

**KOMPRESI MODEL *DEEP NEURAL NETWORK* DENGAN *PRUNING*
DAN *QUANTIZATION* UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR
BERBASIS ESP32**



TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Studi Jenjang Program
Diploma Tiga**

Oleh:

Nama : Eka Bagas Prasetya

NIM : 23040086

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

2026

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eka Bagas Prasetya
NIM : 23040086
Jurusan/ Program Studi : DIII Teknik Komputer
Jenis Karya : Tugas Akhir

Adalah mahasiswa Program Studi D-3 Teknik Komputer Universitas Harkat Negeri, dengan ini saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul **"KOMPRESI MODEL DEEP NEURAL NETWORK DENGAN PRUNING DAN QUANTIZATION UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR BERBASIS ESP32"**

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan sesungguhnya.

Tegal, 30 Juni 2026



Eka Bagas Prasetya
NIM. 23040086

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS

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

Nama : Eka Bagus Prasetya
NIM : 23040086
Jurusan / Program Studi : DIII Teknik Komputer
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Harkat Negeri Tegal **Hak Bebas Royalti Noneksekusif** (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas Tugas Akhir kami yang berjudul :

“KOMPRESI MODEL DEEP NEURAL NETWORK DENGAN PRUNING DAN QUANTIZATION UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR BERBASIS ESP32”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksekusif ini Universitas Harkat Negeri Tegal berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir kami selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Tegal

Pada Tanggal : 30 Juni 2026

Yang Menyatakan



Eka Bagus Prasetya

NIM. 23040086

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

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR (TA)

KOMPRESI MODEL DEEP NEURAL NETWORK DENGAN PRUNING DAN QUANTIZATION UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR BERBASIS ESP32

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Melaksanakan Tugas Akhir

Oleh:

Nama : Eka Bagus Prasetya
NIM : 23040086

Tegal, 30 Juni 2026

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Abdul Basit, S.Kom, M.T

NIPY. 01.015.198



Very Kurnia Bakti, M.Kom

NIPY. 09.008.044

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

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR (TA)

KOMPRESI MODEL DEEP NEURAL NETWORK DENGAN PRUNING DAN QUANTIZATION UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR BERBASIS ESP32

Oleh:

Nama : Eka Bagus Prasetya

NIM : 23040086

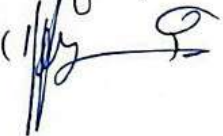
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik Komputer pada Program Studi Diploma III Teknik Komputer, Universitas Harkat Negeri.

Tim Penguji,

Ketua Penguji : Ida Afriliana, S.T., M.Kom
NIDN. 0624047703

Anggota Penguji I : Nurohim, S.ST., M.Kom
NIDN. 0625067701

Anggota Penguji II : Very Kurnia Bakti, M.Kom
NIDN. 0625118301

()
()
()

Tegal, 30 Juli 2026
Menyetujui,

Sekolah Vokasi
Dekan

Program Studi Diploma III Teknik Komputer
Ketua Program Studi


Universitas
Harkat Negeri
Sekolah Vokasi

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


Universitas
Harkat Negeri
DIII Teknik Komputer

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan ridho kepada hamba-Nya. Sholawat serta salam kepada junjungan dan suri tauladan Nabi Muhammad SAW yang menuntun umat manusia kepada jalan yang diridhoi Allah SWT. Tugas Akhir ini dipersembahkan kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan semangat sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik. Persembahan Tugas Akhir ini dan rasa terima kasih di ucapkan kepada:

1. ALLAH SWT atas Ridho dan segala nikmat yang diberikan.
2. Ibu dan Bapa Saya tercinta selaku orang tua yang luar biasa telah memberikan kasih sayang, dukungan, bimbingan, dan doa tanpa pamrih.
3. Dosen Pembimbing, Bapak Abdul Basit, S.Kom, M.T. dan Bapak Very Kurnia Bakti, M.Kom yang telah memberikan bimbingan dan arahan atas ilmunya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Untuk rekan tugas akhir saya Bani Fadhlih Azka F. Terima Kasih atas dukungan, kebersamaan, dan semangat yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Teman Kelas 6C. Terimakasih banyak atas bantuan dan kerjasamanya selama ini, serta semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Segenap Keluarga besar Universitas Harkat Negeri Tegal.

