



PENGEMBANGAN PREDIKSI PRODUKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PADA SISTEM MIKROGRID MENGGUNAKAN METODE PHYSICS - INFORMED MACHINE LEARNING

Disusun oleh:
Hanadi [23322003]

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

Program Studi Magister Teknik Fisika

Latar Belakang

Ketidakpastian dan sifat stokastik dari energi surya menimbulkan tantangan dalam mempertahankan kualitas daya dan stabilitas sistem microgrid karena dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari, suhu lingkungan, dan posisi matahari. Prediksi akurat dari pembangkit listrik tenaga surya sangat penting untuk pengelolaan mikrogrid yang efektif. Model *Machine Learning* dapat melakukan prediksi dengan akurasi tinggi, namun tidak selalu konsisten dengan prinsip fisika. Sebaliknya, pendekatan berbasis fisika menghasilkan prediksi akurat tetapi kompleks dan rentan terhadap kesalahan parameter fisika. Penelitian ini mengusulkan metode *Physics-informed Machine Learning* yang menggabungkan pengetahuan fisika ke dalam model pembelajaran mesin untuk mengurangi kesalahan prediksi dan memastikan konsistensi dengan prinsip fisika. Pendekatan ini menggunakan algoritma XGBoost yang dimodifikasi untuk memasukkan batasan fisika dalam proses pembelajaran dengan menggabungkan formula produktivitas dengan fungsi kerugian *Mean-Square Error* (MSE).

Tujuan dan Sasaran

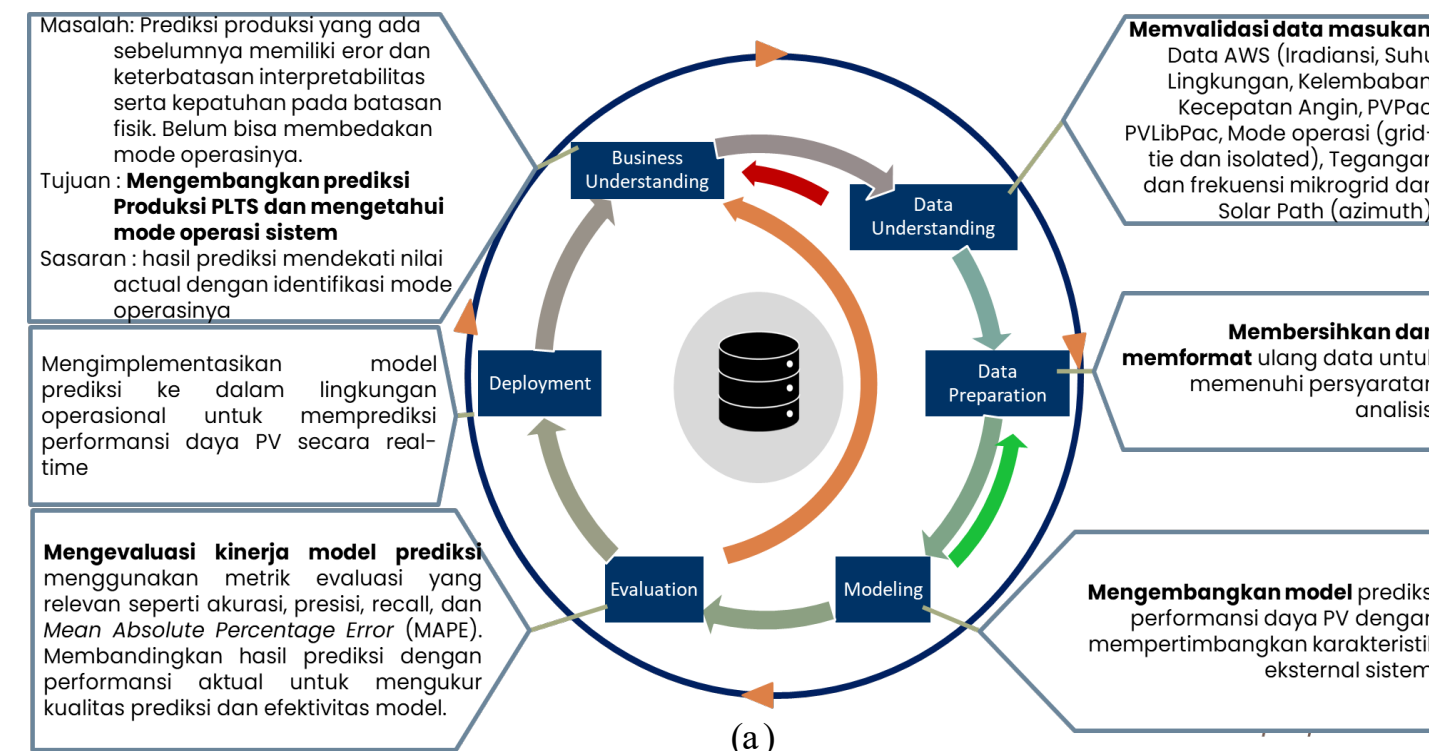
Tujuan :

1. Mengembangkan model prediksi produksi PLTS agar tidak terjadi *overfitting*.
2. Mengembangkan model prediksi produksi PLTS agar mampu mengatasi perubahan mode operasi pada sistem mikrogrid cerdas.

