

TUGAS AKHIR

**KLASTERISASI EFISIENSI *SOLAR CELL* TIPE POLIKRISTALIN
MENGUNAKAN ALGORITMA K-MEANS**



OLEH :

**INDRAYANTO
221214037**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TORAJA
2025**

TUGAS AKHIR

**KLASTERISASI EFISIENSI *SOLAR CELL* TIPE POLIKRISTALIN
MENGUNAKAN ALGORITMA K-MEANS**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada
Program studi Teknik Elektro*



OLEH :

**INDRAYANTO
221214037**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TORAJA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Judul : KLASTERISASI EFISIENSI *SOLAR CELL* TIPE
POLIKRISTALIN MENGGUNAKAN ALGORITMA
K-MEANS
Nama : INDRAYANTO
Nim : 221214 037
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Lantana D. Rumpa, S.Kom., M.T.
NIDN. 0922108401

Pembimbing II



Dr. Ir. Martina Pineng, S.T., M.T.
NIDN. 0901078502

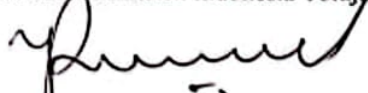
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Kristen Indonesia Toraja



Dr. Ir. Nidha, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.
NIDN. 0902117802

Ketua Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Kristen Indonesia Toraja



Ir. Yusti A. M Ambabunga, S.T., M.T.
NIDN. 0905097602

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja. telah diseminarkan pada hari Senin 25 Agustus 2025.

Nama : INDRAYANTO

NIM : 221214037

Judul : KLASTERISASI EFISIENSI *SOLAR CELL* TIPE

POLIKRISTALIN MENGGUNAKAN ALGORITMA *K-MEANS*

Dengan susunan dosen pembimbing dan penguji seminar sebagai berikut:

Dosen Pembimbing:

1. Lantana Dioren Rumpa, S.Kom., M.T (.....)

2. Dr. Ir. Martina Pineng, S.T., M.T (.....)

Dosen Penguji:

1. Ir. Yusri A.M Ambabunga, S.T., M.T (.....)

2. Ir. Nofrianto Pasae, S.T., M.T (.....)

3. Bergita Gela M. Saka, S.Si., M.Sc (.....)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini tidak terdapat karya yang telah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali diterbitkan secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Rantepao, 30 mei 2025


Indrayanto

ABSTRAK

Permasalahan utama dalam analisis efisiensi panel surya tipe polikristalin adalah keterbatasan metode konvensional dalam menangani data yang kompleks dan berukuran besar. Untuk menjawab tantangan ini, penelitian ini mengembangkan pendekatan analisis data berbasis machine learning dengan menerapkan algoritma K-Means sebagai metode unsupervised learning. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi pola-pola operasional yang memengaruhi efisiensi sistem panel surya, dengan mempertimbangkan parameter seperti tegangan, arus, daya, dan efisiensi keluaran. Data yang digunakan berasal dari platform Kaggle dan diproses melalui beberapa tahapan, yaitu konversi format, imputasi nilai hilang, penghapusan fitur tidak relevan, serta normalisasi menggunakan StandardScaler. Proses klasterisasi dilakukan menggunakan pustaka scikit-learn dengan bahasa Python. Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan menggunakan metode Elbow dan Silhouette Score, yang menghasilkan enam klaster ($k = 6$). Visualisasi hasil klasterisasi dilakukan menggunakan teknik reduksi dimensi Principal Component Analysis (PCA). Hasil menunjukkan bahwa K-Means efektif dalam mengelompokkan data berdasarkan performa, termasuk mengidentifikasi data anomali. Pendekatan ini terbukti berguna dalam mendukung pemantauan dan pengambilan keputusan berbasis data pada sistem energi terbarukan.

Kata Kunci: Efisiensi panel surya, K-Means, clustering, pra-pemrosesan data, PCA.

ABSTRACT

he main challenge in analyzing the efficiency of polycrystalline solar panels lies in the limitations of conventional methods to handle large-scale and complex data. To address this issue, this study develops a data analysis approach based on machine learning by implementing the K-Means algorithm as an unsupervised learning method. The primary objective is to identify operational patterns that affect solar panel efficiency, using parameters such as voltage, current, power, and output efficiency. The dataset, sourced from the Kaggle platform, underwent several preprocessing steps, including format conversion, missing value imputation, irrelevant feature removal, and normalization using StandardScaler. Clustering was conducted using the Python programming language and the scikit-learn library. The optimal number of clusters was determined using the Elbow Method and Silhouette Score, which recommended six clusters ($k = 6$). Dimensionality reduction and visualization were carried out using Principal Component Analysis (PCA). The results show that K-Means effectively grouped data based on performance, including identifying anomalous patterns. This approach proves valuable in supporting data-driven monitoring and decision-making in renewable energy systems.