HALAMAN MOTTO

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah: 5)

“Anglaras ilining banyu, angeli ananging ora keli”

Yang berarti selaras dengan aliran air, mengikuti arus namun tidak hanyut

“Hiduplah seolah engkau mati besok. Belajarlah seolah engkau hidup selamanya.”

(Mahatma Gandhi)

ABSTRAK

Pemantauan kualitas air minum konvensional melalui uji laboratorium membutuhkan waktu yang cukup lama dan menghambat respons cepat terhadap perubahan kondisi air baku secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi kualitas air cerdas pada perangkat edge dengan menerapkan pendekatan *Tiny Machine Learning* (TinyML) untuk mendeteksi kelayakan air baku (kelas Layak dan Tidak Layak) di lingkungan Perumda Air Minum Tirta Bahari Kota Tegal. Algoritma yang digunakan adalah *Deep Neural Network* (DNN) untuk memproses data tabular dari parameter sensor fisik-kimia air yang mencakup pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan *Turbidity*. Guna mengatasi keterbatasan kapasitas memori pada sistem tertanam, model DNN dioptimasi secara sekuensial menggunakan kombinasi teknik manual *magnitude-based pruning* dan *Post-Training Full Integer Quantization* (INT8) melalui *framework TensorFlow Lite*. Model hasil kompresi tersebut kemudian ditanamkan ke dalam mikrokontroler ESP32 untuk diuji kemampuan proses inferensi lokalnya (*on-device inference*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema optimasi berhasil memangkas ukuran berkas biner model secara signifikan sebesar 88,5%, yaitu dari 27,38 KB menjadi hanya 3,15 KB, sehingga sangat ringan untuk memori RAM ESP32. Meskipun terjadi kuantisasi nilai ke format INT8, penurunan akurasi model tercatat sangat minimal, yakni hanya bergeser sebesar 1,90% (dari 92,96% menjadi 91,06%) dengan validitas keputusan keputusan alat yang tetap konsisten 100% terhadap simulasi model referensi. Selain itu, implementasi komputasi tepi (*Edge AI*) berhasil mempercepat waktu latensi inferensi lokal menjadi rata-rata 0,096 ms per batch data. Efisiensi waktu komputasi ini berbanding lurus dengan penghematan energi sirkuit, di mana pemantauan sensor telemetri INA219 menunjukkan profil daya aktif rata-rata perangkat yang sangat rendah sebesar 682,00 mW (tegangan bus $\approx 11,48$ V dan arus $\approx 60,36$ mA). Hasil tersebut mengonfirmasi bahwa model TinyML yang dikembangkan sangat layak dan adaptif untuk diimplementasikan pada sistem pemantauan kualitas air jarak jauh berbasis catu daya mandiri (*off-grid system*).

Kata Kunci: Kualitas Air, TinyML, *Deep Neural Network*, *Pruning*, *Quantization*, ESP32.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang yang telah meilmpahkan segala rahmat, hidayah dan inayah-Nya hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir dengan judul “KOMPRESI MODEL *DEEP NEURAL NETWORK* DENGAN *PRUNING* DAN *QUANTIZATION* UNTUK KLASIFIKASI KUALITAS AIR BERBASI ESP32”. Tugas Akhir merupakan suatu kewajiban yang harus dilaksanakan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam mencapai derajat Ahli Madya Komputer pada program studi DIII Universitas Harkat Negeri Tegal. Selama melaksanakan penelitian dan kemudian tersusun dalam laporan Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan bimbingan. Pada Kesempatan ini, tidak lupa diucapkan terima kasih yang sebesar bersarnya kepada:

1. Bapak Sudirman Said, Se, MBA selaku Rektor Universitas Harkat Negeri
2. Bapak Arif Rakhman, SE, S.Pd, M.Kom selaku Ketua Program Studi DIII Teknik Komputer Universitas Harkat Negeri Tegal.
3. Bapak Abdul Basit, S.Kom, M.T Selaku dosen pembimbing I.
4. Bapak Very Kurnia Bakti, M.Kom selaku Pembimbing II.
5. Keluarga yang telah memberikan memberikan motivasi, menasehati, dan menemani saya.
6. Teman-teman yang telah membantu dan memberikan beberapa nasehat yang mendukung.
7. Dan semuanya yang bersangkutan yang tidak bisa diuraikan satu persatu.

