

**ANALISIS DAN PREDIKSI *OUTPUT* PIEZOELEKTRIK PADA
APLIKASI *ENERGY HARVESTING* BERBASIS
*DEEP LEARNING***



TUGAS AKHIR

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

**Oleh :
Nur Aina Okta Ferrisa
062140340308**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama : Nur Aina Okta Ferrisa
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat,Tanggal Lahir : Palembang, 28 Oktober 2002
Alamat : Jl. Syakyakirti Lorong Kakap II No.95
NIM : 062140340308
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Elektro
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Skripsi/Laporan Tugas Akhir : Analisis dan Prediksi *Output* Piezoelektrik Pada Aplikasi *Energy Harvesting* Berbasis *Deep Learning*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Skripsi/Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri serta bebas dari tindakan plagiasi dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Skripsi/Laporan Tugas Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah ujian Skripsi/Laporan Tugas Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah ujian Skripsi/Laporan 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 tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh jurusan Teknik Elektro sehingga berdampak tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip (ASLI & COPY). Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.



Palembang, Agustus 2025
Yang Menyatakan



Nur Aina Okta Ferrisa
Nur Aina Okta Ferrisa

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAN PREDIKSI OUTPUT PIEZOELEKTRIK PADA APLIKASI *ENERGY HARVESTING* BERBASIS *DEEP LEARNING*



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

Oleh :

Nur Aina Okta Ferrisa
062140340308

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Ir. Pola Risma, M.T.
NIP. 196303281990032001

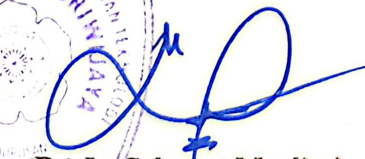
Dosen Pembimbing II

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

"Ilmu pengetahuan tanpa nilai kemanusiaan hanyalah kehampaan. Dalam setiap kabel dan arus, selalu ada tujuan: untuk menerangi kehidupan, bukan hanya dunia.

Seperti listrik yang tak terlihat namun nyata, begitu pula semangat dan pengorbanan yang mengantarku ke titik ini."

-Nikola Tesla-

"Dimulai dari mimpi, dilanjutkan dengan keyakinan, dan disempurnakan oleh kerja keras. Jadilah anak panah yang melesat jauh, tak gentar meski sempat ditarik mundur. Karena yang sejati bukanlah sekadar cerdas, tapi bermanfaat."

-Bacharuddin Jusuf Habibie-

Tugas akhir saya persembahkan untuk :

1. **Ayah dan Ibu tercinta**, terima kasih atas cinta, doa, dan pengorbanan yang tak pernah putus sepanjang langkah hidupku. Terima kasih karena selalu menjadi tempat aku kembali, selalu percaya pada kemampuanku, dan mendukung setiap mimpi meski terkadang terlihat terlalu jauh. Karya sederhana ini adalah wujud kecil dari rasa terima kasihku yang tak akan pernah cukup untuk membalas segala yang telah kalian berikan. Semoga setiap capaian ini menjadi bagian dari kebahagiaan dan kebanggaan kalian.
2. **Ibu Ir. Pola Risma, M.T** dan **Ibu Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T.,M.T.**, atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Dedikasi, ketelitian, serta komitmen yang Ibu berikan telah menjadi fondasi penting dalam penyelesaian karya ilmiah ini. Semoga segala ilmu, waktu, dan ketulusan yang telah diberikan memperoleh balasan terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa.
3. **Abang dan adik tercinta**, atas doa, dukungan, serta semangat yang senantiasa kalian berikan. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini, menjadi tempat berbagi dalam suka maupun duka.

ABSTRAK

ANALISA DAN PREDIKSI *OUTPUT* PIEZOELEKTRIK PADA APLIKASI *ENERGY HARVESTING* BERBASIS *DEEP LEARNING*

(2025 : 105 Halaman + 36 Gambar + 2 Tabel + 33 Daftar Pustaka)

NUR AINA OKTA FERRISA

062140340308

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Kebutuhan energi yang terus meningkat akibat keterbatasan sumber energi fosil mendorong pengembangan teknologi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan piezoelektrik sebagai sistem *energy harvesting*, yaitu teknologi yang dapat mengubah tekanan mekanik menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memprediksi *output* piezoelektrik berbasis tekanan langkah kaki manusia dengan memanfaatkan metode *deep learning*. Sistem dirancang menggunakan 120 buah sensor piezoelektrik PZT berdiameter 35 mm, disusun dalam konfigurasi seri dan paralel pada media akrilik berukuran 160 cm × 40 cm. Output tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan saat diinjak oleh berat badan bervariasi dikirim ke *platform* IoT melalui ESP32 dan disimpan dalam format CSV. Data tersebut kemudian diolah menggunakan dua model *deep learning*, yaitu *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan *Artificial Neural Network* (ANN), untuk memprediksi keluaran energi. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik MAE, MSE, RMSE, dan R^2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *deep learning* mampu melakukan prediksi output dengan akurasi yang baik, sehingga sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pemanen energi, tetapi juga sebagai sistem monitoring dan analitik berbasis kecerdasan buatan yang mendukung pengembangan teknologi berkelanjutan.

