

**ANALISIS PREDIKTIF TEGANGAN OUTPUT
PIEZOELEKTRIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
MENGUNAKAN METODE ARIMAX-ANN**



TUGAS AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Program
Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Sriwijaya**

Oleh:

M. Dwi Permana

062240342212

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama : M. Dwi Permana
NIM : 062240342212
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 29 April 2004
Alamat : Jl. Sapta Marga No. 50
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Elektro
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisis Prediktif Tegangan Output Piezoelektrik Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Metode ARIMAX-ANN

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, bebas dari tindakan plagiasi serta sumber referensi baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Laporan Tugas Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah Sidang Tugas Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah Sidang Tugas Akhir.

Apabila di kemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggung jawab dan menerima sanksi untuk tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh Jurusan Teknik Elektro, yang berdampak pada tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip. Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.



Palembang, Juli 2026

Yang Menyatakan,


M. Dwi Permana

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PREDIKTIF TEGANGAN OUTPUT PIEZOELEKTRIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN METODE ARIMAX-ANN



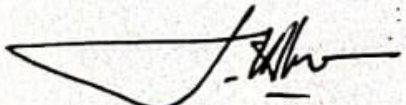
Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Sriwijaya

Oleh :

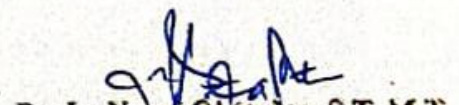
M. Dwi Permana
062240342212

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I.


Ir. A. Rahman, M.T.
NIP 196202051993031002

Dosen Pembimbing II

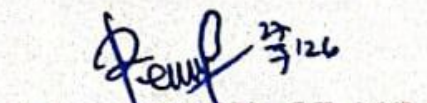

Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T., M.T.
NIP 197710162008122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro


Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM
NIP 197907222008011007

Koordinator Program Studi
Sarjana Terapan Teknik Elektro


Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.
NIP 198910022019032013

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Ilmu pengetahuan memberikan arah, kerja keras memberikan jalan, dan doa memberikan kekuatan untuk mencapai apa yang tampak mustahil.

-M. Dwi Permana

PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini kupersembahkan dengan penuh rasa syukur dan terima kasih kepada Ayah, Ibu dan kakak tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, pengorbanan, dukungan, kepercayaan, serta semangat dalam setiap langkah kehidupan yang penulis jalani. Terima kasih atas segala kebaikan dan ketulusan yang telah diberikan hingga penulis mampu mencapai tahap ini. Semoga pencapaian ini dapat menjadi kebahagiaan dan kebanggaan bagi Ayah, Ibu dan kakak.

Penulis juga mempersembahkan karya ini kepada Bapak Ir. A. Rahman, M.T. dan Ibu Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta ilmu yang sangat berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini. Kesabaran, dedikasi, dan perhatian yang diberikan menjadi bagian penting dalam setiap tahapan penyelesaian karya ilmiah ini. Semoga segala kebaikan dan ketulusan yang telah dicurahkan mendapatkan balasan terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa.

Tak lupa, karya ini juga dipersembahkan kepada teman-teman Kelas 8 ELB yang telah menjadi sahabat seperjuangan dalam setiap proses perjalanan perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, semangat, serta kenangan indah yang telah tercipta selama menempuh pendidikan bersama. Semoga persahabatan dan silaturahmi yang telah terjalin dapat terus terjaga serta membawa kesuksesan bagi kita semua di masa yang akan datang.

ABSTRAK

ANALISIS PREDIKTIF TEGANGAN OUTPUT PIEZOELEKTRIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN METODE ARIMAX- ANN

(2026 : xxiii + 95 Halaman + 47 Gambar + 16 Tabel + 57 Daftar Pustaka)

M.DWI PERMANA

062240342212

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Kebutuhan energi alternatif yang ramah lingkungan mendorong pengembangan teknologi *energy harvesting* berbasis piezoelektrik. Material piezoelektrik memiliki kemampuan mengubah energi mekanik yang berasal dari aktivitas manusia menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring tegangan output piezoelektrik berbasis *Internet of Things* (IoT) serta membangun model prediksi tegangan menggunakan metode *Stacked* ARIMAX-ANN. Sistem yang dikembangkan menggunakan 96 elemen piezoelektrik yang disusun menjadi enam blok pada *smart floor* piezoelektrik. Data tegangan hasil pengukuran dikirim menggunakan ESP32-S3 melalui protokol MQTT ke Node-RED dan disimpan pada Google Sheets untuk proses monitoring secara *real-time*. Aktivitas yang digunakan meliputi berjalan, berlari, dan melompat dengan berat badan sebagai variabel eksogen. Model ARIMAX digunakan untuk memodelkan pola linear dan pengaruh variabel eksogen, sedangkan ANN digunakan untuk mempelajari pola nonlinier melalui pendekatan *stacked forecasting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Stacked* ARIMAX-ANN mampu menghasilkan performa prediksi yang lebih baik dibandingkan model ARIMAX tunggal.

