

**ANALISIS PREDIKTIF KONFIGURASI SERI–PARALEL  
*SMART FLOOR PIEZOELECTRIC* MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN *MACHINE LEARNING***



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

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

**Oleh :  
FAIRUZ ATHALLAH  
062240342205**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA  
PALEMBANG  
2026**

**ANALISIS PREDIKTIF KONFIGURASI SERI–PARALEL  
*SMART FLOOR PIEZOELECTRIC* MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN *MACHINE LEARNING***



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

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

**Oleh :**

**Nama : Fairuz Athallah**

**Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T., M.T.**

**Dosen Pembimbing II : Ir. Pola Risma, M.T.**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA  
PALEMBANG**

**2026**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama : Fairuz Athallah  
NIM : 062240342205  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 08 November 2004  
Alamat : Komp. Wayhitam JL. Musi 7 Blok S No. 5, Kec. Ilir Barat 1, Kel. Siring Agung, Kota Palembang  
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Elektro  
Jurusan : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Analisis Prediktif Konfigurasi Seri-Paralel *Smart Floor Piezoelectric* Menggunakan Pendekatan *Machine Learning*

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.

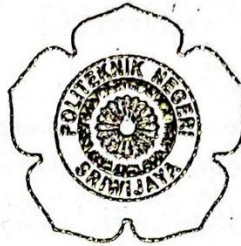


Palembang, 25 Juli 2026  
Yang Menyatakan,



Fairuz Athallah

**ANALISIS PREDIKTIF KONFIGURASI SERI-PARALEL  
SMART FLOOR PIEZOELECTRIC MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN MACHINE LEARNING**



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

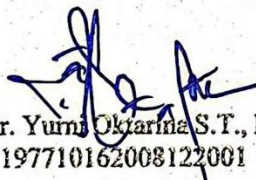
**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Jurusan  
Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik  
Negeri Sriwijaya**

Oleh :

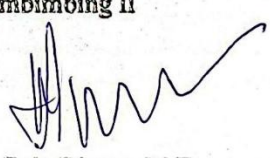
**Fairuz Athallah**

Menyetujui,

Pembimbing I

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

Palembang,  
Pembimbing II

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Koordinator Program Studi  
Sarjana Terapan Teknik Elektro



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

**Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.**  
**NIP. 19890022019032013**

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Tak perlu kau berhenti kurasi, Ini hanya sementara,  
Bukan ujung dari rencana.”

-(33x, Perunggu)-

“Selama murni niatanku, ke mana pun kutuju,  
Pasti ada jalan untukku”

-(Pasti Ada Jalan, Perunggu)-

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. **Ayah, Bunda, Rafa dan Alika**, Setiap malam yang kuhabiskan dengan layar menyala, setiap aktivitas pagi yang kukejari dengan mata belum sempurna terpejam. Semua terasa lebih terarah karena *"Pasti doamu yang lancarkan upayaku, Mesti doa yang meluncur dari bibirmu, Dan yang kutahu kau takkan pernah berhenti, Tumbuhku kini semoga sesuai yang kau impi, Tertulis jelas namaku, Di setiap harap malammu"*. Kini gelar ini resmi tersemat.
2. **Dr. Ir. Yurni Oktarina S.T., M.T., Ir. Pola Risma, M.T., Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, S.T., M.Eng**, Terima kasih telah menjadi pembimbing yang tidak sekadar mengoreksi, tetapi juga membentuk cara berpikir. Setiap masukan, setiap diskusi, dan setiap revisi adalah bagian dari proses yang kini saya syukuri. Semoga ilmu yang diajarkan dapat terus bermanfaat jauh melampaui halaman-halaman tugas akhir ini.
3. **Lilyani Aulia**, Ada yang bilang keberhasilan terasa lebih bermakna ketika ada seseorang yang ikut menantinya. Di saat-saat paling lelah, kau hadir bukan untuk menyelesaikan masalahku, tapi untuk memastikan aku tidak berhenti. Dan di titik ini *"Kurasa bagiku kau yang tegarkanku, Kutahu, Perihal betapa kau berhasil, Asah naluriku tuk tak lagi kerdil"*.
4. **Keluarga Yomang, Ali Ramadhan, Vivaldi Vikzi, Ahmad Sayyidul, Baruna Putra, Romi Afriansyah, Billy Akbar, Dwi Permana**, Kalian adalah bukti bahwa perjalanan panjang tidak harus ditempuh sendirian. Ada tawa yang menjadi jeda, ada celaan yang ternyata adalah semangat yang disamarkan, ada kehadiran yang tidak perlu banyak kata tapi terasa penuh. Sampai jumpa di babak berikutnya.

