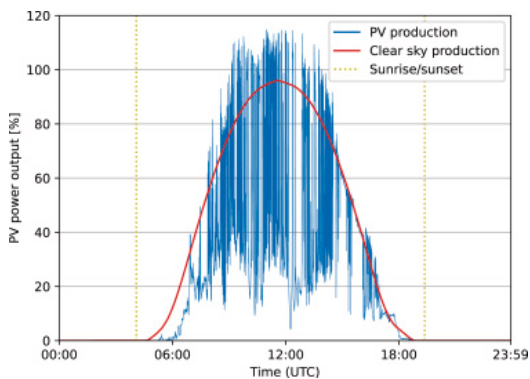


PEMODELAN PRODUKSI PLTS HIBRIDA DENGAN METODE PHYSICS-INFORMED XGBOOST

Oleh: Hanif Manik Kottama 13320084 | Dosen Pembimbing 1: Dr. -Ing. Justin Pradipta, S.T, M.T. | Dosen Pembimbing 2 : Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia berkomitmen mencapai 23% bauran energi baru dan terbarukan (EBT) melalui kebijakan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memiliki potensi hingga 207,8 GW.



Namun, integrasi PLTS ke jaringan listrik menyebabkan fluktuasi daya yang dipengaruhi oleh cuaca, sehingga mengganggu stabilitas dan kualitas daya.

Prediksi daya PLTS yang akurat sangat penting untuk mengatasi fluktuasi ini dan memastikan kualitas daya tetap terjaga.

Di Lab ME ITB, model prediksi daya PLTS dengan algoritma *Deep Neural Network* (DNN) menggunakan *pvlb* sebagai *prior knowledge* telah dikembangkan, namun model ini memiliki waktu pelatihan yang lama dan galat yang tinggi pada waktu tertentu.

Sistem PLTS Hibrida Lab ME ITB memiliki dua mode operasi, *grid-tie* dan *islanded*, yang membutuhkan pendekatan prediksi daya berbeda.

TUJUAN DAN SASARAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah memodelkan produksi PLTS hibrida dengan mempertimbangkan perubahan mode operasi.

Dengan sasaran penambahan fitur beban dan penggunaan metode *Physics-Informed XGBoost*, membandingkan performa model produksi PLTS berbasis *Physics-Informed XGBoost* dengan model DNN yang telah dikembangkan di Lab ME ITB.

BATASAN DAN ASUMSI

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah yaitu:

- Objek penelitian yang digunakan adalah sistem PLTS yang terdapat di Labtek VI.
- Metode pembelajaran mesin yang digunakan adalah XGBoost dengan *physics-informed* berupa data *expand*, *custom loss function* (CLF) dan *feature interaction constraint* (FIC).

- Asumsi:
- Semua komponen PLTS masih bekerja dengan baik.
 - Efisiensi hybrid smart inverter 100%.
 - Alat pengukuran sudah terkalibrasi.
 - Penentuan mode operasi menggunakan arus masukan dari *grid*.
 - Tidak ada *grid-export*.

TINJAUAN PUSTAKA

MODE OPERASI PLTS

GRID-TIE

MG bisa menyuplai (ekspor) atau mengambil daya dari jaringan listrik utama. Integrasi sistem ini dengan sistem penyimpanan baterai (SPE) dinilai dapat membantu operasi sistem karena SPE dapat menjadi sumber energi saat keadaan mode *discharging* dan menjadi beban saat mode *charging*.