Kata Kunci: Piezoelektrik, *Smart Floor*, *Internet of Things*, ARIMAX, ANN, *Energy harvesting*.

ABSTRACT

PREDICTIVE ANALYSIS OF PIEZOELECTRIC OUTPUT VOLTAGE BASED ON THE INTERNET OF THINGS USING THE ARIMAX-ANN METHOD

(2026 : xxiii + 95 Pages + 47 Figures + 16 Tables + 57 References)

M. DWI PERMANA

062240342212

BACHELOR OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT

STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA

The increasing demand for environmentally friendly alternative energy sources has encouraged the development of piezoelectric-based energy harvesting technology. Piezoelectric materials have the capability to convert mechanical energy generated from human activities into electrical energy. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based piezoelectric output voltage monitoring system and develop a voltage prediction model using the Stacked ARIMAX-ANN method. The proposed system utilizes 96 piezoelectric elements arranged into six blocks within a piezoelectric smart floor. The measured voltage data are transmitted using an ESP32-S3 through the MQTT protocol to Node-RED and stored in Google Sheets for real-time monitoring. The activities considered in this study include walking, running, and jumping, with body weight used as an exogenous variable. The ARIMAX model is employed to capture linear patterns and the influence of exogenous variables, while the ANN is used to learn nonlinear relationships through a stacked forecasting approach. The results show that the Stacked ARIMAX-ANN method is able to achieve better prediction performance compared to the single ARIMAX model.

Keywords: *Piezoelectric, Smart Floor, Internet of Things, ARIMAX, ANN, Energy harvesting.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PREDIKTIF TEGANGAN OUTPUT PIEZOELEKTRIK BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN METODE ARIMAX-ANN”** dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya. Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metodologi Penelitian, Bab IV Hasil dan Pembahasan, serta Bab V Penutup.

Dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak bimbingan, bantuan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. A. Rahman, M.T. selaku Dosen Pembimbing I.

2. Ibu Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom.,IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro.
5. Seluruh dosen, staf, dan instruktur di Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.

6. Keluarga tercinta, yaitu Ayah, Ibu dan Kakak Perempuan penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, serta kepercayaan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan terutama Fairuz Atthallah dan M. Billy Akbar yang turut memberikan dukungan dan semangat dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
8. Nurhania, yang telah memberikan dukungan, semangat, serta menemani penulis selama proses penyusunan tugas akhir, proses pembuatan jurnal, hingga karya ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi isi maupun teknik penulisan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semoga segala bantuan serta bimbingan yang telah diberikan mendapatkan balasan rahmat dan ridho dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Aamiin.

Palembang, Juli 2026

M. Dwi Permana

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Metode Penulisan	6
1.6.1 Metode Literatur	6
1.6.2 Metode Observasi	6
1.6.3 Metode Konsultasi	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 State of The Art	8
2.2 <i>Energy harvesting</i>	9
2.3 Piezoelektrik.....	10
2.3.1 Prinsip Kerja Piezoelektrik	11

2.3.2 Karakteristik Material PZT pada Piezoelektrik	13
2.3.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Piezoelektrik	15
2.3.4 Pemanfaatan Piezoelektrik sebagai Sumber Energi.....	15
2.3.5 Konfigurasi Seri-Paralel	17
2.4 Smartfloor Piezoelektrik.....	19
2.5 Tekanan Mekanik dari Aktivitas Manusia	20
2.6 MCP6002 Operational Amplifier	21
2.7 Analog-to-Digital Converter (ADC) ADS1115	22
2.8 LCD 1602	23
2.9 Sensor Berat <i>Load cell</i> dan Modul HX711	24
2.10 Mikrokontroler ESP32-S3	25
2.11 <i>Internet of Things</i> (IoT)	26
2.11.1 Protokol MQTT dan MQTT Broker	27
2.11.2 Node-RED.....	28
2.11.3 Cloud Database	28
2.11.4 Google Spreadsheet	29
2.12 Metode Arimax dalam Data <i>Time Series</i>	29
2.12.1 <i>AutoRegressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables</i> (ARIMAX).....	30
2.12.2 Struktur Model ARIMAX.....	31
2.12.3 Persamaan Matematis ARIMAX	32
2.12.4 Variabel Eksogen ARIMAX	33
2.12.5 Parameter Pengukuran	34
2.12.6 Lag pada Data Time Series	35