## ABSTRAK

### ANALISIS PREDIKTIF KONFIGURASI SERI-PARALEL *SMART FLOOR* *PIEZOELECTRIC* MENGGUNAKAN PENDEKATAN *MACHINE* *LEARNING*

(2026 : xviii + 118 Halaman + 62 Gambar + 52 Tabel + Daftar Pustaka + Lampiran)

---

---

**FAIRUZ ATHALLAH**

**062240342205**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA**

Kebutuhan energi global mendorong pemanfaatan energi kinetik langkah kaki manusia melalui teknologi *piezoelectric*, namun keluaran dayanya yang kecil dan fluktuatif menjadi tantangan utama yang belum terpecahkan secara prediktif. Penelitian ini membangun model prediktif *Power Output* sistem *Smart Floor Piezoelectric* dengan membandingkan algoritma *Random Forest Regression* (RFR) dan *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) menggunakan tiga variabel input: berat badan (*Weight*), frekuensi langkah (*Rate of Motion*), dan konfigurasi rangkaian seri-paralel (*Circuit Configuration*). Sistem dibangun dari 12 blok modular dengan akuisisi data otomatis berbasis ADC 16-bit ADS1115 dan ESP32-S3 yang terintegrasi dengan IoT, menghasilkan dataset dari 12 responden (480 sesi pengujian). Penelitian menguji dua pendekatan dataset: per-baris (13.250 sampel) yang menghasilkan  $R^2$  rendah akibat variansi internal tinggi (RFR: 0,0294; XGBoost: 0,0677), dan per-sesi menggunakan agregasi nilai puncak daya  $P_{max}$  (480 sampel) yang menghasilkan performa cukup presisi (RFR:  $R^2=0,8114$ ; XGBoost:  $R^2=0,8297$ , MAE=12,14 $\mu$ W, RMSE=16,19 $\mu$ W). Model terbaik XGBoost per-sesi mengidentifikasi konfigurasi rangkaian sebagai fitur paling dominan (43,44%), diikuti frekuensi langkah (33,47%) dan berat badan (23,09%). Analisis prediktif menunjukkan pola optimal yang bersifat *hybrid*: konfigurasi Seri unggul 36,93% pada aktivitas berjalan, sedangkan konfigurasi Paralel unggul 7,65% pada aktivitas berlari. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan konfigurasi optimal harus mempertimbangkan pola aktivitas pejalan kaki secara dinamis.

**Kata kunci:** *Piezoelectric Energy Harvesting, Smart Floor, Random Forest Regression, XGBoost, Machine Learning, Analisis Prediktif.*

## **ABSTRACT**

### ***PREDICTIVE ANALYSIS OF SERIES–PARALLEL CONFIGURATIONS IN PIEZOELECTRIC SMART FLOORS USING A MACHINE LEARNING APPROACH***

*(2026 : xviii + 118 Pages + 62 Figures + 52 Tables + Reference + Attachments)*

---

---

**FAIRUZ ATHALLAH**

**062240342205**

***BACHELOR OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING***

***ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT***

***STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA***

*The global demand for clean energy has intensified interest in harvesting kinetic energy from human footsteps using piezoelectric technology; however, the small and highly fluctuating power output remains a critical challenge without a reliable predictive solution. This study develops predictive models for the Power Output of a Piezoelectric Smart Floor system by comparing Random Forest Regression (RFR) and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithms using three input variables: body weight, step frequency (Rate of Motion), and series-parallel circuit configuration. The system comprises 12 modular piezoelectric blocks with automatic data acquisition via a 16-bit ADS1115 ADC and ESP32-S3 microcontroller integrated with an IoT platform, yielding a dataset from 12 subjects across 480 test sessions. Two modeling scenarios were evaluated: per-row (13,250 samples), which produced low accuracy due to high internal variance (RFR:  $R^2=0.0294$ ; XGBoost:  $R^2=0.0677$ ), and per-session using peak power aggregation ( $P_{max}$ , 480 samples), which achieved fairly precise performance (RFR:  $R^2=0.8114$ ; XGBoost:  $R^2=0.8297$ ,  $MAE=12.14 \mu W$ ,  $RMSE=16.19 \mu W$ ). The best-performing model, XGBoost per-session, identified circuit configuration as the dominant feature (43.44%), followed by step frequency (33.47%) and body weight (23.09%). Predictive analysis revealed a hybrid optimal pattern: the Series configuration outperforms Parallel by 36.93% during walking, while the Parallel configuration outperforms Series by 7.65% during running — demonstrating that dynamic activity-aware circuit selection is essential for maximizing energy harvesting efficiency.*