ISLANDED

MG menjadi sistem terpisah dari jaringan listrik utama dan menjadi sumber energi pada beban. Saat mode ini, MG menjadi sumber tegangan. Pada mode operasi ini keluaran PLTS dapat digambarkan oleh persamaan di samping.

$$P_{PV} = P_{beban} \pm P_{baterai}$$

P_{PV} : Daya AC PLTS

P_{beban} : Daya ke beban

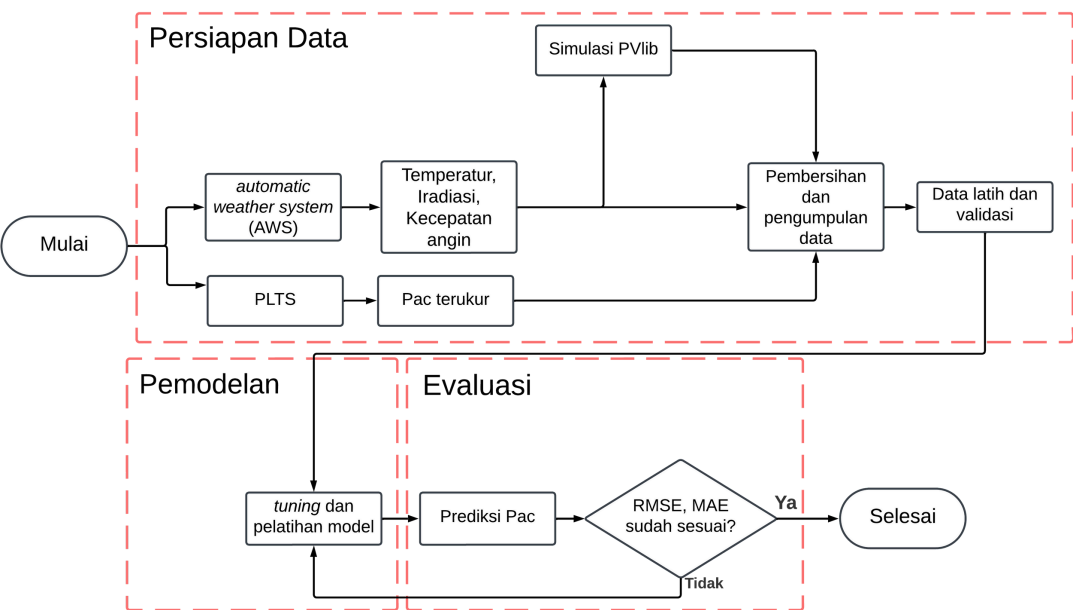
$P_{baterai}$: Daya baterai

EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBOOST)

