



Perbaikan Model Prediksi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Sistem Mikrogrid dengan Model Deep Neural Network dan Metode Pembaruan Event-Triggered Update

Oleh
Thoriq Waldri
13320073

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Edi Leksono, M.Eng., IPM.
Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.

01. LATAR BELAKANG

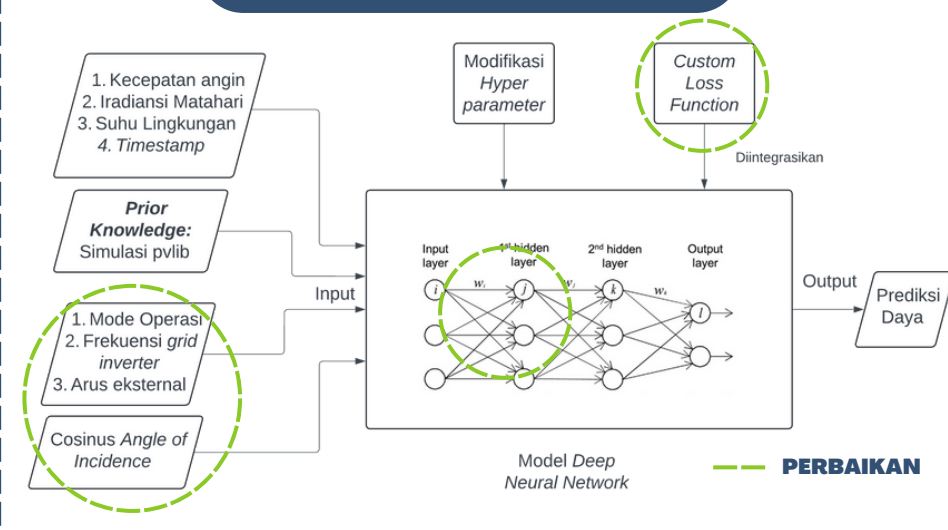
Dunia saat ini menghadapi tantangan besar dalam memenuhi permintaan energi yang terus meningkat sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca. Energi terbarukan, terutama energi surya, dianggap sebagai solusi potensial, meskipun pemanfaatannya di Indonesia masih sangat rendah (0,00625%) dibandingkan dengan potensi besar yang ada (200 MW). Salah satu kendala utama dalam pengembangan energi surya adalah fluktuasi ketersediaan energi akibat kondisi cuaca, yang memerlukan sistem pengontrol untuk menjaga stabilitas produksi daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Pemodelan *Microgrid Digital Twin* (MGDT) pada PLTS menawarkan solusi untuk mengatasi masalah fluktuasi tersebut. MGDT merupakan representasi digital PLTS yang memungkinkan pemantauan dan pengontrolan secara *real-time* menggunakan teknologi *Machine Learning* (ML). Studi sebelumnya yang menggunakan model *Deep Neural Network* (DNN) dengan metode pembaruan *Event-Triggered Update* (ETU) menunjukkan hasil prediksi daya yang cukup, namun terdapat penurunan kinerja karena *overfitting*, sehingga diperlukan perbaikan model untuk manajemen energi yang lebih optimal.

02. TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah memperbaiki model prediksi daya PLTS pada sistem mikrogrid di Laboratorium Manajemen Energi Program Studi Teknik Fisika ITB.

03. IDE SOLUSI



04. PRODUKSI ENERGI PLTS

$$E_{prod} = \sum_{i=1}^N P_i \times \Delta t$$

05. ANGLE OF INCIDENCE (AOI)

Sudut insiden matahari atau *Angle of Incidence* (AOI) merupakan sudut yang terbentuk antara vektor normal permukaan modul surya dan vektor iradiansi matahari yang masuk. Untuk menghitung AOI dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \sin \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos(\gamma - \gamma_s) \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega \cos(\gamma - \gamma_s) \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin(\gamma - \gamma_s) \end{aligned}$$

Parameter Kondisi Geografis PLTS Laboratorium Manajemen Energi

Parameter	Nilai
Latitude (ϕ)	-6,89°
Longitude	107,61°
Tilt/Slope (β)	2°
Surface azimuth angle (γ)	90° (menghadap timur)

