

**IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI
GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN**



**Universitas
Harkat Negeri**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Studi
Jenjang Program Diploma Tiga

Oleh:

NAMA : Ahmad Sofwan Alfin

NIM : 23041034

**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS HARKAT NEGERI**

2026

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di dibawah ini:

Nama : Ahmad Sofwan Alfin
NIM : 23041034
Jurusan / Program Studi : D-3 Teknik Komputer
Jenis Karya : Tugas Akhir

Adalah mahasiswa Program Studi D-3 Teknik Komputer Sekolah Vokasi Universitas Harkat Negeri, dengan ini saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul **"IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN"**

Merupakan hasil pemikiran dan karya sendiri secara orisinil dan saya susun secara mandiri dan tidak melanggar kode etika hak karya cipta. Pada pelaporan Tugas Akhir ini juga bukan merupakan karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik tertentu di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata Laporan Tugas Akhir ini terbukti melanggar kode etik karya cipta atau merupakan karya yang dikategorikan mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia untuk melakukan penelitian baru dan menyusun laporannya sebagai Laporan Tugas Akhir, sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan sesungguhnya.

Tegal, 24 Juli 2026



(Ahmad Sofwan Alfin)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Harkat Negeri, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Sofwan Alfin
NIM : 23041034
Jurusan / Program Studi : D3 Teknik Komputer
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi mengembangkan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Harkat Negeri Tegal, **Hak Bebas Royalti *Noneksklusif*** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas Tugas Akhir saya yang berjudul: **“IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN”** Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti *Noneksklusif* ini Universitas Harkat Negeri berhak menyimpan, mengalih media / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Tegal

Pada tanggal : 24 Juli 2026

Yang Menyatakan



(Ahmad Sofwan Alfin)

UNIVERSITAS HARKAT NEGERI	Kode/No :
	Tanggal :
FORMULIR LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	Revisi :
	SEKOLAH VOKASI

**HALAMAN PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR (TA)**

**IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI
GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Melaksanakan Tugas Akhir / Skripsi

Oleh:

Nama : Ahmad Sofwan Alfin

NIM : 23041034

Tegal, 24 Juli 2026

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II


Very Kurnia Bakti, M.Kom.
NIPY. 09.008.044


Abdul Basit, S.Kom., M.T.
NIPY. 01.015.198

UNIVERSITAS HARKAT NEGERI	Kode/No :
	Tanggal :
FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Revisi :
	SEKOLAH VOKASI

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR (TA).**

**IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI
GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN**

Oleh:

Nama : Ahmad Sofwan Alfin

NIM : 23041034

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya Komputer pada Program Studi Diploma III Teknik Komputer, Universitas Harkat Negeri.

Tim Penguji

Ketua Penguji
NIDN. 0610108904 : Wildani Eko Nugroho, M.Kom. ()

Anggota Penguji I
NIDN. 0618058902 : Achmad Sutanto, S.Kom., M.Tr.T. ()

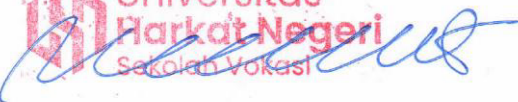
Anggota Penguji II
NIDN. 0608121991 : Abdul Basit, S.Kom., M.T. ()

Tegal, 24 Juli 2026

Menyetujui,

Sekolah Vokasi
Dekan

Program Studi Diploma III Teknik Komputer
Ketua Program Studi

Dr. apt. Heru Nurcahyo, S.Farm., M.Sc.
NIPY. 10.007.038

Arif Rakhman, S.E., S.Pd., M.Kom.
NIPY. 05.016.291

HALAMAN MOTO

"Kesempatan tidak datang kesempatan diciptakan."

"Mulailah, itulah separuh dari pekerjaan."

(Seneca)

*"Ilmu adalah sayap yang membawa manusia terbang ke langit
kesempurnaan."*

"Akal adalah anugerah tertinggi yang diberikan Allah kepada manusia."

