DETEKSI KEGAGALAN SISTEM PLTS PADA MODE OPERASI DAN DEGRADASI KINERJA MENGGUNAKAN METODE XGBOOST

Oleh
Muhammad Fuad Hassan Siregar
13320027

Dosen Pembimbing
Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.
Dr. Ing. Justin Pradipta S.T., M.T.

Latar Belakang

Teknologi matahari adalah energi baru terbarukan (EBT) yang berkelanjutan karena radiasi matahari tersedia di seluruh dunia dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Di Indonesia, potensi energi surya sekitar 4,8 KWh/m2 atau 112.000 GWp, namun baru dimanfaatkan sekitar 10 MWp. Pemerintah menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga 2025 sebesar 0,87 GW atau sekitar 50 MWp per tahun.

Photovoltaic (PV) atau sel surya mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik dan merupakan komponen utama PLTS. Teknologi PV telah berkembang dengan peningkatan efisiensi, pengurangan biaya, dan daya maksimum. Namun, kelemahan yang dapat menyebabkan kegagalan sistem masih ada, seperti operasi ***islanding*** dan degradasi kinerja yang ditandai dengan penurunan nilai ***performance ratio*** (PR).

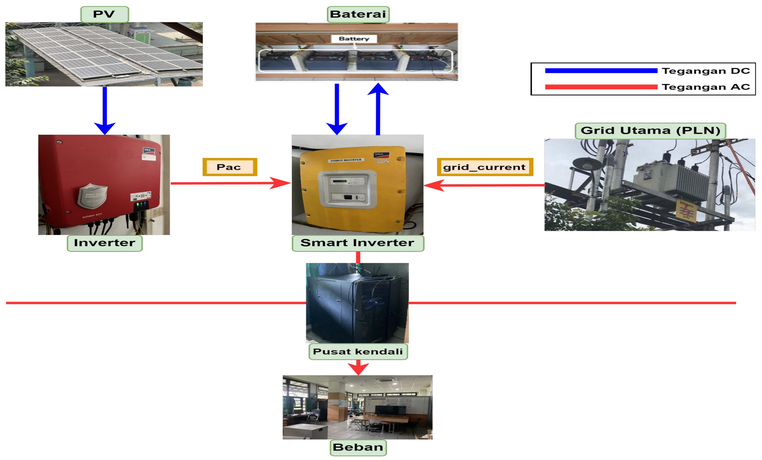
Pemodelan fisis dan **pembelajaran mesin** diperlukan untuk mendeteksi gangguan pada PLTS. Algoritma pembelajaran mesin **XGBoost** digunakan untuk deteksi, klasifikasi, dan regresi, dengan tujuan mengidentifikasi degradasi kinerja sistem PLTS. Penelitian ini fokus pada deteksi kegagalan sistem PLTS *hybrid* di Laboratorium Manajemen Energi (Lab.ME) ITB untuk menghasilkan sistem deteksi yang akurat dan efisien serta mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Tujuan

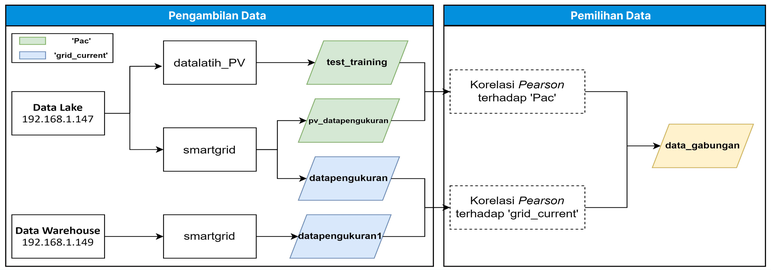
Mengembangkan deteksi kegagalan berdasarkan **mode operasi** dan ***performance ratio*** (PR) pada sistem PLTS dengan menggunakan pemodelan fisis dan pembelajaran mesin XGBoost.

