

HALAMAN JUDUL

**SISTEM *MONITORING* DAN DETEKSI ANOMALI GETARAN
DAN TEMPERATUR MOTOR 3 PHASE MENGGUNAKAN
METODE *K-MEANS CLUSTERING* BERBASIS EDGE AI**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi

Oleh:

FAHRUL RIDHO DWINUGROHO

1527422012

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
2026**

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan penggerak utama dalam industri yang rentan terhadap penurunan performa akibat masalah mekanis dan termal. Pemantauan kondisi mesin secara konvensional menggunakan perangkat otomasi standar seringkali membutuhkan biaya investasi yang mahal, sedangkan sistem berbasis *Cloud* atau *Internet of Things* (IoT) kerap terkendala oleh masalah latensi jaringan, tingginya konsumsi *bandwidth*, dan risiko keamanan privasi data. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun purwarupa sistem pemantauan mandiri (*stand-alone*) menggunakan pendekatan *Edge Artificial Intelligence* (Edge AI) berbasis *Tiny Machine Learning* (TinyML) yang diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32, terintegrasi dengan modul Ethernet W5500 melalui protokol Modbus TCP tanpa ketergantungan pada *cloud*. Sistem ini mengintegrasikan sensor MPU6050 untuk membaca kecepatan getaran (*Velocity RMS*) dan sensor termokopel untuk membaca suhu permukaan motor secara *real-time*. Sebagai metode klasifikasi, digunakan algoritma *unsupervised learning K-Means Clustering*, dengan jumlah *cluster* optimal ($K = 2$) ditentukan melalui evaluasi *Silhouette Score* dan *Davies-Bouldin Index*, menghasilkan dua kategori kondisi motor yaitu *Normal* dan *Anomali (Danger)*, dengan interpretasi ambang batas mengacu pada standar industri ISO 10816 dan deteksi suhu berlebih (*Overheating*).

Hasil pengujian menunjukkan model klasifikasi telah diimplementasikan pada perangkat *edge* dengan tingkat kesesuaian *cluster* sebesar 99,19% dan konsistensi deteksi anomali sebesar 94,7–98,2% terhadap spesifikasi model saat divalidasi pada pengujian operasional selama kurang lebih 8 jam pada motor uji. Sistem yang dihasilkan mampu melakukan proses inferensi secara langsung di perangkat (*on-device inference*) dengan latensi rendah tanpa memerlukan koneksi internet publik, sehingga dapat memberikan solusi peringatan dini (*early warning*) pemeliharaan prediktif yang efisien, aman, dan berbiaya rendah bagi industri.

Kata Kunci: *Motor Induksi, Edge AI, TinyML, K-Means Clustering, ESP32, ISO 10816, Deteksi Anomali, Pemeliharaan Prediktif.*

ABSTRACT

Three-phase induction motors are the primary drivers in industry, highly vulnerable to performance degradation due to mechanical and thermal issues. Conventional machine condition monitoring using standard automation devices often requires high investment costs, while Cloud or Internet of Things (IoT)-based systems frequently face challenges such as network latency, high bandwidth consumption, and data privacy security risks. This study aims to design and develop a *stand-alone* monitoring system prototype using an Edge Artificial Intelligence (Edge AI) approach based on Tiny Machine Learning (TinyML) implemented on an ESP32 microcontroller, integrated with a W5500 Ethernet module via the Modbus TCP protocol without dependence on the cloud. The system integrates an MPU6050 sensor to measure vibration velocity (Velocity RMS) and a thermocouple sensor to monitor the motor's surface temperature in *real-time*. As the classification method, an unsupervised *K-Means Clustering* algorithm was used, with the optimal number of clusters ($K = 2$) determined through Silhouette Score and Davies-Bouldin Index evaluation, resulting in two motor condition categories: Normal and Anomaly (Danger), with threshold interpretation referring to the ISO 10816 industrial standard and overheating detection.