**Keywords:** *Piezoelectric Energy Harvesting, Smart Floor, Random Forest Regression, XGBoost, Machine Learning, Predictive Analysis*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridho-Nya, serta sholawat dan salam kita haturkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang yang kita rasakan saat ini. Syukur Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PREDIKTIF KONFIGURASI SERI-PARALEL *SMART FLOOR PIEZOELECTRIC* MENGGUNAKAN PENDEKATAN *MACHINE LEARNING*”**.

Terima kasih kepada Ibu Dr. Ir. Yurni Oktarina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Ir. Pola Risma, M.T selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberi arahan selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Di dalam pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir dan penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa kesempatan, bimbingan dan petunjuk-petunjuk yang diperlukan dalam usaha penyelesaian laporan penelitian ini. Sehubungan dengan itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan teima kasih sebesar-besarnya kepada:

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. Kom. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Polteknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro.
5. Ayah, bunda dan adik saya yang telah memberikan dukungan yang besar dan kepercayaan sepenuhnya untuk melaksanakan Tugas Akhir ini.
6. Saudari Lilyani Aulia yang telah menemani, memberikan dukungan, serta menjadi tempat berkeluh-kesah selama proses perkuliahan hingga penulis berhasil untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.

7. M. Dwi Permana dan M. Billy Akbar selaku rekan Tugas Akhir yang telah membantu, memberikan semangat, serta masukan selama membuat laporan.
8. Ahmad Sayyidul Anugrah, Baruna Putra Pratama, Agustrian Rahmatullah, M. Ali Ramadhan, M. Vivaldi Vikzi Kohar, Romi Afriansyah, selaku rekan yang selalu meluangkan waktu untuk beristirahat sejenak, bertukar pikiran, berbagi masalah, mencari udara segar dan membagikan canda sejenak.
9. Seluruh mahasiswa kelas 8ELB yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan laporan ini.
10. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga laporan akhir Penelitian ini dapat terselesaikan. Tiada lain harapan penulis semoga Allah SWT membalas segala kebaikan, keikhlasan, serta keridhoan kepada mereka semua.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca, yang tentunya akan mendorong penulis untuk berkarya lebih baik lagi pada kesempatan yang akan datang. Semoga tulisan dalam laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang, 20 Juli 2026

Fairuz Athallah  
NPM. 062240342205

## DAFTAR ISI

|                                                                                  |             |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LAPORAN TUGAS AKHIR.....</b>                                                  | <b>i</b>    |
| <b>SURAT PENYATAAN ORISINALITAS.....</b>                                         | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>                                                   | <b>iv</b>   |
| <b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>                                                | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                             | <b>vi</b>   |
| <b><i>ABSTRACT</i> .....</b>                                                     | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                       | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                           | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                        | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                        | <b>xvii</b> |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                                                   | <b>1</b>    |
| 1.1    Latar Belakang .....                                                      | 1           |
| 1.2    Rumusan Masalah .....                                                     | 2           |
| 1.3    Batasan Masalah.....                                                      | 2           |
| 1.4    Tujuan .....                                                              | 3           |
| 1.5    Manfaat .....                                                             | 4           |
| 1.6    Metode Penulisan .....                                                    | 4           |
| 1.6.1    Metode Studi Literatur .....                                            | 4           |
| 1.6.2    Metode Observasi.....                                                   | 4           |
| 1.6.3    Metode Konsultasi .....                                                 | 5           |
| 1.7    Sistematika Penulisan .....                                               | 5           |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                               | <b>7</b>    |
| 2.1 <i>State of the Art</i> .....                                                | 7           |
| 2.2    Teknologi <i>Energy Harvesting Piezoelectric</i> .....                    | 11          |
| 2.2.1    Konsep Dasar <i>Micro Energy Harvesting</i> .....                       | 11          |
| 2.2.2    Prinsip Efek <i>Piezoelectric</i> .....                                 | 12          |
| 2.2.3    Karakteristik Material PZT .....                                        | 14          |
| 2.2.4    Aplikasi Pemanen Energi Pijak ( <i>Footstep Energy Harvesting</i> ).... | 15          |
| 2.3    Karakteristik Impedansi dan Konfigurasi Rangkaian .....                   | 16          |
| 2.3.1    Impedansi Internal Sumber <i>Piezoelectric</i> .....                    | 17          |

