Relatif sEMG	25
4.5 Hasil Pengukuran Denyut Jantung	27
4.6 Integrasi Sistem dan Pencatatan Data	28
4.7 Pembahasan dan Keterbatasan	29
V SIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Simpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	34
Lampiran 1 Kode Program Akuisisi sEMG pada ESP32	34
Lampiran 2 Kode Program Penerimaan dan Pencatatan sEMG pada Komputer	35
Lampiran 3 Kode Program Pengiriman sEMG ESP32 melalui MQTT	36
Lampiran 4 Kode Program Polar H10 melalui BLE dan MQTT	41
Lampiran 5 Parameter dan Jumlah Data	46
Lampiran 6 Asal Berkas dan Penelusuran Pengolahan	47
Lampiran 7 Matriks Hasil Uji	47
Riwayat Hidup	48

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komponen perangkat keras	10
Tabel 2 Kebutuhan perangkat lunak penelitian	13
Tabel 3 Ambang label sementara dari skor data latih	16
Tabel 4 Konfigurasi segmentasi dan <i>Random Forest</i>	17
Tabel 5 Sesi sEMG terpilih dan hasil pemotongan	19
Tabel 6 Jumlah jendela menurut label dan partisi	19
Tabel 7 Ringkasan RMS pada jendela yang diterima	23
Tabel 8 Kinerja <i>Random Forest</i> pada validasi dan uji	23
Tabel 9 Metrik per kelas pada data uji sEMG	24
Tabel 10 Kontribusi relatif fitur pada model aktivitas dan beban	25
Tabel 11 Metrik model beban terhadap label sementara pada data uji	25
Tabel 12 Distribusi prediksi beban pada jendela uji setiap sesi	26
Tabel 13 Inferensi ulang beban pada seluruh jendela valid	26
Tabel 14 Statistik HR setelah pemotongan ujung rekaman	27
Tabel 15 Ketercapaian fungsi sistem berdasarkan bukti evaluasi	29
Tabel 16 Parameter pengolahan dan hasil evaluasi	46
Tabel 17 Sumber data dan bagian analisis	47
Tabel 18 Jumlah pasangan label acuan dan prediksi pada data uji	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Hubungan dua kanal sEMG dan empat fitur amplitudo	4
Gambar 2 Jalur konseptual sensor Gravity Analog EMG menuju ADC	5
Gambar 3 Jalur penerimaan dan analisis tersendiri HR Polar H10	6
Gambar 4 Jendela waktu 2,56 detik dengan langkah 1,28 detik	6
Gambar 5 Konsep penggabungan prediksi antarpohon pada <i>Random Forest</i>	7
Gambar 6 Konsep evaluasi satu kelas terhadap kelas lain	8
Gambar 7 Alur analisis sEMG dan HR menurut sumber rekaman	9
Gambar 8 Rancangan sambungan sensor sEMG dan Bluetooth Polar H10	11
Gambar 9 Rancangan alur kerja <i>hardware</i> dan pencatatan data	12
Gambar 10 Alur pengolahan rekaman dan klasifikasi label sesi	13
Gambar 11 Pembagian kronologis dengan jeda pada batas partisi	15
Gambar 12 Perbandingan <i>Raw</i> dan <i>Filtered</i> kedua kanal pada sesi jalan	20
Gambar 13 RMS dua kanal pada sesi jalan	20
Gambar 14 Perbandingan <i>Raw</i> dan <i>Filtered</i> kedua kanal pada sesi jalan–lari	21
Gambar 15 RMS dua kanal pada sesi campuran jalan dan lari	21
Gambar 16 Perbandingan <i>Raw</i> dan <i>Filtered</i> kedua kanal pada sesi sepeda statis	22
Gambar 17 RMS dua kanal pada sesi sepeda statis	23
Gambar 18 <i>Confusion matrix</i> hasil pengujian ulang label sesi sEMG	24
Gambar 19 <i>Confusion matrix</i> beban relatif terhadap label sementara	26
Gambar 20 Perubahan prediksi kategori relatif sepanjang rekaman	27
Gambar 21 Deret HR dari tiga berkas Polar pada waktu masing-masing	28



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kode Program Akuisisi sEMG pada ESP32	34
Lampiran 2 Kode Program Penerimaan dan Pencatatan sEMG pada Komputer	35
Lampiran 3 Kode Program Pengiriman sEMG ESP32 melalui MQTT	36
Lampiran 4 Kode Program Polar H10 melalui BLE dan MQTT	41
Lampiran 5 Parameter dan Jumlah Data	46
Lampiran 6 Asal Berkas dan Penelusuran Pengolahan	47
Lampiran 7 Matriks Hasil Uji	47

Hak Cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.