Test results show that the classification model, once implemented on the edge device, achieved a cluster-assignment consistency of 99.19% and an anomaly-detection consistency of 94.7–98.2% against the model specification when validated through approximately 8 hours of operational testing on a test motor. The resulting system is capable of performing *on-device inference* with low latency without requiring a public internet connection, thereby offering an efficient, secure, and low-cost predictive maintenance early-warning solution for industry.

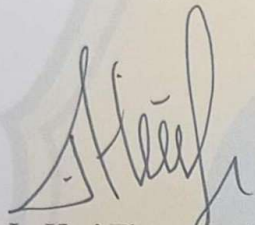
Keywords: Induction Motor, Edge AI, TinyML, K-Means Clustering, ESP32, ISO 10816, Anomaly Detection, Predictive Maintenance.

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

Nama : Fahrul Ridho Dwinugroho
NIM : 1527422012
Judul : SISTEM *MONITORING* DAN DETEKSI
ANOMALI GETARAN DAN TEMPERATUR
MOTOR 3 *PHASE* MENGGUNAKAN METODE
K-MEANS CLUSTERING BERBASIS *EDGE AI*

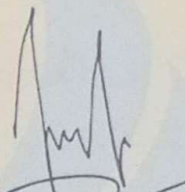
ini telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diajukan dalam ujian tugas akhir.

Jakarta 15 Juli 2026
Pembimbing I,



Ir. Heri Firmansyah, M.T
NIDN. 0014028408

Pembimbing II,



Rizki Pratama Putra, S.T., M.T
NIDN. 0315089103

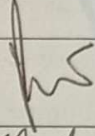
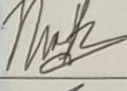
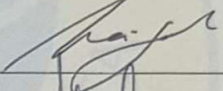
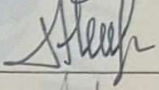
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

BENTUK : SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Fahrul Ridho Dwinugroho
NIM : 1527422012
Program Studi/Fakultas : Teknologi Rekayasa Otomasi/ Fakultas Teknik
Judul : SISTEM MONITORING DAN DETEKSI
ANOMALI GETARAN DAN TEMPERATUR
MOTOR 3 PHASE MENGGUNAKAN
METODE K-MEANS CLUSTERING
BERBASIS EDGE AI

Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan **Lulus/Tidak Lulus** *. Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 17 Juli 2026

Tim Penguji,

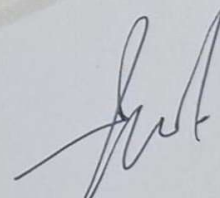
Ketua Penguji	Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., Ph.D NIDN : 0030037203	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Churnia Sari, S.T., M.T. NIDN : 0708129004	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Nur Hanifah Yuninda, S.T., M.T. NIDN : 0011068204	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Ir. Heri Firmansyah, M.T NIDN : 0014028408	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Rizki Pratama Putra, S.T., M.T NIDN : 0315089103	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si, Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Otomasi



Syufrijal, S.T., M.T.
NIDN. 0027037604

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : Fahrul Ridho Dwinugroho
NIM : 1527422012
Program Studi/Fakultas : Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul TA : SISTEM *MONITORING* DAN DETEKSI
ANOMALI GETARAN DAN TEMPERATUR
MOTOR 3 *PHASE* MENGGUNAKAN
METODE *K-MEANS CLUSTERING* BERBASIS
EDGE AI

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, 21 Juli 2026

Yang menyatakan,



Fahrul Ridho Dwinugroho

NIM. 1527422012



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Fahrul Ridho Dwinugroho
NIM : 1527422012
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknologi Rekayasa Otomasi
Alamat email : fr.dwinugroho@gmail.com

tuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :

SISTEM *MONITORING* DAN DETEKSI ANOMALI GETARAN DAN
TEMPERATUR MOTOR 3 PHASE MENGGUNAKAN METODE *K-MEANS*
CLUSTERING BERBASIS *EDGE AI*

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 22 Juli 2026
Penulis,

(Fahrul Ridho Dwinugroho)

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *"Sistem Monitoring dan Deteksi Anomali Getaran dan Temperatur Motor 3 Phase Menggunakan Metode K-Means Clustering Berbasis Edge AI"* dengan baik dan tepat waktu.