PLTS *hybrid* Lab.ME ITB

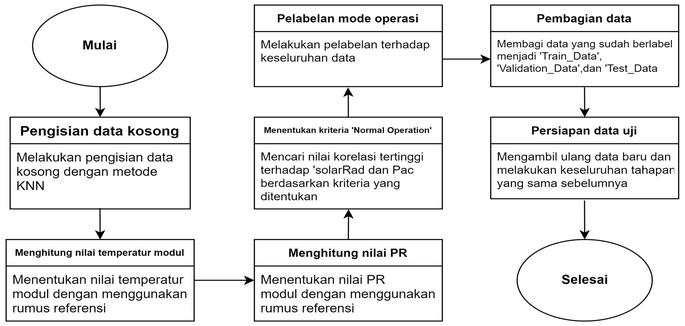
Skema PLTS *hybrid* Lab.ME ITB



Pemahaman Data

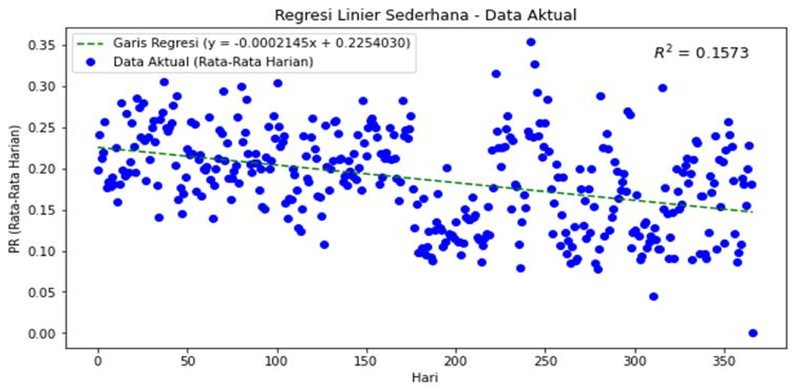


Persiapan Data



Perhitungan PR

Perhitungan PR ditentukan menggunakan rumus referensi. Pada rumus referensi PR, terdapat empat variabel yang dibutuhkan yaitu Energi Harian, Iradiasi, Daya Sistem Nominal, dan Suhu Modul. Energi Harian merupakan jumlah total energi listrik (kWh) dan menggunakan data 'Pac' yang terlebih dahulu dikonversi dari W menjadi kWh. Iradiasi merupakan jumlah energi matahari (kWh/m2) dan menggunakan data 'solarRad' yang terlebih dahulu dikonversi dari W/m2 menjadi kWh/m2. Daya Sistem Nominal merupakan daya sistem PV pada kondisi standar pengujian (kW) dan menggunakan data dari spesifikasi modul PV dan jumlah modul yang terpasang. Nilai suhu modul ditentukan dengan menggunakan rumus referensi. Pada rumus referensi suhu modul, terdapat dua variabel yang dibutuhkan yaitu iradiansi dan suhu lingkungan. Setelah didapatkan nilai dari PR akan dilakukan regresi menggunakan **Linear Regression** untuk melihat karaktersitik tren perubahan rata - rata PR harian.



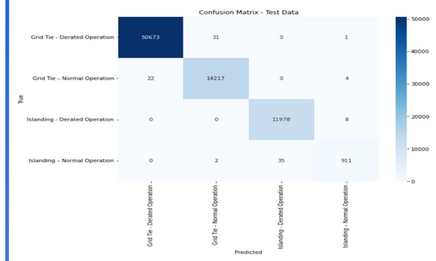
Kriteria Pelabelan

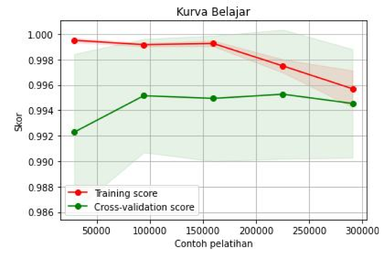
Pada PLTS *hybrid* tentunya ada **standar normal** terkait berjalannnya sistem tersebut, untuk itu dirumuskan beberapa kriteria berdasarkan referensi dan validasi oleh data yang diperoleh pada sistem. Terdapat beberapa kriteria yang ditentukan untuk standar operasi normal yaitu berdasarkan **rentang frekuensi**, **waktu operasi** dan **daya yang dihasilkan**. Pada kriteria mode operasi ditandai dengan arus yang keluar dari grid utama, ketika arus yang keluar kecil artinya mode operasi adalah ***islanding operation***. Berikut merupakan tabel pelabelan data yang sudah dilakukan berdasarkan pembagian kriteria.