2.12.7 Feature Engineering pada Data Time Series.....	35
2.13 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).....	36
2.13.1 <i>Stacked</i> ARIMAX-ANN.....	38
2.14 Evaluasi Model.....	39
2.14.1 Mean Absolute Error (MAE).....	40
2.14.2 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	40
2.14.3 Root Mean Square Error (RMSE)	41
2.14.4 <i>R Squared</i> (R^2).....	41
2.15 Google Colab.....	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Perancangan Sistem Penelitian.....	46
3.2 Studi Literatur.....	47
3.3 Perancangan Sistem.....	47
3.3.1 Perancangan <i>Smart floor</i> Piezoelektrik.....	48
3.3.2 Perancangan Sistem IoT	49
3.3.3 Perancangan Akuisisi Data	54
3.3.4 Desain Keseluruhan Sistem <i>Smart floor</i> Piezoelektrik.....	55
3.4 Pengumpulan Data.....	57
3.4.1 Skenario Pengambilan Data.....	58
3.4.2 Parameter Pengukuran	60
3.4.3 Penyimpanan Data	61
3.5 Pengolahan dan Pemodelan Data	61
3.5.1 Pra-pemrosesan Data	63
3.5.2 Pemodelan ARIMAX.....	63

3.5.3	Pemodelan Artificial Neural Network (ANN)	65
3.5.4	Integrasi Model ARIMAX-ANN	67
3.6	Pengujian dan Evaluasi Model	68
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	70
4.1	Realisasi <i>Smart floor</i> Piezoelektrik	70
4.2	Pengujian Sistem Iot Dan Akuisisi Data	73
4.3	Experimental Testbed dan Dataset Awal	73
4.3.1	Pengambilan Data Penelitian	74
4.3.2	Dataset Pengujian	75
4.4	<i>Experimental Testbed</i> Penelitian Terdahulu	77
4.4.1	Konfigurasi Sistem Penelitian Terdahulu	78
4.4.2	Hasil Penelitian Pendahuluan	78
4.5	Hasil Pemodelan dan Evaluasi Model ARIMAX-ANN	79
4.5.1	Konfigurasi Dataset	80
4.5.2	Hasil Penentuan Order ARIMAX	81
4.5.3	Hasil Pemodelan dan Evaluasi Aktivitas Jalan	82
4.5.4	Hasil Pemodelan dan Evaluasi Aktivitas Lari.....	83
4.5.5	Hasil Pemodelan dan Evaluasi Aktivitas Lompat.....	85
4.5.6	Perbandingan Kinerja Model	87
4.5.7	Perbandingan Kinerja Model	89
4.6	Analisis Hubungan Data Aktual dan Prediksi	90
4.6.1	Aktivitas Jalan.....	91
4.6.2	Aktivitas Lari	91
4.6.3	Aktivitas Lompat.....	92

4.6.4 Pembahasan Hasil Scatter Plot	93
BAB V PENUTUP	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	xviii
LAMPIRAN.....	xxiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Energy harvesting</i>	10
Gambar 2. 2 Piezoelektrik	11
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Piezoelektrik	13
Gambar 2. 4 Struktur Kristal Material Piezoelektrik PZT.....	14
Gambar 2. 5 Pemanfaatan Piezoelektrik.....	16
Gambar 2. 6 Kombinasi Seri Paralel	17
Gambar 2. 7 Skema Rangkaian Penyearah (Rectifier)	18
Gambar 2. 8 Proses Perubahan Gelombang AC ke DC.....	18
Gambar 2. 9 Smart floor Piezoelektrik.....	19
Gambar 2. 10 MCP6002	22
Gambar 2. 11 ADS1115	23
Gambar 2. 12 LCD 1602 I2C	24
Gambar 2. 13 Load cell dan Modul HX711	25
Gambar 2. 14 ESP32-S3	26
Gambar 2. 15 HiveMQ, MQTT Essentials.....	27
Gambar 2. 16 Node-Red.....	28
Gambar 2. 17 Multilayer Perceptron ANN.....	38
Gambar 2. 18 Google Colab.....	42
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian Smart floor Piezoelektrik	46
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Smart floor Piezoelektrik	47
Gambar 3. 3 Desain Rangkaian Seri Piezoelektrik.....	48
Gambar 3. 4 Desain Struktur Smart floor Piezoelektrik (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Samping.....	49
Gambar 3. 5 Desain Enclosure PCB Rangkaian IoT.....	51
Gambar 3. 6 Rancangan IoT Dengan Smart floor Piezoelektrik	52
Gambar 3. 7 Flow Node-RED Sistem Monitoring dan Penyimpanan Data Smart floor Piezoelektrik Berbasis IoT	53