Keywords: *Solar panel efficiency, K-Means, clustering, data preprocessing, PCA.*

KATA PENGANTAR

puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan dan tuntunan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Klasterisasi Efisiensi *Solar Cell* Tipe Polikristalin Menggunakan Algoritma *K-Means*”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada program studi strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak menerima bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan sepuh hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewah kepada kedua orang tua tercinta, Andarias Rou dan mendiang Hermin Lobo’ yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Kesabarannya yang luar biasa menjadi anugrah terbesar dalam hidup penulis dan dalam setiap langkah hidup penulis.
2. Prof. Dr. Oktavianus Pasoloran, SE., M.Si., Ak., CA., selaku Rektor Universitas Kristen Indonesia Toraja.
3. Dr. Ir. Nitha, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja.
4. Ir. Yusri A. M. Ambabunga’, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja dan juga selaku Dosen Penguji skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, pemikiran dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini.

5. Lantana D. Rumpa, S.Kom., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis.
6. Dr. Ir. Martina Pineng, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan yang sangat berarti.
7. Bergita Gela M. Saka S.Si., M.Sc., selaku Dosen Penguji skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, pemikiran dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini.
8. Ir. Nofrianto Pasae, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, pemikiran dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini.
9. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama masa studi.
10. Teristimewah kepada Drs. Nathan Totanan, M.M., mendiang Drs. Eti Titus, Rante Sampetoding S.M., Matius Rante Rapa, Dorce Tandi Payung, mendiang Zainal Arifin Siregar, Siti Fatimah serta segenap rumpun keluarga yang telah banyak memberi semangat, motivasi dan dukungan baik berupa moril maupun materil dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan yang telah memberikan dukungan, semangat, dan motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
12. Saudara dan saudari tercinta Indriyanto, Andrew, Kinaya Aprilla yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi bahwa perjuangan ini bukan hanya untuk diri sendiri, melainkan untuk kita semua sebagai keluarga.

13. Serta semua pihak yang tidak disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini

Namun demikian penulis menyadari bahwa penulisan ini sangatlah sederhana dan penuh dengan keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata penulis berharap semoga apa yang tertuang dalam penulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam pemahaman dan pengembangan ilmu Teknik elektro.

Rantepao, 30 Mei 2025

Indrayanto

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Energi Terbarukan.....	6
2.2 Solar Cell.....	7
2.3 Solar Cell Tipe Polikristalin.....	7
2.4 Efficiency Solar Cell.....	8
2.5 Algoritma K-Means.....	9
2.6 Clustering.....	11

2.7 Metode Elbow.....	12
2.8 Silhouette Score.....	12
2.9 Pyhton.....	13
2.10 Penelitian Terdahulu.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat.....	21
3.1.1 Waktu.....	21
3.1.2 Tempat.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan.....	21
3.3 Variabel Dan Desain Penelitian.....	21
3.3.1 Variable.....	21
3.3.2 Desain Penelitian.....	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Pengumpulan Data.....	23
3.4.2 Pra-pemrosesan Data.....	23
3.4.3 Implementasi Algoritma.....	23
3.4.4 Visualisasi Hasil.....	23
3.4.5 Interpretasi & Analisis.....	23
3.5 Bagan Alir atau <i>Flowchart</i> Penelitian.....	24
3.6 Jadwal Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25

4.1	Deskripsi Umum.....	25
4.2	Konfigurasi Model K-Means.....	25
4.3	Pengumpulan Data.....	26
4.4	Pra-pemrosesan Data.....	28
4.5	Penentuan Jumlah Klaster Optimal.....	29
4.5.1	Metode Elbow.....	30
4.5.2	Silhouette Score.....	31
4.6	Implementasi Algoritma K-Means.....	32
4.6.1	Centroid Cluster.....	32
4.6.2	Distribusi Data per Cluster.....	36
4.7	Visualisasi Hasil.....	37
4.8	Interpretasi dan Analisis.....	38
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42
	DAFTAR PUSTAKA.....	43
	LAMPIRAN.....	46
	RIWAYAT HIDUP.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	13
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	24
Tabel 4.1 Parameter Utama Algoritma K-Means	26
Tabel 4.2 Pengambilan Data.....	27
Tabel 4.3 Hasil Evaluasi Model Cluster	33
Tabel 4.4 Jumlah Data per Cluster.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya.....	7
Gambar 2.2 solar cell tipe polikristalin.....	8
Gambar 2.3 (a) menggambarkan data sebelum di cluster dan (b) sesudah di cluster.....	11
Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	22
Gambar 3.2 flowchart penelitian.....	24
Gambar 4.1 Tahap Pra-pemrosesan Data.....	29
Gambar 4.2 Penentuan Jumlah Klaster Optimal.....	30
Gambar 4.3 Plot Metode Elbow untuk Menentukan Jumlah Cluster Optimal	30
Gambar 4.4 Grafik Plot Metode Elbow untuk Menentukan Jumlah Cluster Optimal.....	30
Gambar 4.5 Plot Silhoutte Score untuk Menentukan Jumlah Cluster Optimal.....	31
Gambar 4.6 Grafik Plot Silhoutte Score untuk Menentukan Jumlah Cluster Optimal.....	31
Gambar 4.7 Hasil Evaluasi Model Cluster.....	33
Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Rata-rata Tiap Parameter Per Cluster.....	35
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Tiap Parameter Per Cluster	35
Gambar 4.10 Jumlah Data per Cluster.....	36
Gambar 4.11 Visualisasi Klastering K-Means (PCA 2D).....	37
Gambar 4.12 Hasil Klastering dalam Ruang 2D.....	37