No	Label	Kriteria	Jumlah Data
1	Grid Tie - Derated Operation	'grid_current' > 1 dan 'GridMs.Hz' < 49 atau 'GridMs.Hz' > 51	296.321
2	Islanding - Derated Operation	'grid_current' < 1 dan 'GridMs.Hz' < 49 atau 'GridMs.Hz' > 51	151.551
3	Grid Tie – Normal Operation	'grid_current' > 1, Waktu operasi 06.00 – 18.00 WIB, dan 'Pac' & 'Pdc' tidak 0	63.307
4	Islanding – Normal Operation	'grid_current' < 1, Waktu operasi 06.00 – 18.00 WIB, dan 'Pac' & 'Pdc' tidak 0	8.025

XGBoost untuk Klasifikasi

XGBoost digunakan untuk klasifikasi untuk pelabelan data berdasarkan kriteria yang ditentukan. XGBoost optimal yang dipilih untuk klasifikasi dengan dilakukan ***hyperparameter tuning*** metode ***grid search*** dan akan dievaluasi menggunakan data uji. Berikut merupakan matriks kebingungan XGBoost untuk klasifikasi.



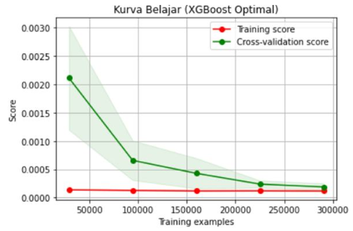


Berdasarkan matriks kebingungan, menunjukkan bahwa model prediksi untuk klasifikasi mode operasi memiliki **kinerja yang sangat baik**, hal ini ditunjukkan oleh jumlah prediksi negatif palsu (FN) dan positif palsu (FP) yang sedikit. Model XGBoost menunjukkan kinerja yang sangat baik pada data pelatihan dan validasi silang berdasarkan kurva pembelajaran.

XGBoost untuk Regresi

XGBoost digunakan untuk regresi untuk melihat tren perubahan tahunan PR berdasarkan frekuensi yang ditentukan. Digunakan tiga metode regresi untuk menentukan penurunan rata-rata harian tiap label yaitu **Linear Regression**, **XGBoost**, dan **XGBoost dengan parameter optimal.** XGBoost parameter optimal yaitu dilakukan pencarian ***hyperparameter*** secara acak ***RandomizedSearchCV.*** Berikut merupakana hasil perbandingannya.

Metode	Data Validasi		Data Uji	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE
Linear Regression	0,142	0,088	0,147	0,094
XGBoost	0,133	0,110	0,156	0,123
XGBoost optimal	0,014	0,007	0,015	0,007



Berdasarkan tabel Nilai RMSE dan MAE untuk XGBoost optimal **sangat kecil dan konsisten** terhadap pengujian data evaluasi dan data uji, hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat **akurasi yang tinggi.** Pada kurva belajar, kurva pelatihan relatif datar dan rendah, yang menunjukkan bahwa model memiliki **kesalahan kecil pada data pelatihan** dan **mampu mempelajari data pelatihan dengan baik**.

Kesimpulan

1. Fitur penting ditentukan melalui klasifikasi mode dan kondisi operasi dengan 3 fitur utama: daya aktif grid, arus grid, dan PR. Nilai PR dievaluasi baik dengan hanya 1,49% data salah saat PR > 1, menunjukkan perhitungan akurat.

2. Klasifikasi kondisi operasi PLTS mempertimbangkan waktu operasi, frekuensi grid, dan daya yang dihasilkan. Klasifikasi mode operasi PLTS mempertimbangkan arus grid, meningkatkan korelasi daya dengan iradiansi matahari dari 0,54 menjadi 0,71.

3. Pembelajaran mesin XGBoost untuk klasifikasi mode operasi sistem PLTS di Lab.ME ITB menunjukkan akurasi tinggi, 99,49% dan 99,87% dengan hyperparameter tuning. Model tervalidasi dengan kurva pembelajaran yang stabil.

4. Pembelajaran mesin XGBoost untuk regresi nilai PR menunjukkan performa baik dengan RMSE dan MAE mendekati 0. Analisis frekuensi menunjukkan frekuensi mingguan paling stabil untuk perubahan PR tahunan. Mode "Grid Tie - Derated Operation" meningkat 1,809%, "Grid Tie – Normal Operation" menurun -7,282%, "Islanding - Derated Operation" menurun -21,205%, dan "Islanding – Normal Operation" menurun -0,5%.