Implementasi TinyML dengan Model Long Short-Term Memory (LSTM) pada Mikrokontroler ESP32-S3 untuk
Prediksi Beban Listrik secara Real-Time
Muhammad Imam Suryana Putra, Ir. Budi Bayu Murti, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii

HALAMAN MOTTO iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR viii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR SINGKATAN xi

INTISARI xii

ABSTRACT xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Sistematika Penulisan 3

BAB 2 LANDASAN TEORI 5

2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 11
2.2.1 Beban Listrik dan Karakteristiknya 11
2.2.2 Parameter Kelistrikan 12
2.2.3 Sensor PZEM-004T 14
2.2.4 Mikrokontroler ESP32-S3 17
2.2.5 Sistem Catu Daya (*Power Supply*) 21
2.2.6 Internet of Things (IoT) dan Sistem Monitoring 23
2.2.7 Pra-pemrosesan Data (*Data Preprocessing*) 25

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Implementasi TinyML dengan Model Long Short-Term Memory (LSTM) pada Mikrokontroler ESP32-S3 untuk Prediksi Beban Listrik secara Real-Time
Muhammad Imam Suryana Putra, Ir. Budi Bayu Murti, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.8 *Long Short-Term Memory* (LSTM) 28
2.2.9 Metrik Evaluasi Performa 32
2.3 Hipotesis Penelitian 34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 35
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian 35
3.2 Alat dan Bahan 38
3.2.1 Perangkat Lunak dan Peralatan Pengembangan (Alat) 38
3.2.2 Perangkat Keras dan Komponen Elektronika (Bahan) 39
3.3 Tahapan Penelitian 41
3.3.1 Studi Awal dan Analisis Kebutuhan Sistem 41
3.3.2 Perancangan dan Perakitan Perangkat Keras 42
3.3.3 Akuisisi Data Kelistrikan dan Konstruksi Dataset 42
3.3.4 Pemodelan AI, Kuantisasi, dan On-Device Deployment 43
3.3.5 Pengujian Mandiri Lokal dan Evaluasi Performa 44
3.4 Perancangan Sistem 44
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras dan Sirkuit Catu Daya 45
3.4.2 Perancangan Perangkat Tegar (Firmware) dan Jaringan IoT . . 48
3.4.3 Perancangan dan Pemodelan Jaringan Saraf Tiruan LSTM . . . 51
3.4.4 Kompilasi, Kuantisasi Model, dan TinyML Pipeline 54
3.5 Pengujian dan Analisis Sistem 57
3.5.1 Pengujian Sistem Monitoring Energi 57
3.5.2 Pengujian Model Prediksi LSTM 58
3.5.3 Analisis Hasil 59

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 60
4.1 Realisasi Perangkat Keras dan Sirkuit Prototipe 60
4.1.1 Perakitan Papan Sirkuit (PCB 1 dan PCB 2) 60
4.2 Pengujian Fungsionalitas Perangkat Keras 63
4.2.1 Pengujian Catu Daya Terintegrasi (220VAC, 5VDC, dan 3,3VDC) 64
4.2.2 Pengujian Rangkaian Pembagi Tegangan Komunikasi Serial . . . 65
4.2.3 Pengujian RTC DS3231 dan Penampil Antarmuka OLED 66
4.2.4 Pengujian Komunikasi Data Berbasis IoT 67
4.2.5 Validasi Akurasi Pengukuran Sensor PZEM-004T 68
4.2.6 Analisis Dataset Historis 70
4.2.7 Pengujian dan Evaluasi Performa Model *Machine Learning* LSTM 72
4.2.8 Analisis Hasil Pemantauan dan Prediksi 73
4.2.9 Analisis Kinerja *On-Device Inference* 76

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Implementasi TinyML dengan Model Long Short-Term Memory (LSTM) pada Mikrokontroler ESP32-S3 untuk Prediksi Beban Listrik secara Real-Time
Muhammad Imam Suryana Putra, Ir. Budi Bayu Murti, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.10 Evaluasi Performa Inferensi Lapangan (*Real-Time Deployment*) 77

BAB 5 PENUTUP **81**
5.1 Kesimpulan 81
5.2 Saran 82

DAFTAR PUSTAKA **83**

LAMPIRAN A **L - 1**
A Lembar Perbaikan Proyek Akhir . . . . . L - 1

LAMPIRAN B **L - 4**
B Dokumentasi . . . . . L - 4

LAMPIRAN C **L - 5**
C Dataset Training dan Pengujian Model LSTM . . . . . L - 5
C.1 Cuplikan Dataset Pelatihan Model LSTM . . . . . L - 5
C.2 Cuplikan Log Inferensi *Real-Time* . . . . . L - 6

LAMPIRAN D **L - 9**
D Potongan Kode Pelatihan Model Machine Learning . . . . . L - 9
D.1 Potongan Kode *Short Model* . . . . . L - 9
D.2 Potongan Kode *Long Model* . . . . . L - 10