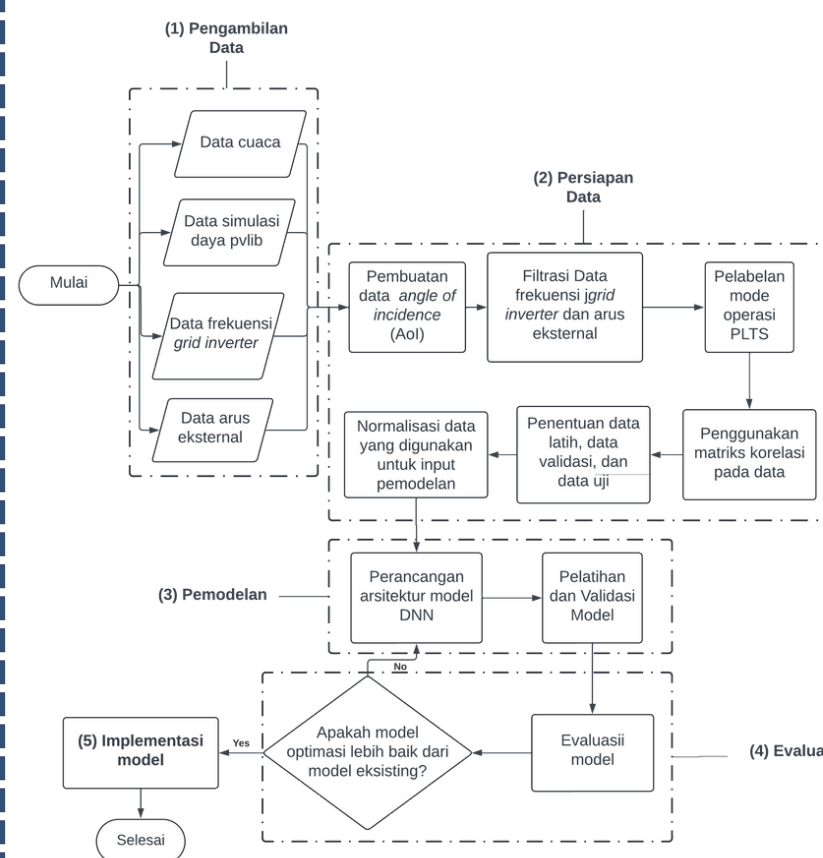
06. OBJEK PENELITIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Objek Penelitian adalah PLTS pada sistem mikrogrid Laboratorium Manajemen Energi. PLTS berkapasitas 6,72 kWp dengan daya keluaran *Alternating Current* (AC) nominal sebesar 5 kW. Pengambilan data dilakukan pada platform *Digital Twin* (DT) pada Lab. ME. Data dikumpulkan melalui *Automatic Weather Station* (AWS), *grid inverter* Sunny Boy 5.0 dan *hybrid inverter* Sunny Island 5048.

Data	Lokasi Data	Nama data (csv)
Iradansi matahari (<i>solarRad</i>)	Data Lake Database: "datalatih_PV" Tabel: "test_training"	"data_latih" dan "data_testing"
Kecepatan angin (<i>windspeed</i>)		
Temperatur (<i>outsideTemp</i>)		
Daya aktual PLTS (<i>Pac</i>)		
Daya pvlib (<i>Pac pvlib</i>)	Data Lake Database: "smartgrid" Tabel: "pv_datapengukuran"	"data_grid_freq" dan "data_testing_grid_freq"
Frekuensi grid inverter (<i>GridMs.Hz</i>)		
Arus eksternal (<i>ExtCur</i>)	Data Lake Database: "smartgrid" Tabel: "datapengukuran"	"data_extcur" dan "data_testing_extcur"

07. PEMODELAN PREDIKSI DAYA PLTS DENGAN DNN

DNN adalah salah satu jenis pembelajaran mesin pada yang menggunakan model matematika untuk memproses data melalui cara-cara kompleks dan mempunyai beberapa lapisan tersembunyi. DNN merupakan metode pembelajaran mendalam atau *Deep Learning* (DL) yang menggunakan arsitektur *Neural Network* (NN), seperti pada neuron pada otak.