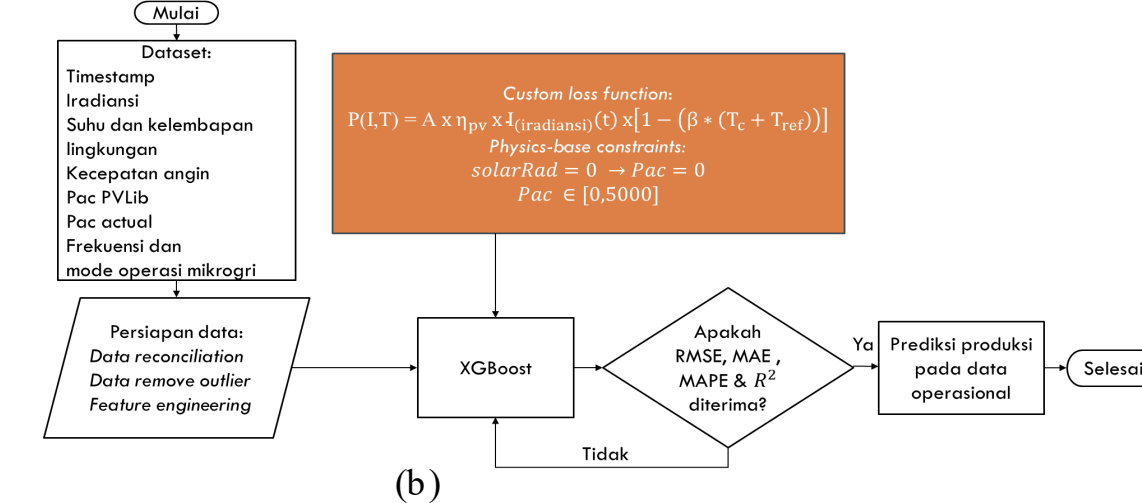
Sasaran :

1. Menghasilkan prediksi yang mengurangi bias akibat kekurangan pengetahuan.
2. Mendekati nilai prediksi aktual dengan identifikasi mode operasinya.

Metodologi Penelitian

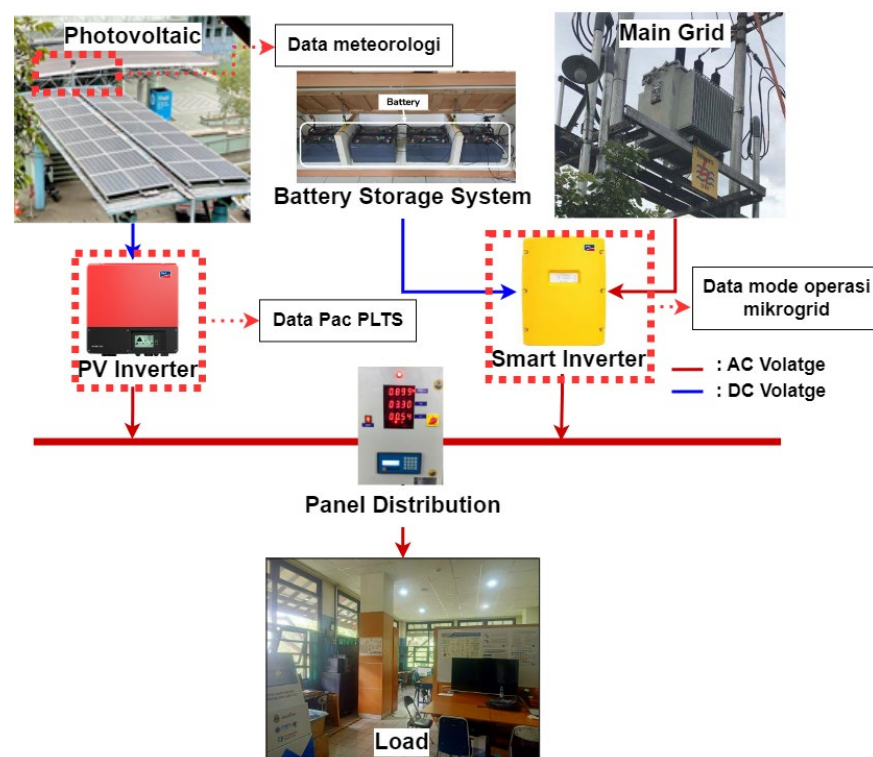


Metode penelitian: (a) metode *Cross Industry Standar Proses for Data Mining* (CRISP-DM), (b) diagram alir pemodelan prediksi PLTS



Penelitian ini menggunakan algoritma *eXtreme Gradient Boosting* (XGBoost) dengan kendala fisika melalui *Custom Loss Function* menggunakan formula produktivitas PLTS untuk memprediksi daya keluaran PLTS, guna memastikan prediksi daya keluaran PLTS lebih akurat dan realistis dengan mengintegrasikan pembelajaran data dengan batasan fisika [1]. Untuk mengoptimalkan *hyperparameter*, digunakan metode *Randomized Cross Validation*.