Penulis menyadari bila dalam penulisan laporan ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca agar kedepannya dapat lebih dikembangkan, semoga laporan ini bermanfaat dan berguna bagi yang membutuhkan, atas perhatiannya kami ucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
ABSTRAK	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah.....	7
1.4 Tujuan Dan Manfaat.....	8
1.4.1 Tujuan.....	8
1.4.2 Manfaat.....	9
1.5 Sistematika Penulisan Laporan.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Penelitian Terkait.....	12
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Internet Of Things	14
2.2.2 NodeMCU ESP32	14
2.2.3 Sensor INA219	15
2.2.4 Machine Learning.....	16
2.2.5 Tiny Machine Learning (TinyML).....	16
2.2.7 TensorFlow Lite.....	17
2.2.7 <i>Pruning</i> (Pemangkasan)	17

2.2.8 Kuantisasi (<i>Quantization</i>).....	17
2.2.8 Flowchart.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Prosedur Penelitian.....	21
3.2.1 Pra Optimasi.....	22
3.2.2 Kompresi dan Implementasi.....	22
3.2.3 Evaluasi Hardware.....	23
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	23
3.3.1 Observasi.....	23
3.3.2 Wawancara.....	23
3.3.3 Studi Literatur.....	24
3.3.4 Metode Pengumpulan Data Sekunder (<i>Kaggle</i>).....	24
3.4 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.4.1 Waktu Penelitian.....	25
3.4.2 Tempat Penelitian.....	25
BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN SISTEM.....	27
4.1 Analisis Permasalahan.....	27
4.2 Analisa Kebutuhan Sistem.....	28
4.2.1 Dataset Penelitian.....	28
4.2.2 Kebutuhan Perangkat Keras.....	29
4.2.3 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	29
4.3 Perancangan Machine Learning.....	30
4.3.1 Processing Data.....	30
4.3.2 Perancangan Model DNN.....	31
4.3.3 Pelatihan Model.....	31
4.3.4 Evaluasi Model.....	32
4.3.5 Eksperimen Optimasi Model (Pruning dan Quantization).....	32
4.3.6 Konversi ke Format FlatBuffers C++ Byte Array.....	33
4.3.7 Arsitektur Penerapan (Deployment) pada TensorFlow Lite Micro.....	33
4.3.8 Perancangan Telemetri Daya dan Metrik Evaluasi Perangkat Keras.....	34
4.4 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	36
4.4.1 Desain Perancangan Alat.....	36

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	41
5.1 Hasil Optimasi Model (<i>Pruning</i> dan <i>Quantization</i>).....	41
5.2 Implementasi Model pada Perangkat Keras (Hardware Deployment)...	43
5.3 Hasil Pengujian Performa Hardware	48
5.3.1 Analisis Latensi Inferensi Lokal.....	48
5.3.2 Analisis Penggunaan RAM	49
5.3.3 Analisis Telemetri Konsumsi Arus dan Daya (Sensor INA219)...	51
5.4 Efisiensi Energi dan Komputasi Tepi (Edge AI)	53
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	56
6.1 Kesimpulan.....	56
6.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 NodeMCU ESP32	15
Gambar 2. 2 Sensor INA219	16
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Tempat Penelitian.....	26
Gambar 4. 1 Blok Diagram	37
Gambar 4. 2 Desain Rancangan Sistem	38
Gambar 5. 1 Confusion Matrix Pruning.....	42
Gambar 5. 2 Confusion Matrix Quantization.....	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Teori Terkait	12
Tabel 2. 2 Flowchart.....	18
Tabel 3. 1 Dataset Sekunder.....	25
Tabel 4. 1 Inegrasi Antar Pin.....	37
Tabel 5. 1 Perbandingan Pasca-Optimasi Model	41
Tabel 5. 2 Tabel Hasil Parameter Data.....	46
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Performa Bertahap	47
Tabel 5. 4 Pengujian Latensi	49
Tabel 5. 5 Alokasi Memori.....	51
Tabel 5. 6 Pengukuran Telemetri Daya	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Surat Kesediaan Membimbing TA Pembimbing 1	A-1
Lampiran 2 Surat Kesediaan Membimbing TA Pembimbing 2	A-2
Lampiran 3 Surat Observasi di Perumda Air Minum Tirta Bahari Kota Tegal...	B-1
Lampiran 4 Bimbingan Laporan Pembimbing TA.....	C-1
Lampiran 5 Dokumentasi Hasil Observasi	D-1
Lampiran 6 Source Code.....	E-1