

EVALUASI *RANDOM FOREST* DAN LSTM UNTUK KLASIFIKASI GERAKAN PERGELANGAN TANGAN BERBASIS IMU DENGAN MONITORING SEMG

MUHAMMAD RESTU ALVIAN FIRMANSYAH



**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

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 “Evaluasi *Random Forest* dan LSTM untuk Klasifikasi Gerakan Pergelangan Tangan Berbasis IMU dengan Monitoring sEMG” 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, September 2026

Muhammad Restu Alvian Firmansyah
J0404221143



@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.

ABSTRAK

Muhammad Restu Alvian Firmansyah. Evaluasi *Random Forest* dan LSTM untuk Klasifikasi Gerakan Pergelangan Tangan Berbasis IMU dengan Monitoring sEMG. Dibimbing oleh Ridwan Siskandar

Gangguan motorik pascastroke dapat membatasi fungsi pergelangan tangan sehingga diperlukan sistem yang mampu memperoleh informasi gerakan dan aktivitas otot. Penelitian ini mengembangkan sistem rehabilitasi menggunakan *inertial measurement unit* (IMU) untuk klasifikasi gerakan dan *surface electromyography* (sEMG) untuk monitoring aktivitas otot. Data IMU enam kanal disegmentasi menggunakan *window* 50 sampel dan *step* 25 sampel sehingga menghasilkan 30 fitur per *window*. Evaluasi *held-out trial* menghasilkan akurasi Random Forest (RF) sebesar 87,71% dan Long Short-Term Memory (LSTM) sebesar 97,93% pada lima kelas gerakan. Sinyal sEMG diolah menggunakan *root mean square* (RMS) untuk menentukan kondisi *LOW* dan *NORMAL*. Implementasi *real-time* menggunakan RF yang terintegrasi dengan Python, MQTT, ESP32, OpenRB-150, dan Dynamixel MX-28AT. Pengujian bangku menghasilkan RMSE penjejakan 10,69° pada fleksi-ekstensi dan 7,28° pada radial-ulnar tanpa *overshoot*.

Kata kunci: IMU, LSTM, *Random Forest*, rehabilitasi pergelangan tangan, sEMG

ABSTRACT

Muhammad Restu Alvian Firmansyah. *Evaluation of Random Forest and LSTM for IMU-Based Wrist Movement Classification with sEMG Monitoring. Supervised by RIDWAN SISKANDAR.*

Post-stroke motor impairment may limit wrist function, requiring a system capable of obtaining movement and muscle-activity information. This study developed a wrist rehabilitation system using an inertial measurement unit (IMU) for movement classification and surface electromyography (sEMG) for muscle-activity monitoring. Six IMU channels were segmented using 50-sample windows with a 25-sample step, producing 30 features per window. Held-out-trial evaluation achieved accuracies of 87.71% for Random Forest (RF) and 97.93% for Long Short-Term Memory (LSTM) across five movement classes. The sEMG signal was processed using root mean square (RMS) to determine LOW and NORMAL activity states. The real-time implementation used RF integrated with Python, MQTT, ESP32, OpenRB-150, and Dynamixel MX-28AT actuators. Bench testing produced tracking RMSE values of 10.69° for flexion-extension and 7.28° for radial-ulnar motion with no overshoot.

Keywords: IMU, LSTM, *Random Forest*, sEMG, wrist rehabilitation



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.

EVALUASI *RANDOM FOREST* DAN LSTM UNTUK KLASIFIKASI GERAKAN PERGELANGAN TANGAN BERBASIS IMU DENGAN MONITORING SEMG

MUHAMMAD RESTU ALVIAN FIRMANSYAH

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 milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

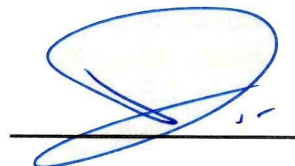
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Judul Laporan Akhir : Evaluasi *Random Forest* dan LSTM untuk Klasifikasi Gerakan Pergelangan Tangan Berbasis IMU dengan Monitoring sEMG

Nama : Muhammad Restu Alvian Firmansyah
NIM : J0404221143

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si.