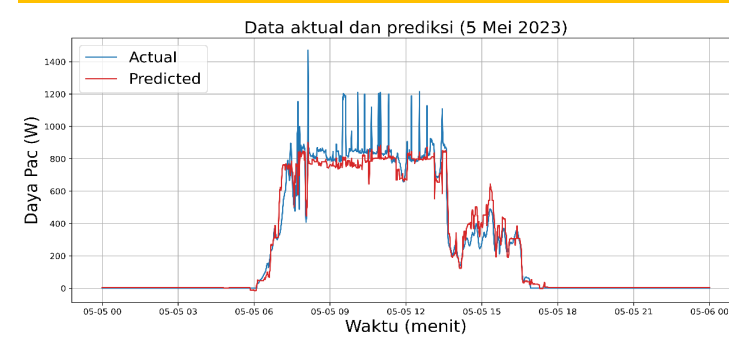
Objek Penelitian



(c). Gambar Objek penelitian

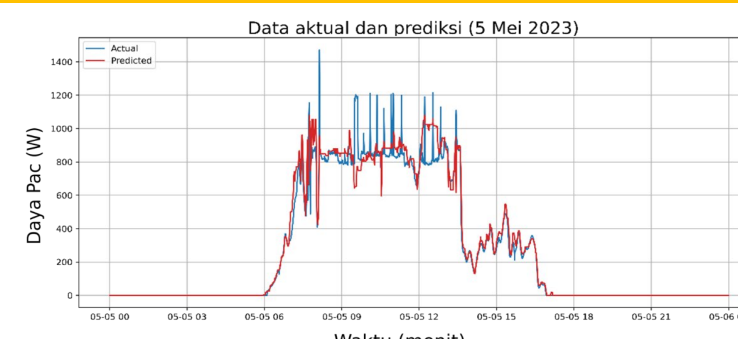
Penelitian ini menggunakan modul surya, inverter fotovoltaik, *hybrid inverter*, dan *Automatic Weather Station* (AWS) di Laboratorium Manajemen Energi, Laboratorium Teknik VI ITB. Data cuaca diperoleh dari AWS, terdiri dari berbagai parameter meteorologi. Data daya keluaran dan kinerja sistem secara *real-time* PLTS dikumpulkan dari inverter PV. Informasi mode operasi mikrogrid diperoleh dari *hybrid inverter*. Seluruh data diolah dan dikonversi ke format yang sesuai sebelum disimpan dalam basis data [2].

Hasil dan Analisis



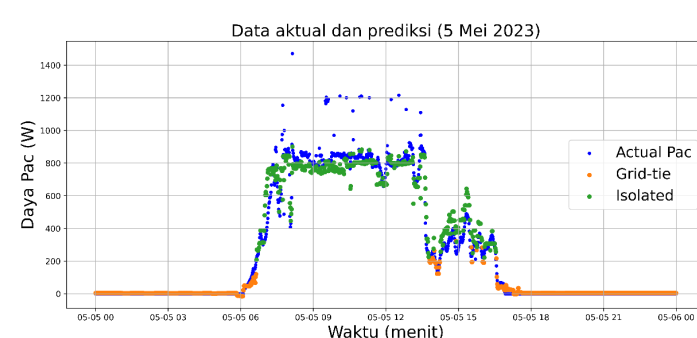
(d)

Hasil prediksi dengan: (d) model XGBoost berbasis Data murni, (e) model XGBoost berbasis Data-Fisika



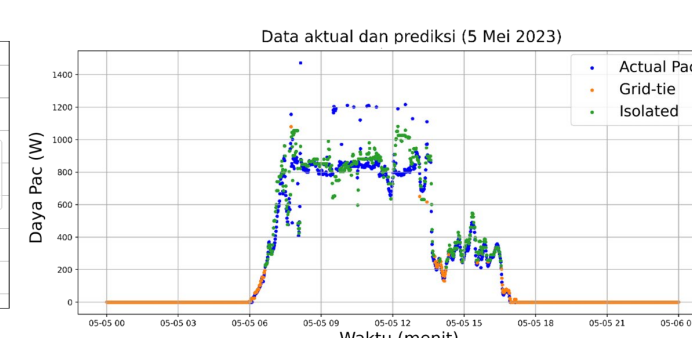
(e)