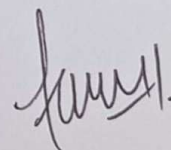
Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Syufrijal, S.T, M.T, selaku Koordinator Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi.
2. Bapak Ir. Heri Firmansyah, M.T. dan Rizky Pratama Putra, S.T., M.T. , selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan serta masukan berharga selama penyusunan Skripsi ini.
3. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
4. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, serta materiil yang tak terhingga.
5. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2022 Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi yang telah memberikan semangat dan diskusi yang membangun.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang.

Jakarta, 21 Juli 2026

Penulis



Fahrul Ridho Dwinugroho
No. Reg. 1527422012

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Rumusan Masalah.....	6
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Kerangka Teoritik.....	8
2.1.1 Rancang Bangun.....	8
2.1.2 Sistem Monitoring.....	9
2.1.3 Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>) dan Kondisi Abnormal.....	10
2.1.4 Getaran dan Suhu.....	12
2.1.5 Motor Induksi.....	14
2.1.6 Edge AI.....	15
2.1.7 Kmeans.....	17
2.1.8 TinyML.....	19
2.1.9 Pengolahan Sinyal Digital : Filter <i>High-Pass</i> Orde-1.....	21

2.2 Penelitian Terdahulu(State of The Art).....	22
2.2.1 Penelitian tentang Deteksi Kerusakan Bearing Motor Induksi.....	23
2.2.2 Penelitian tentang Klasifikasi Gangguan Motor Menggunakan Machine Learning.....	23
2.2.3 Penelitian tentang Implementasi TinyML untuk Deteksi Anomali.....	24
2.2.4 Penelitian tentang Pemantauan Multi-Parameter Motor Listrik.....	25
2.2.5 Penelitian tentang Pemeliharaan Prediktif Berbasis ISO 10816.....	25
2.3 <i>Research Gap</i> (Celah Penelitian)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2 Metode Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3.1 Perangkat Keras (Hardware).....	29
3.3.2 Perangkat Lunak (Software)	30
3.3.3. Definisi Operasional Variabel.....	31
3.4 Tahapan Penelitian.....	31
3.4.1 Flowchart	32
3.4.2 Diagram Blok	33
3.4.3 Skematik	33
3.4.4 Desain 3D	34
3.4.5 Perancangan Perangkat Keras.....	35
3.4.6 Akuisisi Data Sensor.....	35
3.4.7 Preprocessing	36
3.5 Instrumen.....	37
3.5.1 Kisi-kisi Instrumen	37
3.6 Teknik Analisis Data.....	38

3.6.1 Preprocessing Data	38
3.6.2 Pelatihan Model dengan K-Means Clustering	38
3.6.3 Evaluasi Performa Model	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Perancangan Sistem	40
4.2 Hasil Pengujian Sensor	41
4.2.1 Hasil HPF	41
4.2.2 Karakterisasi Nilai Sensor Getaran MPU6050	42
4.2.3 Karakterisasi Nilai Sensor Suhu MAX6675	43
4.3 Pelatihan Model	44
4.3.1 Normalisasi Data	44
4.3.2 Proses Clustering K-Means	45
4.3.3 Hasil Centroid	46
4.3.4 Visualisasi Cluster	46
4.3.5 Evaluasi Clustering (Silhouette Score, Davies-Bouldin Index)	47
4.3.6 Implementasi Model K-Means pada ESP32	47
4.4 Pengujian Sistem	49
4.4.1 Deskripsi Pengujian	49
4.4.2 Statistik Deskriptif Hasil Pengujian	49
4.4.3 Validasi Kesesuaian Inferensi terhadap Model	50
4.4.4 Analisis Kestabilan Status	51
4.4.5 Inferensi	52
4.4.6 Perhitungan	54
4.5 Pembahasan	55
4.5.1 Implementasi K-Means Clustering Berbasis Edge AI untuk Deteksi Anomali dan Klasifikasi Zona ISO 10816	55