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:
Rabu 2 September 2026

Tanggal Lulus:



@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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala 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 “Evaluasi *Random Forest* dan LSTM untuk Klasifikasi Gerakan Pergelangan Tangan Berbasis IMU dengan Monitoring sEMG”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Sapdo Utomo, M.T. dan Aditya Sukma Nugraha, S.T., M.T., Ph.D beserta staf Workshop di BRIN Samaun samadikun dan Alwi, Dhafin, Ihsan, Jacky yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan..

Bogor, September 2026

Muhammad Restu Alvian Firmansyah

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@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.

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 ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Elektromiografi Permukaan dan Aktivitas Otot	5
2.2 IMU dan Gerakan Pergelangan Tangan Dua Derajat Kebebasan	6
2.3 Segmentasi dan Ekstraksi Fitur IMU	7
2.4 Random Forest	8
2.5 <i>Long Short-Term Memory</i>	9
2.6 Evaluasi Model Klasifikasi dan <i>Held-Out Trial</i>	9
2.7 Sistem Eksoskeleton Rehabilitasi dan Integrasi Sensor	10
III METODE	12
3.1 Perancangan	13
3.2 Uji Kinerja	17
3.3 Teknik Analisis Data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Implementasi Sistem dan Pengolahan Data	20
4.2 Evaluasi Model dan Estimasi Kinematika IMU	21
4.3 Monitoring Aktivitas Otot dan Implementasi <i>Real-Time</i>	23
4.4 Pengujian Bantuan dan Aktuator	24
4.5 Pembahasan dan Keterbatasan	26
V SIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Simpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	31
RIWAYAT HIDUP	79



DAFTAR TABEL

1	Komponen perangkat keras	14
2	Kebutuhan perangkat lunak penelitian	16
3	Skenario pengujian kinerja sistem	17
4	Metrik evaluasi klasifikasi dan estimasi	19
5	Perbandingan kinerja <i>Random Forest</i> dan LSTM berbasis IMU	22
6	Hasil evaluasi estimasi kinematika berbasis IMU	23
7	Logika penentuan kondisi aktivitas otot	23
8	Logika keputusan bantuan	25
9	Kinerja penjejakan aktuator pada pengujian bangku	25

DAFTAR GAMBAR

1	Alur pengolahan sinyal sEMG untuk penentuan kondisi aktivitas otot	5
2	Gerakan pergelangan tangan dua derajat kebebasan	6
3	Tahapan segmentasi dan ekstraksi fitur IMU	7
4	Prinsip klasifikasi Random Forest	8
5	Prinsip pemrosesan data sekuensial menggunakan LSTM	9
6	Skema pembagian data berdasarkan <i>held-out trial</i>	10
7	Arsitektur integrasi IMU, sEMG, dan aktuator	11
8	Metode Penelitian	12
9	Rangkaian perangkat keras sistem rehabilitasi pergelangan tangan	13
10	Alur kerja perangkat keras sistem rehabilitasi pergelangan tangan	15
11	Implementasi keseluruhan sistem rehabilitasi pergelangan tangan	20
12	Contoh sinyal akselerometer dan giroskop selama satu trial gerakan fleksi	21
13	<i>Confusion matrix</i> Random Forest pada data uji <i>held-out trial</i>	22
14	<i>Confusion Matrix</i> LSTM pada data uji <i>held-out trial</i>	22
15	Tampilan nilai RMS dan status aktivitas otot pada <i>dashboard</i>	24
16	Tampilan dashboard sistem rehabilitasi pergelangan tangan	24
17	Respons <i>tracking</i> aktuator pada sumbu <i>fleksi-ekstensi</i>	25
18	Respons <i>tracking</i> aktuator pada sumbu <i>radial-ulnar</i>	26

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Kode Program ESP32 untuk akuisisi IMU dan sEMG	32
2	Lampiran 2 kode program openrb-150 dan kendali dynamixel mx-28AT	56