|                                          |                                                                      |           |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.2                                    | Analisis Rangkaian Seri .....                                        | 18        |
| 2.3.3                                    | Analisis Rangkaian Paralel .....                                     | 19        |
| 2.4                                      | Sistem Penyearahan Arus ( <i>Rectification</i> ) .....               | 21        |
| 2.4.1                                    | Prinsip Kerja <i>Full-Wave Bridge Rectifier</i> .....                | 21        |
| 2.4.2                                    | Karakteristik Dioda Schottky .....                                   | 22        |
| 2.5                                      | Biomekanika Langkah Kaki dan Beban Mekanik .....                     | 23        |
| 2.5.1                                    | Pengaruh Massa Tubuh terhadap Gaya Tekan .....                       | 24        |
| 2.5.2                                    | Kecepatan Langkah ( <i>Rate of Motion</i> ) .....                    | 25        |
| 2.6                                      | Algoritma <i>Random Forest Regression</i> (RFR) .....                | 26        |
| 2.6.1                                    | Konsep Regresi pada <i>Supervised Learning</i> .....                 | 27        |
| 2.6.2                                    | Arsitektur <i>Decision Tree</i> .....                                | 28        |
| 2.6.3                                    | Mekanisme <i>Ensemble Learning</i> dan <i>Bagging</i> .....          | 29        |
| 2.6.4                                    | Penanganan Data Non-Linear .....                                     | 30        |
| 2.7                                      | Algoritma XGBoost ( <i>Extreme Gradient Boosting</i> ) .....         | 31        |
| 2.7.1                                    | Mekanisme <i>Gradient Boosting</i> .....                             | 33        |
| 2.7.2                                    | Arsitektur CART ( <i>Classification and Regression Trees</i> ) ..... | 34        |
| 2.7.3                                    | Regularisasi dan Pengendalian <i>Overfitting</i> .....               | 35        |
| 2.7.4                                    | Penanganan Data Non-Linear pada XGBoost .....                        | 37        |
| 2.8                                      | <i>Hyperparameter Tuning</i> dan <i>Cross-Validation</i> .....       | 37        |
| 2.8.1                                    | Konsep Hyperparameter pada Model <i>Machine Learning</i> .....       | 38        |
| 2.8.2                                    | GridSearchCV .....                                                   | 39        |
| 2.8.3                                    | <i>K-Fold Cross-Validation</i> .....                                 | 40        |
| 2.9                                      | <i>Feature Importance</i> .....                                      | 41        |
| 2.9.1                                    | <i>Feature Importance</i> pada <i>Random Forest Regression</i> ..... | 42        |
| 2.9.2                                    | <i>Feature Importance</i> pada XGBoost .....                         | 43        |
| 2.10                                     | Evaluasi Performa Model Prediksi .....                               | 44        |
| 2.10.1                                   | Metrik Akurasi Regresi .....                                         | 45        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b> |                                                                      | <b>47</b> |
| 3.1                                      | Perancangan Sistem Penelitian .....                                  | 47        |
| 3.2                                      | Studi Literatur .....                                                | 48        |
| 3.3                                      | Perancangan Desain Sistem .....                                      | 48        |
| 3.3.1                                    | Desain Mekanik .....                                                 | 49        |