(Avicenna)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, Tugas Akhir ini kupersembahkan kepada:

1. Allah SWT Atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan yang telah diberikan-Nya, sehingga hamba dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat pada waktunya.
2. Kedua Orang Tua Tercinta Kepada Ayah dan Ibu, atas doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tak pernah habis, dan pengorbanan yang tak ternilai harganya. Kalian adalah kekuatan terbesar dalam setiap langkah perjuanganku.
3. Kakak dan Adikku Tersayang Yang selalu hadir dengan semangat, canda, dan dukungan di setiap suka maupun duka. Kebersamaan kita adalah motivasi yang tak pernah padam.
4. Teman-teman, Sahabat, dan Saudara Terima kasih atas doa, dukungan, dan semangat yang telah kalian berikan tanpa henti. Kalian adalah bagian dari perjalanan dan keberhasilan ini.

ABSTRAK

Distribusi cumi-cumi sebagai komoditas ekspor Indonesia bergantung pada kestabilan sistem *cold chain*, namun kegagalan mekanis kompresor truk berpendingin sering baru terdeteksi setelah mutu produk menurun akibat belum adanya pemantauan secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem deteksi anomali getaran berbasis *Tiny Machine Learning (TinyML)* yang bekerja sepenuhnya *on-device* pada ESP32-S3 tanpa bergantung pada koneksi internet untuk proses inferensi. Penelitian dilakukan mengikuti tahapan CRISP-DM, diawali dengan *business understanding* untuk merumuskan kebutuhan pemantauan kondisi mekanis kompresor, dilanjutkan *data understanding* melalui akuisisi sinyal akselerasi tiga sumbu dari sensor MPU6050 serta *dataset* MAFAULDA dan data lapangan CV. MSI. Tahap *data preparation* mencakup *bandpass filter*, *windowing Hann*, transformasi FFT, dan ekstraksi fitur spektral (*RMS*, *Peak Amplitude*, *Spectral Energy*) sehingga dihasilkan vektor fitur berdimensi 9. Pada tahap *modeling*, fitur diklasifikasikan menggunakan MLP dua *hidden layer* (32 dan 16 neuron) dengan empat varian: model dasar (V1), *pruning* 50% (V2), *quantization* INT8 (V3), dan kombinasi keduanya (V4). Tahap *evaluation* menunjukkan V1 *Base Float32* terbaik, dengan akurasi 85,01%, ukuran model 5,57 KB, dan latensi 586–794 μ s. Tahap *deployment* dilakukan melalui validasi *real-time* pada sistem *cold chain* terintegrasi, membuktikan kelayakan *TinyML* untuk pemantauan mandiri.

Kata Kunci : *TinyML*, MLP, ESP32-S3, FFT

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"IMPLEMENTASI *TINY MACHINE LEARNING* BERBASIS *MULTI-LAYER PERCEPTRON* PADA ESP32-S3 UNTUK DETEKSI ANOMALI GETARAN KOMPRESOR TRUK BERPENDINGIN"** ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi DIII Teknik Komputer di Universitas Harkat Negeri Tegal. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sudirman Said, S.E., M.B.A. selaku Rektor Universitas Harkat Negeri Tegal.
2. Bapak Dr. apt. Heru Nurcahyo, S.Farm., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Sekolah Vokasi Universitas Harkat Negeri Tegal.
3. Bapak Arif Rakhman, S.E., S.Pd., M.Kom., selaku Ketua Program Studi DIII Teknik Komputer Universitas Harkat Negeri Tegal.
4. Bapak Very Kurnia Bakti, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Abdul Basit, S.Kom., M.T., selaku Dosen Pembimbing II.
6. Ibu Pimpinan CV. Mutiara Samudera Indonesia (MSI), atas izin observasi yang telah diberikan.
7. Seluruh narasumber di tempat observasi.
8. Teman satu tim, atas kerja sama dan kekompakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi DIII Teknik Komputer Universitas Harkat Negeri Tegal.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sumbangan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Tegal, 24 Juli 2026