4.5.2 Efektivitas Integrasi Parameter Temperatur dan Velocity RMS terhadap Peringatan Dini	56
4.5.3 Kinerja Sistem dalam Akurasi Inferensi dan Waktu Respons secara <i>Real-Time</i>	56
4.5.4 Rangkuman Pembahasan	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	63
DAFTAR RIWAYAT.....	64



DAFTAR TABEL

TABEL 2. 1 TABEL KOMPARASI EDGEAI DENGAN CLOUDAI	16
TABEL 2. 2 TABEL PERBANDINGAN PENELITIAN TERDAHULU.....	27
TABEL 3. 1 PERANGKAT KERAS.....	29
TABEL 3. 2 PERANGKAT LUNAK	30
TABEL 3. 3 PENJELASAN VARIABEL	31
TABEL 3. 4 TABEL PARAMETER DAN KETERANGAN	36
TABEL 3. 5 TABEL PARAMETER MODEL K-MEANS	37
TABEL 3. 6 TABEL KISI-KISI INSTRUMEN.....	37
<i>TABEL 4. 1 HASIL FILTER HPF</i>	41
TABEL 4. 2 KARAKTERISASI SENSOR GETARAN MPU6050.....	42
TABEL 4. 3 KARAKTERISASI SENSOR SUHU MAX6675 THERMOCOUPLE TYPE K ...	43
TABEL 4. 4 TABEL DATASET MOTOR	44
TABEL 4. 5 TABEL NORMALISASI DATASET	45
TABEL 4. 6 TABEL CENTROID	46
TABEL 4. 7 TABEL EVALUASI CLUSTERING.....	47
TABEL 4. 8 TABEL MODEL AKHIR.....	48
TABEL 4. 9 STATISIK DESKRIPTIF DARI PARAMETER YANG DIREKAM.....	49
TABEL 4. 10 DISTRIBUSI KLASIFIKASI STATUS DAN CLUSTER SELAMA PENGUJIAN ..	50
TABEL 4. 11 VALIDASI KESESUAIAN INFERENSI.....	50
TABEL 4. 12 TABEL HASIL INFERENSI	52

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 GAMBAR TINGKAT KEPARAHAN ISO.....	10
GAMBAR 2. 2 GAMBAR HUBUNGAN GETARAN DAN SUHU.....	12
GAMBAR 2. 3 GAMBAR MOTOR 3 FASE	14
GAMBAR 2. 4 GAMBAR EDGE AI	15
GAMBAR 2. 5 KMEANS.....	17
GAMBAR 2. 6 TINYML.....	19
GAMBAR 3. 1 DIAGRAM ALIR	32
GAMBAR 3. 2 DIAGRAM BLOK.....	33
GAMBAR 3. 3 SKEMATIK	34
GAMBAR 3. 4 DESAIN 3D SW ISOMETRIC	34
GAMBAR 3. 5 DESAIN 3D TAMPAK DEPAN.....	34
GAMBAR 3. 6 DESAIN 3D SE ISOMETRIC	34
GAMBAR 4. 1 PAPAN PCB TAMPAK DEPAN	40
GAMBAR 4. 2 PAPAN PCB TAMPAK BAWAH	41
GAMBAR 4. 3 PCB DAN CASING	41
GAMBAR 4. 4 KARAKTERISASI SENSOR MPU6050.....	42
GAMBAR 4. 5 KARAKTERISASI SENSOR SUHU MAX6675 THERMOCOUPLE TYPE K	43
GAMBAR 4. 6 VISUALISASI CLUSTER	46
GAMBAR 4. 7 VISUALISASI CLUSTER KMEANS	47

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 KARAKTERISASI SENSOR.....	63
LAMPIRAN 2 TAMPILAN WEB PENGUJIAN	63