Kata kunci: Piezoelektrik, *Energy Harvesting*, *Deep Learning*, LSTM, ANN, IoT, ESP32

ABSTRACT

ANALYSIS AND PREDICTION OF PIEZOELECTRIC OUTPUT IN ENERGY HARVESTING APPLICATIONS BASED ON DEEP LEARNING

(2025 : 105 Pages + 36 Pictures + 2 Table + 33 References)

NUR AINA OKTA FERRISA
062140340308

The ever-increasing demand for energy, coupled with the limitations of fossil fuel resources, has driven the development of environmentally friendly alternative technologies. One promising solution is the utilization of piezoelectric materials as an energy harvesting system, a technology capable of converting mechanical pressure into electrical energy. This study aims to analyze and predict the output of piezoelectric sensors based on human footstep pressure using deep learning methods. The system is designed using 120 PZT piezoelectric sensors, each with a diameter of 35 mm, arranged in a series-parallel configuration on an acrylic platform measuring 160 cm × 40 cm. The generated voltage, current, and power outputs from varying body weights are transmitted to an IoT platform via an ESP32 microcontroller and stored in CSV format. These data are then processed using two deep learning models, namely Long Short-Term Memory (LSTM) and Artificial Neural Network (ANN), to predict the energy output. The models are evaluated using MAE, MSE, RMSE, and R² metrics. The results show that deep learning models can accurately predict the piezoelectric output, making the system function not only as an energy harvester but also as a smart monitoring and analytics tool powered by artificial intelligence to support the development of sustainable technology.

Keywords: Piezoelectric, Energy Harvesting, Deep Learning, LSTM, ANN, IoT, ESP32

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas limpahan karnunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan. Laporan Tugas Akhir ini yang diberi judul “ **ANALISIS DAN PREDIKSI OUTPUT PIEZOELEKTRIK PADA APLIKASI ENERGY HARVESTING BERBASIS DEEP LEARNING** “ dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan laporan ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya. Laporan Tugas Akhir ini berisi Bab I Pendahuluan, BAB II Tinjauan Pustaka, BAB III Metodologi Penelitian, BAB IV Anggaran Biaya dan Jadwal Kegiatan.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih :

- 1. Ibu Ir. Pola Risma, M.T., selaku Dosen Pembimbing I.**
- 2. Ibu Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II.**

Kemudian dengan segala ketulusan hati penulis juga berterimakasih atas dukungan, bimbingan, bantuan, dan kemudahan dari berbagai pihak, antara lain :

1. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T.,M.Kom.,IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Ibu Lindawati, S.T.,M.T.I. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T.,M.T., selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Seluruh Dosen, Staff, dan Instruktur pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Orang tua dan saudara saya yang telah memberikan doa, fasilitas, bantuan dan dukungannya.
6. Teman-teman seperjuangan saya dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan dan kekeliruan, baik mengenai isi maupun cara penulisan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar proposal ini dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya dan semoga segala bantuan serta bimbingan yang penulis dapatkan selama ini mendapatkan rahmat dan ridho dari Allah SWT, Aamiin.

Palembang, 2025

Nur Aina Okta Ferrisa

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.5.1 Metode Literatur.....	3
1.5.2 Metode Observasi.....	4
1.5.3 Metode Eksperimen	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>State of the Art</i>	6
2.2 <i>Energy</i>	9
2.2.1 <i>Alternative Energy</i>	10
2.2.2 <i>Renewable Energy</i>	11
2.2.3 <i>Energy harvesting</i>	12
2.3 Teori Piezoelektrik.....	13
2.3.1 Pengertian Piezoelektrik.....	13
2.3.3 Prinsip Kerja Piezoelektrik Pada <i>Energy harvesting</i>	14
2.3.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi <i>Output</i> Piezoelektrik	15
2.3.5 Aplikasi Piezoelektrik Pada <i>Energy harvesting</i>	17
2.4 ESP 32.....	18