|                                         |                                                              |           |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.2                                   | Desain Elektronik.....                                       | 51        |
| 3.3.3                                   | Desain <i>Machine Learning</i> (ML) .....                    | 52        |
| 3.3.4                                   | Desain <i>Internet of Things</i> (IoT).....                  | 57        |
| 3.4                                     | Realisasi <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....             | 59        |
| 3.5                                     | <i>Data Collection</i> .....                                 | 61        |
| 3.6                                     | <i>Preprocessing Data</i> .....                              | 64        |
| 3.6.1                                   | Deteksi dan Penghapusan <i>Outlier</i> (IQR) .....           | 64        |
| 3.6.2                                   | Label Encoding .....                                         | 65        |
| 3.6.3                                   | Normalisasi Fitur ( <i>Min-Max Scaler</i> ).....             | 66        |
| 3.6.4                                   | Pembagian Dataset ( <i>Train-Test Split</i> ).....           | 67        |
| 3.7                                     | Pemodelan <i>Machine Learning</i> .....                      | 68        |
| 3.7.1                                   | Pemodelan <i>Random Forest Regression</i> .....              | 70        |
| 3.7.2                                   | Pemodelan <i>Extreme Gradient Boosting</i> .....             | 72        |
| 3.8                                     | Analisis Hasil & Evaluasi Model.....                         | 75        |
| 3.8.1                                   | Metrik Evaluasi .....                                        | 75        |
| 3.8.2                                   | Komparasi Performa Model.....                                | 76        |
| 3.8.3                                   | Analisis <i>Feature Importance</i> .....                     | 76        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |                                                              | <b>77</b> |
| 4.1                                     | Realisasi <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....             | 77        |
| 4.2                                     | <i>Experimental Testbed</i> Penelitian Pendahuluan .....     | 79        |
| 4.2.1                                   | Konfigurasi Sistem Penelitian Pendahuluan .....              | 79        |
| 4.2.2                                   | Hasil Penelitian Pendahuluan.....                            | 80        |
| 4.3                                     | Karakteristik <i>Output Smart Floor Piezoelectric</i> .....  | 82        |
| 4.3.1                                   | Pengambilan Data Penelitian .....                            | 82        |
| 4.3.2                                   | Karakteristik Dataset Mentah (19.739 Baris).....             | 84        |
| 4.3.3                                   | Karakteristik Dataset Per-Row (13.250 Baris).....            | 87        |
| 4.3.4                                   | Karakteristik Dataset Per-Session (480 Sampel) .....         | 89        |
| 4.3.5                                   | Perbandingan Karakteristik Tiga Tahapan Dataset.....         | 92        |
| 4.4                                     | Pemodelan Skenario 1: Pendekatan Per-Row (13.250 Baris)..... | 93        |
| 4.4.1                                   | Konfigurasi Dataset Skenario 1 .....                         | 94        |
| 4.4.2                                   | Hasil <i>Random Forest Regression</i> .....                  | 94        |
| 4.4.3                                   | Hasil <i>XGBoost Regressor</i> .....                         | 97        |