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN MOTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian & Manfaat Penelitian	7
1.4.1. Tujuan Penelitian.....	7
1.4.2. Manfaat Penelitian	8
1.5. Sistematika Penulisan Laporan.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Penelitian Terkait.....	11
2.2. Landasan Teori	15
2.2.1. <i>Internet of Things (IoT)</i>	15
2.2.2. <i>Edge computing</i>	15
2.2.3. <i>Tiny Machine learning (TinyML)</i>	16
2.2.4. Pra-pemrosesan Data	18
2.2.5. <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i>	18
2.2.6. Ekstraksi Fitur.....	20
2.2.7. <i>Multi-Layer Perceptron (MLP)</i>	21
2.2.8. <i>Dataset MAFAULDA</i>	22
2.2.9. Optimasi Model (<i>Pruning</i> dan <i>Quantization</i>).....	23
2.2.10. <i>Majority voting</i>	25
2.2.11. Mikrokontroler ESP32-S3	26
2.2.12. Sensor Inersia (MPU6050)	27
2.2.13. INA219	28
2.2.14. <i>Visual Studio Code</i>	30
2.2.15. Diagram Alir	31
2.2.16. Diagram Blok.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1. Prosedur Penelitian	36

3.1.1.	<i>Business Understanding</i>	37
3.1.2.	<i>Data Understanding</i>	37
3.1.3.	<i>Data Preparation</i>	38
3.1.4.	<i>Modeling</i>	39
3.1.5.	<i>Evaluation</i>	39
3.1.6.	<i>Deployment</i>	40
3.2.	Metode Pengumpulan Data	40
3.2.1.	Observasi	41
3.2.2.	Wawancara	41
3.2.3.	Studi Literatur	42
3.3.	Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.3.1.	Tempat Penelitian	43
3.3.2.	Waktu Penelitian	44
BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM		46
4.1.	Analisis Permasalahan	46
4.2.	Analisis Kebutuhan Sistem	48
4.2.1.	Kebutuhan Perangkat Keras	48
4.2.2.	Kebutuhan Perangkat Lunak	49
4.2.3.	Kebutuhan <i>Dataset</i> Penelitian	50
4.3.	Perancangan Implementasi Sistem	51
4.3.1.	Perancangan Arsitektur Sistem	51
4.3.2.	Perancangan Akuisisi dan Pra-Pemrosesan Sinyal	53
4.3.3.	Perancangan Ekstraksi Fitur Spektral	56
4.3.4.	Perancangan Inferensi MLP	58
4.3.5.	Perancangan <i>Majority voting</i> dan Keputusan Klasifikasi	59
4.4.	Perancangan <i>Machine Learning (Training Offline)</i>	61
4.4.1.	Perancangan Pra-Pemrosesan dan Ekstraksi Fitur <i>Dataset</i>	63
4.4.2.	Perancangan Arsitektur Model MLP	64
4.4.3.	Perancangan Pelatihan Model	64
4.4.4.	Perancangan <i>Pruning</i> dan <i>Quantization</i>	65
4.4.5.	Perancangan Konversi Format <i>TFLite</i> dan <i>Header C++</i>	66
4.4.6.	Perancangan Evaluasi dan Pemilihan Varian Model	67
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		68
5.1.	Implementasi Sistem	68
5.1.1.	Perangkat Keras yang Diimplementasikan	68
5.1.2.	Implementasi <i>Machine Learning (Training Offline)</i>	69
5.1.3.	Implementasi <i>Firmware</i> Alur Pemrosesan Sinyal dan <i>TinyML</i> pada ESP32-S3	71
5.2.	Hasil Pengujian	73
5.2.1.	Analisis Perbedaan Spektrum FFT Antar Kondisi Mesin	73
5.2.2.	Hasil Pelatihan Model MLP (V1 <i>Base Float32</i>)	76
5.2.3.	Perbandingan Performa Empat Varian Model (V1-V4)	78
5.2.4.	Hasil Pengujian Latensi Inferensi pada ESP32-S3	81
5.2.5.	Hasil Pengujian Konsumsi Daya pada ESP32-S3	83
5.2.6.	Hasil Pengujian Penggunaan Memori pada ESP32-S3	84
5.2.7.	Rekapitulasi dan Validasi Varian Terpilih	85