Model XGBoost berbasis Data-Fisika memprediksi daya PLTS dengan baik yang mampu mendekati interpolasi nilai aktualnya dan tidak melanggar kaidah fisika yaitu daya keluaran PLTS tidak ada yang dibawah nilai 0 dan tidak ada daya yang dibangkitkan ketika tidak ada iradiansi matahari waktu malam hari atau pagi hari dibandingkan dengan Model XGBoost berbasis Data murni yang hasil prediksinya memiliki variasi yang cukup tinggi dan pelanggaran terhadap kaidah sistem PLTS

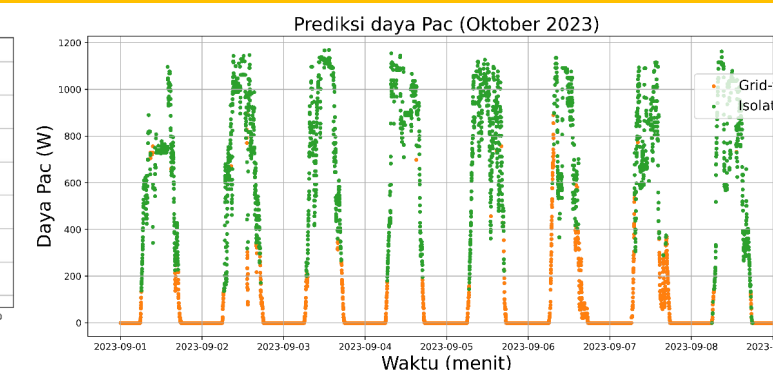


(f)

Hasil prediksi mode operasi dengan: (a) model XGBoost berbasis Data murni, (b) model XGBoost berbasis Data-Fisika

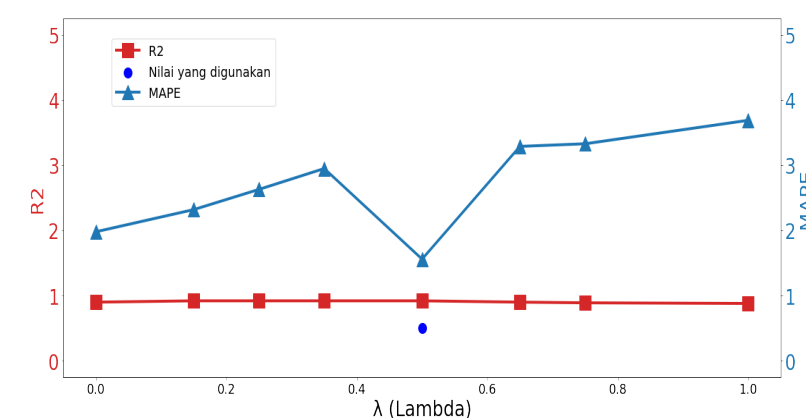


(g)



(h) Hasil prediksi 9 hari kedepan

Model prediksi yang dibangun mampu memprediksi daya PLTS 9 hari kedepan dan klasifikasi mode operasinya dengan hasil prediksi yang cukup stabil Ketika diuji pada data baru. *Hyperparameter* λ pada nilai 0,5 menghasilkan kinerja prediksi yang paling baik dibandingkan dengan nilai lainnya ditinjau dari MAPE.



(i) Hasil evaluasi λ sebagai persentase sumber pembelajaran

Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan prediksi produksi PLTS dengan mengimplementasikan panduan hasil prediksi berbasis model fisika produktivitas PLTS kedalam *loss function* sehingga penalti terhadap kesalahan prediksi semakin ketat, beberapa capaian sebagai berikut :

1. Model berbasis data murni: RMSE 2,51% dan pada data uji, RMSE 4,96% dan pada data baru, R^2 menurun dari 90% menjadi 70%.
2. Model berbasis data fisika : RMSE 2,28% dan MAE 1,05% pada data uji, RMSE 4,04% dan MAE 1,53% pada data baru, R^2 stabil pada 92%.
3. Mampu mengklasifikasikan mode operasi mikrogrid, memungkinkan penyesuaian prediksi daya keluaran PLTS berdasarkan mode operasional dinamis, meningkatkan manajemen energi pada mikrogrid cerdas

Referensi

- [1] Dong, Y., Song, L., Zhao, Q., Ding, Z., Qiu, L., Lu, C., & Chen, G. (2023). A physics-guided eXtreme gradient boosting model for predicting the initial productivity of oil wells. *Geoenergy Science and Engineering*, 231(PB), 121402. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.121402>
- [2] Muhammad, Fikri Nur (2022): Prediksi Produksi Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Metode Informed Machine Learning, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.