|                                         |                                                                |             |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| 4.4.4                                   | Analisis Performa Skenario 1 .....                             | 99          |
| 4.5                                     | Pemodelan Skenario 2: Pendekatan Per-Session (480 Sampel)..... | 101         |
| 4.5.1                                   | Justifikasi Agregasi Per-Session .....                         | 101         |
| 4.5.2                                   | Konfigurasi Dataset Skenario 2 .....                           | 102         |
| 4.5.3                                   | Hasil <i>Random Forest Regression</i> .....                    | 102         |
| 4.5.4                                   | Hasil <i>XGBoost Regressor</i> .....                           | 105         |
| 4.5.5                                   | Analisis Performa Skenario 2.....                              | 107         |
| 4.6                                     | Komparasi Hasil Dan Pembahasan .....                           | 109         |
| 4.6.1                                   | Komparasi Skenario 1 vs Skenario 2 .....                       | 109         |
| 4.6.2                                   | Komparasi RFR vs XGBoost.....                                  | 110         |
| 4.6.3                                   | Analisis <i>Feature Importance</i> .....                       | 111         |
| 4.6.4                                   | Analisis Prediktif Konfigurasi Optimal Seri vs Paralel .....   | 113         |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> |                                                                | <b>117</b>  |
| 5.1                                     | Kesimpulan .....                                               | 117         |
| 5.2                                     | Saran.....                                                     | 118         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>             |                                                                | <b>xix</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>            |                                                                | <b>xxiv</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Perubahan struktur kristal <i>Piezoelectric</i> [16].                       | 12 |
| <b>Gambar 2. 2</b> Prinsip kerja <i>piezoelectric disc</i> [15].                               | 13 |
| <b>Gambar 2. 3</b> Struktur Unit Sel Perovskite Pada Material PZT [18].                        | 14 |
| <b>Gambar 2. 4</b> Struktur mekanik Ilustrasi ubin <i>Piezoelectric</i> [21].                  | 16 |
| <b>Gambar 2. 5</b> Rangkaian Seri Dengan KVL[22].                                              | 18 |
| <b>Gambar 2. 6</b> Rangkaian Pararel Dengan KCL [22].                                          | 20 |
| <b>Gambar 2. 7</b> Model Elemen <i>Piezoelectric</i> Dengan Penyearah AC to DC [23].           | 21 |
| <b>Gambar 2. 8</b> Rangkaian Penyearah Jembatan Standar [19].                                  | 22 |
| <b>Gambar 2. 9</b> Dioda Schottky ( <i>Symbol &amp; Circuit Schottky Diode</i> ) [25].         | 23 |
| <b>Gambar 2. 10</b> Komponen gaya dari GRF selama siklus berjalan normal [26].                 | 24 |
| <b>Gambar 2. 11</b> Arsitektur <i>Random Forest Regression</i> [31].                           | 27 |
| <b>Gambar 2. 12</b> Mekanisme Prediksi Nilai Kontinu Pada Model Regresi [31].                  | 28 |
| <b>Gambar 2. 13</b> <i>Decision Tree for Regression</i> [31].                                  | 29 |
| <b>Gambar 2. 14</b> Bagging Training Set Sampling and Training [31].                           | 30 |
| <b>Gambar 2. 15</b> Prediksi model regresi pohon pada dataset non-linear[31].                  | 31 |
| <b>Gambar 2. 16</b> Arsitektur Sekuensial XGBoost [32].                                        | 32 |
| <b>Gambar 2. 17</b> <i>Structure Score Calculation</i> [32].                                   | 34 |
| <b>Gambar 2. 18</b> Pengaruh <i>Learning Rate</i> pada Performa <i>Gradient Boosting</i> [31]. | 36 |
| <b>Gambar 2. 19</b> <i>Mekanisme K-Fold Cross-Validation</i> [29].                             | 40 |
| <b>Gambar 2. 20</b> <i>Variable Importance Plot</i> pada <i>Random Forest</i> [29].            | 42 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Perancangan Sistem Penelitian.                                 | 47 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Blok Diagram Sistem <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .                      | 49 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Desain 3D Tahapan <i>Assembly</i> Blok <i>Piezoelectric</i> .               | 50 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Skematik Rangkaian Konfigurasi Paralel.                                     | 51 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Skematik Rangkaian Konfigurasi Seri.                                        | 51 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Arsitektur <i>Random Forest Regression</i> .                                | 53 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Arsitektur XGBoost.                                                         | 54 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Diagram Alir Pipeline <i>Random Forest Regression</i> .                     | 55 |