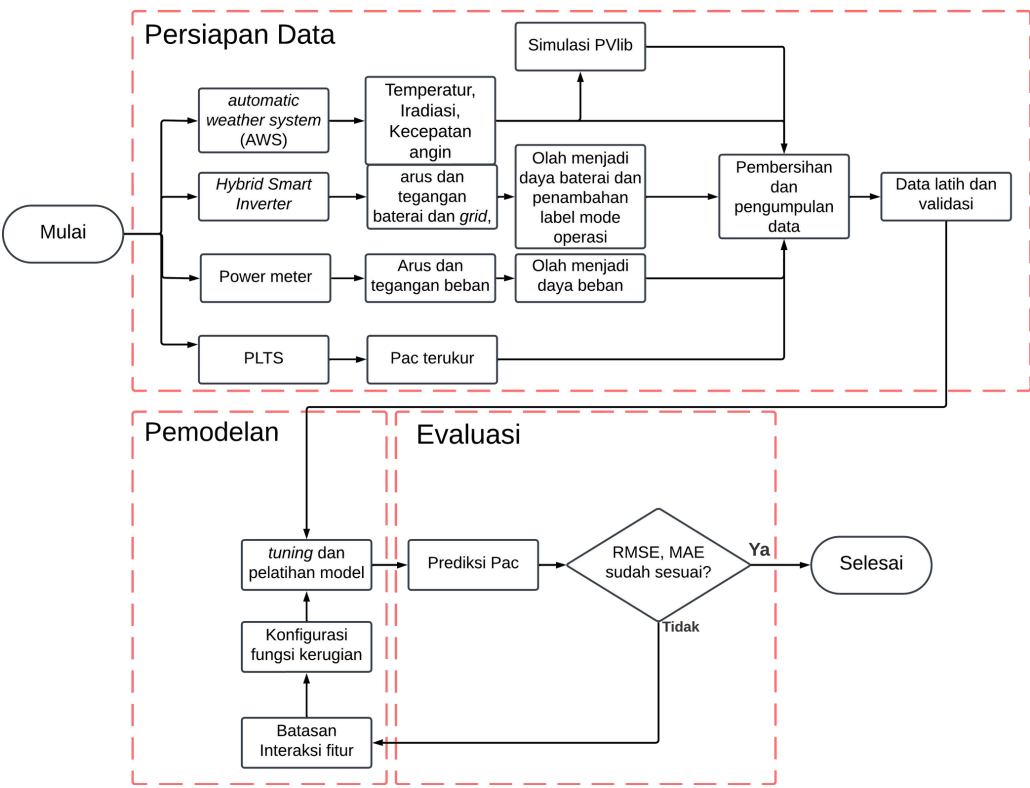
XGBoost pada dasarnya merupakan implementasi dari *Gradient Boosting Machine* (GBM) yang menggunakan struktur pohon pembelajar. GBM membangun pembelajar lemah baru untuk memaksimalkan gradien negatif dari *loss function* keseluruhan ensemble. GBM merupakan algoritma yang berbasis dari metode Boosting.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode CRISP-DM yang terdiri atas tahap pemahaman bisnis, pemahaman data, persiapan data, pemodelan, dan evaluasi. Adapun secara umum alur penelitian yang diimplementasikan menggunakan pendekatan metode CRISP-DM tertampil sesuai pada Gambar 1 dan 2. kemudian akan dibuat model 3 untuk memprediksi 1 hari ke depan menggunakan data latih 1 bulan.



Gambar 1 Alur pemodelan model 1



Gambar 2 Alur pemodelan model 2

HASIL DAN ANALISIS

PENGUJIAN MODEL PHYSICS-INFORMED XGBOOST

RMSE dan MAE pada kedua mode operasi menurun. Prediksi negatif pada mode operasi *grid-tie* dapat menurun sedangkan prediksi lebih dari nol saat "solarRad" bernilai nol meningkat. Pada prediksi saat mode operasi *islanded*, prediksi negatif meningkat dan prediksi lebih dari nol saat "solarRad" bernilai nol menurun. Peningkatan prediksi negatif terjadi karena penalti pada prediksi lebih dari nol saat "solarRad" bernilai nol membuat hasil prediksi menjadi negatif. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model 2 memenuhi target.

Tabel 1 Target nilai evaluasi

Metrik	Target (Watt)
RMSE (W)	173
MAE (W)	78

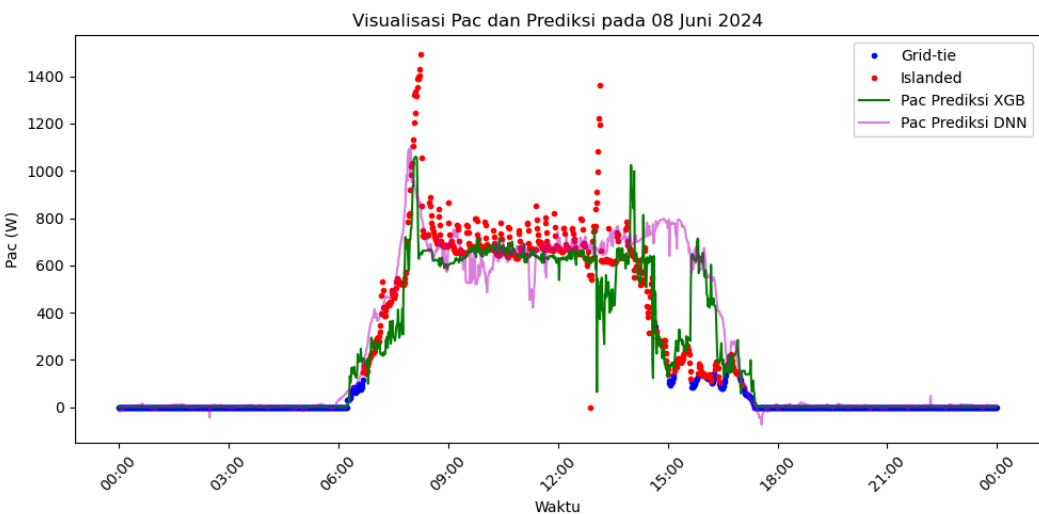
Tabel 2 Perbandingan Hasil evaluasi mode operasi antar model