Gambar 3. 8 Dashboard Node-RED Sistem Monitoring dan Penyimpanan Data Smart floor Piezoelektrik Berbasis IoT	53
Gambar 3. 9 Desain Sistem Monitoring dan Penyimpanan Data Piezoelektrik berbasis IoT	55
Gambar 3. 10 Rancangan sistem smart floor piezoelektrik	56
Gambar 3. 11 Flowchart Pengumpulan Data	57
Gambar 3. 12 Skenario Pengambilan Data pada Smart floor Piezoelektrik	60
Gambar 3. 13 Flowchart Metodologi Pemodelan Stacked ARIMAX-ANN	62
Gambar 3. 14 Arsitektur Model ARIMAX	65
Gambar 3. 15 Arsitektur Model ANN	66
Gambar 3. 16 Arsitektur ARIMAX-ANN	68
Gambar 4. 1 Realisasi smart floor piezoelektrik	70
Gambar 4. 2 Dashboard Sistem IoT	73
Gambar 4. 3 Grafik Dataset Tegangan Jalan	76
Gambar 4. 4 Grafik Dataset Tegangan Lari	76
Gambar 4. 5 Grafik Dataset Tegangan Lompat	77
Gambar 4. 6 Perbandingan Tegangan Aktual dan Hasil Prediksi pada Aktivitas Jalan	82
Gambar 4. 7 Perbandingan Tegangan Aktual dan Hasil Prediksi pada Aktivitas Lari	84
Gambar 4. 8 Perbandingan Tegangan Aktual dan Hasil Prediksi pada Aktivitas Lompat	86
Gambar 4. 9 Perbandingan Nilai MAPE Seluruh Model pada Setiap Aktivitas	87
Gambar 4. 10 Perbandingan Nilai R^2 Seluruh Model pada Setiap Aktivitas	88
Gambar 4. 11 Scatter Plot Tegangan Aktual dan Prediksi pada Aktivitas Jalan	91
Gambar 4. 12 Scatter Plot Tegangan Aktual dan Prediksi pada Aktivitas Lari	91
Gambar 4. 13 Scatter Plot Tegangan Aktual dan Prediksi pada Aktivitas Lompat ...	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of The Art (SoTA).....	8
Tabel 2. 2 Spesifikasi ADS1115	23
Tabel 2. 3 LCD 1602 dengan I2C.....	24
Tabel 2. 4 Akurasi Model Berdasarkan nilai MAPE	41
Tabel 3. 1 Pseudocode Sistem Monitoring Piezoelektrik Berbasis IoT	50
Tabel 3. 2 Pseudocode Model ARIMAX.....	64
Tabel 3. 3 Pseudocode Model ANN	66
Tabel 3. 4 Pseudocode Model ARIMAX-ANN.....	67
Tabel 4. 1 Spesifikasi Teknis Komponen Utama Yang Digunakan Dalam Realisasi Sistem.....	72
Tabel 4. 2 Jumlah Data Hasil Pengujian untuk Setiap Aktivitas	75
Tabel 4. 3 Nilai Minimum dan Maksimum Hasil Pengukuran Smart floor Piezoelektrik.....	75
Tabel 4. 4 Konfigurasi Sistem Penelitian Pendahuluan.....	78
Tabel 4. 5 Metriks Evaluasi Performa Model ARIMAX Pada Penelitian pendahulu	79
Tabel 4. 6 Konfigurasi Dataset Penelitian	81
Tabel 4. 7 Order yang Digunakan pada Tiap Aktivitas.....	81
Tabel 4. 8 Perbandingan Kinerja Model Prediksi Tegangan pada Setiap Aktivitas ...	89