| <b>Gambar 3. 9</b> Diagram Alir Pipeline XGBoost.                                              | 56 |
| <b>Gambar 3. 10</b> Rancangan <i>IoT Smart Floor</i> Piezoelektrik.                            | 57 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 3. 11</b> Realisasi Blok <i>Piezoelectric</i> .....                                  | 60  |
| <b>Gambar 3. 12</b> Realisasi Dua <i>Line Smart Floor</i> : Seri (atas) dan Paralel (bawah) 60 |     |
| <b>Gambar 3. 13</b> Realisasi Rangkaian Akuisisi Data di dalam Box PVC.....                    | 61  |
| <b>Gambar 3. 14</b> Setup Keseluruhan Sistem .....                                             | 62  |
| <b>Gambar 3. 15</b> Diagram Alir Pemodelan <i>Machine Learning</i> .....                       | 69  |
| <b>Gambar 4. 1</b> Realisasi Sistem <i>Smart Floor Piezoelectric</i> Terintegrasi .....        | 77  |
| <b>Gambar 4. 2</b> Proses Pengambilan Data Subjek pada <i>Smart Floor Piezoelectric</i>        | 83  |
| <b>Gambar 4. 3</b> <i>Dashboard IoT</i> Pemantauan <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....      | 83  |
| <b>Gambar 4. 4</b> Distribusi Tegangan Dataset Mentah dan Ambang Filter 3V .....               | 85  |
| <b>Gambar 4. 5</b> Distribusi <i>Power Output</i> per Kondisi Pengujian (Dataset Mentah) 86    |     |
| <b>Gambar 4. 6</b> Visualisasi Data Awal Dataset Per-Row (13.250 Baris) .....                  | 88  |
| <b>Gambar 4. 7</b> Distribusi <i>Power Output</i> per Kondisi Pengujian (Dataset Per-Row)      |     |
| .....                                                                                          | 89  |
| <b>Gambar 4. 8</b> Visualisasi Data Awal Dataset Per-Session (480 Sampel).....                 | 90  |
| <b>Gambar 4. 9</b> Distribusi <i>Power Output</i> (P_max) per Kondisi Pengujian (Dataset       |     |
| Per-Session) .....                                                                             | 91  |
| <b>Gambar 4. 10</b> Perbandingan Distribusi <i>Power Output</i> Per-Row vs Per-Session         | 92  |
| <b>Gambar 4. 11</b> Perbandingan Mean <i>Power Output</i> per Kondisi Pengujian.....           | 93  |
| <b>Gambar 4. 12</b> <i>Learning Curve Random Forest Regression</i> Skenario 1 .....            | 95  |
| <b>Gambar 4. 13</b> Perbandingan <i>Actual vs Predicted Random Forest Regression</i>           |     |
| Skenario 1 .....                                                                               | 96  |
| <b>Gambar 4. 14</b> <i>Feature Importance Random Forest Regression</i> Skenario 1 .....        | 96  |
| <b>Gambar 4. 15</b> <i>Learning Curve XGBoost Regressor</i> Skenario 1 .....                   | 98  |
| <b>Gambar 4. 16</b> Perbandingan <i>Actual vs Predicted XGBoost Regressor</i> Skenario 1       |     |
| .....                                                                                          | 98  |
| <b>Gambar 4. 17</b> <i>Feature Importance XGBoost Regressor</i> Skenario 1 .....               | 99  |
| <b>Gambar 4. 18</b> <i>Learning Curve Random Forest Regression</i> Skenario 2 .....            | 103 |
| <b>Gambar 4. 19</b> Perbandingan <i>Actual vs Predicted Random Forest Regression</i>           |     |
| Skenario 2 .....                                                                               | 104 |
| <b>Gambar 4. 20</b> <i>Feature Importance Random Forest Regression</i> Skenario 2 .....        | 104 |
| <b>Gambar 4. 21</b> <i>Learning Curve XGBoost Regressor</i> Skenario 2 .....                   | 106 |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 4. 22</b> Perbandingan <i>Actual vs Predicted XGBoost Regressor</i> Skenario 2 .....                                         | 106 |
| <b>Gambar 4. 23</b> <i>Feature Importance XGBoost Regressor</i> Skenario 2 .....                                                       | 107 |
| <b>Gambar 4. 24</b> Komparasi $R^2$ Score Skenario 1 vs Skenario 2 .....                                                               | 109 |
| <b>Gambar 4. 25</b> Komparasi MAE dan RMSE 4 Model.....                                                                                | 110 |
| <b>Gambar 4. 26</b> Komparasi <i>Feature Importance</i> 4 Model .....                                                                  | 112 |
| <b>Gambar 4. 27</b> Komparasi Prediksi <i>Power Output</i> Konfigurasi Seri vs Paralel pada Aktivitas <i>Walk</i> dan <i>Run</i> ..... | 115 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> <i>State of The Art</i> .....                                              | 7  |
| <b>Tabel 2. 2</b> Interpretasi Nilai Koefisien Determinasi $R^2$ .....                       | 45 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Pseudocode Sistem IoT ESP32-S3 .....                                       | 58 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Variabel Dataset Penelitian .....                                          | 64 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Jumlah Dataset .....                                                       | 64 |
| <b>Tabel 3. 4</b> Skema Label Encoding <i>Circuit Configuration</i> .....                    | 65 |