2.5 Rangkaian <i>Voltage Divider</i>	19
2.6 ACS712	20
2.7 Thingspeak	21
2.8 <i>Comma Separated Values (CSV)</i>	21
2.9 <i>Deep learning</i>	22
2.9.1 <i>Long Short Term Memory (LSTM)</i>	23
2.9.2 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	24
2.10 Evaluasi	25
2.10.1 <i>Mean Absolute Error (MAE)</i>	26
2.10.2 <i>Mean Squared Error (MSE)</i>	26
2.10.3 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	26
2.10.4 <i>R Squared (R²)</i>	26
2.12 Bahasa Pemrograman <i>Python</i>	27
2.13 Jupyter	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Kerangka Tugas Akhir	29
3.1.1 Studi Literatur	30
3.1.2 Pembuatan Alat	31
3.1.3 Pengumpulan Dataset	31
3.1.4 <i>Preprocessing Data</i>	31
3.1.5 Implementasi <i>Deep learning</i>	32
3.1.6 <i>Training Data</i>	32
3.17 Pembuatan Artikel Ilmiah	32
3.1.8 Evaluasi Data	32
3.1.9 Analisis Data	33
3.1.10 Pembuatan Laporan Tugas Akhir	33
3.2 Desain Piezoelektrik Pada <i>Energy harvesting</i>	34
3.3 Blok Diagram Sistem <i>Energy Harvester</i>	38
3.4 Skematik System <i>Energy harvesting</i>	42
3.5 <i>Flowchart</i> Sistem <i>Energy harvesting</i>	43
3.5 <i>Flowchart Deep learning</i>	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48

4.1 Deskripsi Piezoelektrik Sebagai Sistem <i>Energy harvester</i>	48
4.2 Dataset Awal Sistem	50
4.3 Dataset Sistem <i>Energy harvester</i>	51
4.3.1 <i>Preprocessing</i> Data	52
4.3.2 Pembagian Data	52
4.3.3 Implementasi <i>Deep learning</i>	53
4.3.4 <i>Training Model</i>	54
4.3.5 Evaluasi Model.....	55
4.4 Analisa Dataset Awal.....	57
4.5 Analisa Dataset <i>Energy harvester</i>	58
4.5.1 Prediksi Tegangan.....	59
4.5.2 Prediksi Arus.....	60
4.5.3 Prediksi Daya	61
4.5.4 Grafik <i>Loss Training</i> dan Validasi.....	62
4.6 Analisa	64
BAB V PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Piezoelektrik.....	14
Gambar 2.2 Rangkaian Seri	15
Gambar 2.3 Rangkaian Paralel.....	16
Gambar 2.4 Rangkaian Campuran	16
Gambar 2.5 Ilustrasi Tumpuan Kaki.....	16
Gambar 2.6 <i>Data Sheet</i> ESP32	19
Gambar 2.7 ESP 32	19
Gambar 2.8 <i>Voltage Divider</i>	20
Gambar 2.9 Rumus <i>Voltage Divider</i>	20
Gambar 2.10 ACS712 5A	20
Gambar 2.11 Spesifikasi ACS712	21
Gambar 2.12 Arsitektur LSTM.....	23
Gambar 2.13 <i>Multilayered Perceptron</i> ANN	24
Gambar 3.1 Kerangka Tugas Akhir	29
Gambar 3.2 Susunan Sistem <i>Energy Harvester</i>	34
Gambar 3.3 Desain Rangkaian Piezoelektrik.....	35
Gambar 3.4 Tampak Isometric.....	35
Gambar 3.5 Detail Desain <i>Energy harvesting</i>	36
Gambar 3.6 Ilustrasi sistem piezoelektrik berbasis tekanan	36
Gambar 3.7 Susunan Sistem <i>Energy Harvester</i> Piezoelektrik.....	37
Gambar 3.8 Blok Diagram Sistem	38
Gambar 3.9 Skematik <i>System Energy harvesting</i>	42
Gambar 3.10 <i>Flowchart Energy harvester</i>	44
Gambar 3.11 <i>Flowchart Deep learning</i>	46
Gambar 4.1 Hardware Piezoelektrik <i>Energy harvester</i>	49
Gambar 4.2 Dataset Awal	50
Gambar 4.3 <i>Preprocessing Data</i>	52
Gambar 4.4 Pembagian Data.....	53
Gambar 4.5 <i>Deep learning</i> LSTM ANN.....	54
Gambar 4.6 <i>Training Model</i>	55

Gambar 4.7 Evaluasi Model.....	56
Gambar 4.8 Visualisasi Model.....	57
Gambar 4.9 Prediksi Tegangan.....	59
Gambar 4.10 Prediksi Arus.....	60
Gambar 4.11 Prediksi Daya.....	62
Gambar 4.12 <i>Loss Training</i> dan <i>Validation</i>	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>State Of The Art</i> Piezoelektrik	7
Tabel 4.1 Dataset Awal	50