Parameter	Grid-tie		Islanded	
	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
RMSE (W)	103,33	64,13	346,02	153,26
	61,13%	-37,94%	125,77%	-55,71%
MAE (W)	26,27	15,29	180,37	75,29
	71,81%	-41,80%	139,57%	-58,26%
Prediksi Negatif	23.519	662	1.667	2.929
	3452,72%	-97,19%	-43,09%	75,70%
Prediksi > 0 saat solarRad = 0	19.705	41.943	2.164	543
	-53,02%	112,85%	298,53%	-74,91%

PERBANDINGAN DENGAN MODEL DNN

Tabel 3 Perbandingan evaluasi model pada data tes (8 Juni 2024)

Parameter	DN	Model 3
RMSE (W)	165,07	124,41
MAE (W)	77,64	53,65
Prediksi negatif	242	2
Prediksi > 0 saat solarRad = 0	564	798



Gambar 3 Prediksi model 3 dan DNN pada 8 Juli 2024

Terlihat bahwa model 3 memiliki RMSE dan MAE yang lebih baik dari pada model DNN. RMSE dapat menurun hingga 24,63% dan MAE hingga 30,89 %. Prediksi negatif pada model menurun dari 242 menjadi 2. Prediksi lebih dari nol saat "solarRad" bernilai nolnya naik menjadi 798 dari model DNN. Terlihat juga pada Gambar hasil prediksi model 3 cukup dapat menangkap pola mode operasi dengan cukup baik meskipun masih mengalami kesalahan yang cukup besar di sekitar pukul 1 siang dan 4 sore ketika adanya perubahan mode operasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada tugas akhir ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pemodelan menggunakan *physics-informed XGBoost* berhasil dilakukan dengan penambahan *physics-informed data expand*, modifikasi fungsi kerugian dan batasan interaksi fitur untuk memberi penalti terhadap pelanggaran kaidah fisika. Penambahan kedua konfigurasi tersebut dapat menurunkan RMSE hingga 53,54% dan MAE hingga 56,02%. Selain itu, RMSE dan MAE tiap mode operasi menurun 37,94% dan 41,80% pada mode operasi *grid-tie* serta 55,71% dan 58,26% pada mode operasi *islanded*. Pada pelanggaran kaidah fisika, secara jumlah tidak berubah banyak, akan tetapi penalti dapat membantu menurunkan besar kesalahan yang terjadi pada model.
- Model berhasil diimplementasikan pada skema model sebelumnya yang menggunakan DNN dengan data latih 1 bulan dan data 1 hari sebelum untuk prediksi 1 hari ke depan. Didapat hasil RMSE dan MAE yang menurun masing-masing 24,63% dan 30,89%. Pelanggaran kaidah fisika prediksi lebih dari nol saat "solarRad" 0 juga mengalami kenaikan hingga 41,48%. Akan tetapi, terjadi penurunan pada pelanggaran kaidah fisika dari 242 prediksi negatif menjadi 2 data. Hal ini disebabkan oleh pemberian penalti oleh modifikasi fungsi kerugian yang saling berusaha meniadakan satu sama lain.