| <b>Tabel 3. 5</b> Penerapan <i>Min-Max Scaler</i> pada <i>Weight</i> .....                   | 66 |
| <b>Tabel 3. 6</b> Pembagian Dataset .....                                                    | 67 |
| <b>Tabel 3. 7</b> Tahapan <i>Preprocessing Data</i> .....                                    | 68 |
| <b>Tabel 3. 8</b> <i>Hyperparameter Grid Random Forest Regression</i> .....                  | 71 |
| <b>Tabel 3. 9</b> Pseudocode Pemodelan <i>Random Forest Regression</i> .....                 | 71 |
| <b>Tabel 3. 10</b> <i>Hyperparameter Grid XGBoost</i> .....                                  | 73 |
| <b>Tabel 3. 11</b> Pseudocode Pemodelan XGBoost .....                                        | 74 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Spesifikasi Komponen Realisasi <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....      | 78 |
| <b>Tabel 4. 2</b> Konfigurasi Sistem Penelitian Pendahuluan .....                            | 80 |
| <b>Tabel 4. 3</b> Karakteristik Elektrik Seri dan Paralel pada Penelitian Pendahuluan.       | 80 |
| <b>Tabel 4. 4</b> Metrik Evaluasi Performa Model RFR pada Penelitian Pendahuluan             | 80 |
| <b>Tabel 4. 5</b> <i>Feature Importance</i> Model RFR pada Penelitian Pendahuluan.....       | 81 |
| <b>Tabel 4. 6</b> Profil Responden Pengujian <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....          | 84 |
| <b>Tabel 4. 7</b> Contoh Dataset Mentah <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....               | 84 |
| <b>Tabel 4. 8</b> Statistik Dataset Mentah (19.739 Baris).....                               | 85 |
| <b>Tabel 4. 9</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Mentah per Konfigurasi .....     | 86 |
| <b>Tabel 4. 10</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Mentah per Kombinasi.....       | 86 |
| <b>Tabel 4. 11</b> Contoh Dataset Per-Row <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....             | 87 |
| <b>Tabel 4. 12</b> Statistik Deskriptif Dataset Per-Row (13.250 Baris) .....                 | 87 |
| <b>Tabel 4. 13</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Per-Row per Konfigurasi .....   | 88 |
| <b>Tabel 4. 14</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Per-Row per Kombinasi.....      | 88 |
| <b>Tabel 4. 15</b> Contoh Dataset Per-Session <i>Smart Floor Piezoelectric</i> .....         | 89 |
| <b>Tabel 4. 16</b> Statistik Dataset Per-Session (480 Sampel) .....                          | 90 |
| <b>Tabel 4. 17</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Per-Session per Konfigurasi ... | 91 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabel 4. 18</b> Karakteristik <i>Power Output</i> Dataset Per-Session per Kombinasi.....              | 91  |
| <b>Tabel 4. 19</b> Perbandingan Karakteristik Dataset Mentah, Per-Row, dan Per-Session .....             | 92  |
| <b>Tabel 4. 20</b> Konfigurasi <i>Preprocessing</i> Dataset Skenario 1.....                              | 94  |
| <b>Tabel 4. 21</b> <i>Hyperparameter</i> Optimal <i>Random Forest Regression</i> Skenario 1 ...          | 95  |
| <b>Tabel 4. 22</b> Metrik Evaluasi <i>Random Forest Regression</i> Skenario 1.....                       | 95  |
| <b>Tabel 4. 23</b> <i>Feature Importance</i> <i>Random Forest Regression</i> Skenario 1 .....            | 96  |
| <b>Tabel 4. 24</b> <i>Hyperparameter</i> Optimal <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 1 .....               | 97  |
| <b>Tabel 4. 25</b> Metrik Evaluasi <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 1 .....                             | 97  |
| <b>Tabel 4. 26</b> <i>Feature Importance</i> <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 1 .....                   | 99  |
| <b>Tabel 4. 27</b> Ringkasan Performa Model Skenario 1.....                                              | 100 |
| <b>Tabel 4. 28</b> Konfigurasi <i>Preprocessing</i> Dataset Skenario 2.....                              | 102 |
| <b>Tabel 4. 29</b> <i>Hyperparameter</i> Optimal <i>Random Forest Regression</i> Skenario 2 .            | 103 |
| <b>Tabel 4. 30</b> Metrik Evaluasi <i>Random Forest Regression</i> Skenario 2.....                       | 103 |
| <b>Tabel 4. 31</b> <i>Feature Importance</i> <i>Random Forest Regression</i> Skenario 2 .....            | 104 |
| <b>Tabel 4. 32</b> <i>Hyperparameter</i> Optimal <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 2 .....               | 105 |
| <b>Tabel 4. 33</b> Metrik Evaluasi <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 2.....                              | 105 |
| <b>Tabel 4. 34</b> <i>Feature Importance</i> <i>XGBoost Regressor</i> Skenario 2 .....                   | 107 |
| <b>Tabel 4. 35</b> Ringkasan Performa Model Skenario 2.....                                              | 108 |
| <b>Tabel 4. 36</b> Komparasi Performa Model Skenario 1 vs Skenario 2 .....                               | 109 |
| <b>Tabel 4. 37</b> Komparasi Error Metrics RFR vs XGBoost.....                                           | 110 |
| <b>Tabel 4. 38</b> Komparasi <i>Feature Importance</i> 4 Model.....                                      | 111 |
| <b>Tabel 4. 39</b> Hasil Prediksi <i>Power Output</i> 20 Skenario Konfigurasi (XGBoost Skenario 2) ..... | 114 |