5.3. Pembahasan	87
5.3.1. Efektivitas Sistem Deteksi Anomali secara <i>Real-Time</i> dan <i>On-device</i>	87
5.3.2. Efektivitas Pra-Pemrosesan FFT dan Ekstraksi Fitur Spektral	89
5.3.3. Performa Model MLP dalam Klasifikasi Kondisi Kompresor	90
5.3.4. Pengaruh <i>Pruning</i> dan <i>Quantization</i> Terhadap Performa Model	92
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	95
6.1. Simpulan	95
6.2. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	107

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian Terkait	11
Tabel 2.2 Simbol-Simbol Diagram Alir / <i>Flowchart</i>	33
Tabel 2.3 Komponen Utama Diagram Blok	34
Tabel 4.1 Rangkuman Analisis Permasalahan	47
Tabel 4.2 Kebutuhan Perangkat Keras	49
Tabel 4.3 Kebutuhan Perangkat Lunak	49
Tabel 4.4 Komposisi <i>Dataset</i> Penelitian	51
Tabel 4.5 Arsitektur Model MLP	59
Tabel 5.1 Rata-Rata Fitur Spektral per Kondisi Mesin	75
Tabel 5.2 <i>Classification Report</i> Model V1 <i>Base Float32</i> pada Data Uji	78
Tabel 5.3 Perbandingan Performa Empat Varian Model	79
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Latensi Inferensi per Varian Model	82
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Konsumsi Daya per Varian Model	83
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Penggunaan Memori per Varian Model	84
Tabel 5.7 Skor Komposit dan Metrik Evaluasi Model	85

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 ESP32-S3	27
Gambar 2.2 Sensor Inersia MPU6050	28
Gambar 2.3 Sensor INA219	30
Gambar 3.1 Alur Metode Penelitian	36
Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian	44
Gambar 4.1 Diagram Blok Arsitektur Sistem Keseluruhan.....	52
Gambar 4.2 Diagram Alir Akuisisi dan Pra-Pemrosesan Sinyal pada ESP32-S3	54
Gambar 4.3 Diagram Alir Ekstraksi Fitur Spektral pada ESP32-S3	57
Gambar 4.4 Diagram Alir Inferensi MLP pada ESP32-S3	58
Gambar 4.5 Diagram Alir Mekanisme <i>Majority voting</i>	60
Gambar 4.6 Diagram Alir Keseluruhan Proses <i>Training Offline</i>	62
Gambar 5.1 Purwarupa Sistem Pemantauan Distribusi Berbasis <i>TinyML</i>	69
Gambar 5.2 <i>Output</i> Proses Ekstraksi Fitur <i>Dataset</i>	70
Gambar 5.3 <i>Output Log Epoch</i> Proses Pelatihan Model MLP	70
Gambar 5.4 Struktur File Hasil Ekspor Keempat Varian Model	71
Gambar 5.5 <i>Output</i> Kompilasi <i>Firmware</i> PlatformIO	72
Gambar 5.6 <i>Output Serial Monitor</i> Inferensi <i>Real-Time</i> pada ESP32-S3	73
Gambar 5.7 Spektrum FFT Perbandingan Tiga Kondisi Mesin per Sumbu.....	74
Gambar 5.8 Kurva Pelatihan Model MLP V1 <i>Base Float32</i>	76
Gambar 5.9 <i>Confusion Matrix</i> Model V1 <i>Base Float32</i> pada Data Uji.....	77
Gambar 5.10 F1-Score per Kelas untuk Varian V1–V4	80
Gambar 5.11 <i>Confusion Matrix</i> Perbandingan V1–V4.....	80

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Surat Kesediaan Pembimbing 1 Tugas Akhir.....	A-1
Lampiran 2 Surat Kesediaan Pembimbing 2 Tugas Akhir.....	B-1
Lampiran 3 Surat Balasan Observasi	C-1
Lampiran 4 Potongan Kode <i>Python</i> Pelatihan Model.....	D-1
Lampiran 5 Potongan Kode Implementasi <i>TinyML</i> Pada ESP32S3	E-1
Lampiran 6 Foto Dokumentasi Observasi dan Wawancara	F-1