09. IMPLEMENTASI MODEL

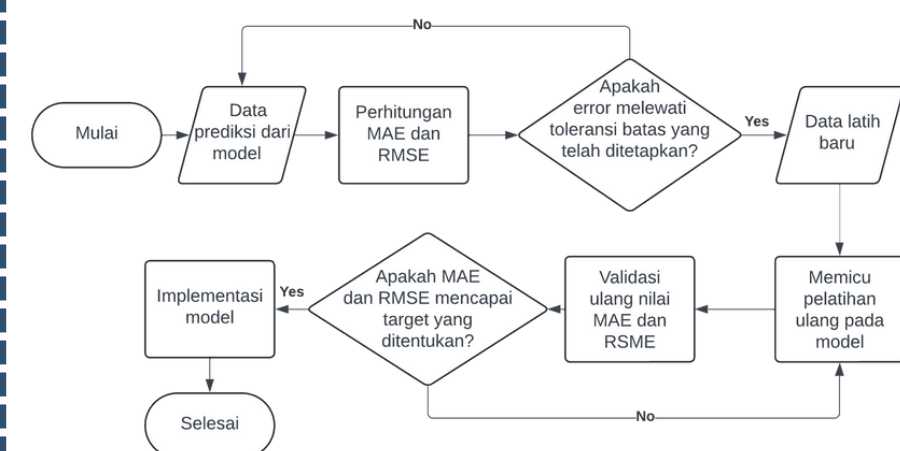
Prediksi daya keluaran PLTS selama satu hari kedepan dengan validasi dari data satu hari sebelum hari prediksi.

10. PEMBARUAN MODEL PREDIKSI DAYA PLTS DENGAN ETU

Kinerja model prediksi yang telah dibuat akan dievaluasi secara kontinu dengan *Event-Triggered Update* (ETU). Apabila data prediksi dari model melebihi batasan toleransi nilai MAE/nMAE dan RMSE/nRMSE yang ditetapkan, maka akan terpicu pembaruan model untuk melakukan pelatihan ulang dengan data latih terbaru.

Parameter	Nilai
MAE	160 W
nMAE	3,2%
RMSE	280 W
nRMSE	5,6%

Batas Toleransi



08. KRITERIA MODE OPERASI PLTS

Mode	Batasan	Pelabelan
Grid-tied dan curtailment	Frekuensi grid < 49 Hz atau frekuensi grid > 51 Hz dan Arus eksternal > 0,5 A	0
Grid-tied dan normal	Daya > 0 dan rentang waktu pukul 6 -18 dan 49 Hz < frekuensi grid < 51 Hz dan Arus eksternal > 0,5 A	1
Islanded dan curtailment	Frekuensi grid < 49 Hz atau frekuensi grid > 51 Hz dan arus eksternal < 0,5 A	2
Islanded dan normal	Daya > 0 dan rentang waktu pukul 6 -18 dan 49 Hz < frekuensi grid < 51 Hz dan arus eksternal < 0,5 A	3

Penentuan mode operasi dilakukan atas dasar interaksi dari kebutuhan beban, baterai, jaringan utama (PLN), inverter, dan PV. PLTS beroperasi secara normal

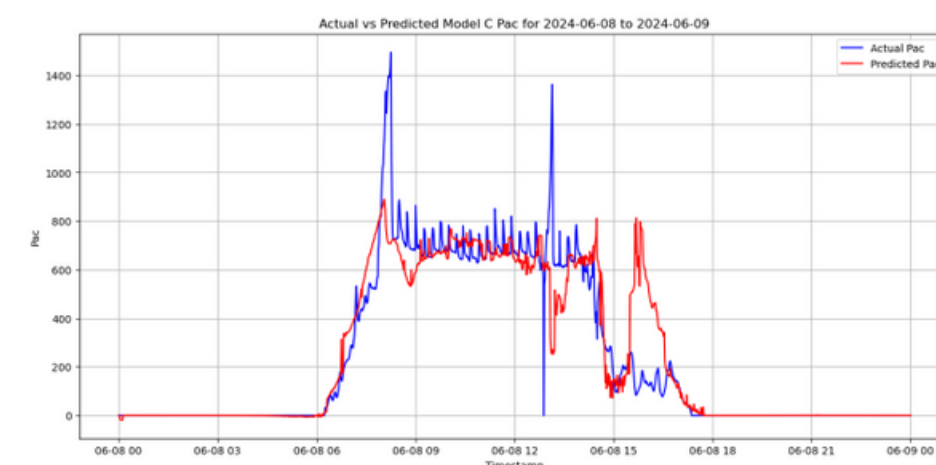
11. EVALUASI PENGUJIAN MODEL SELAMA JUNI 2024

Terlihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan pada RMSE dan MAE model perbaikan jika dibandingkan dengan model eksisting. Model C memiliki penurunan terbesar, dimana RMSE turun sebesar 27,84% dan MAE turun sebesar 34,10%. Selain itu, semua model perbaikan juga menunjukkan peningkatan R², dimana model C memiliki R² tertinggi. Artinya, model sangat baik dalam menjelaskan variansi dalam data, memiliki akurasi yang baik, serta dapat menjelaskan hubungan non-linieritas dari fitur terhadap target pemodelan. Kemudian, model B dan C memiliki jumlah prediksi negatif yang cukup kecil. Berbeda dengan model A, dimana jumlah prediksi negatifnya lebih besar dibandingkan dengan model eksisting. Model C juga memberikan galat terkecil dalam menghitung produksi energi selama satu bulan Juni, sebesar 2,34%. Secara keseluruhan, semua model sudah mencapai target yang diinginkan, terkhusus model C dengan fitur kosinus AOI sebagai fitur penunjuk waktu memberikan peningkatan kinerja yang cukup signifikan.

Model	RMSE (W)	nRMSE (%)	MAE (W)	nMAE (%)	R ²	Jumlah Prediksi Negatif
Current	168,10	3,36	85,53	1,71	0,74	12.541
A	122,65	2,45	71,27	1,42	0,86	20.249
B	129,22	2,58	86,04	1,72	0,85	1.594
C	113,30	2,27	56,36	1,13	0,88	3.627

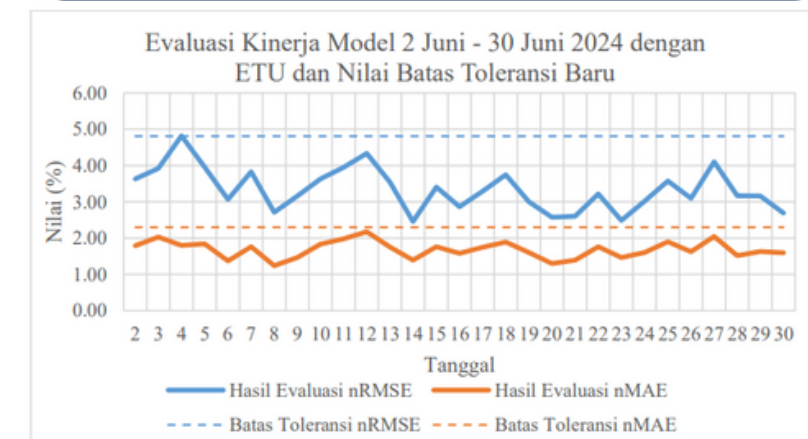
Model	Produksi Energi Model Prediksi (kWh)	Produksi Energi Aktual (kWh)	Error (%)
Current	183,62	174,15	5,43
A	150,43		-13,62
B	196,71		12,95
C	178,23		2,34

12. IMPLEMENTASI MODEL



Berdasarkan hasil evaluasi pada model, maka model C dipilih sebagai model yang diimplementasikan pada percobaan selanjutnya, yaitu pengujian dengan *Event-Triggered Update* (ETU). Model C memiliki kinerja terbaik diantara semua model dengan nilai RMSE dan MAE yang telah mencapai target. Setelah itu, model C direkayasa menyerupai model prediksi pada platform DT Laboratorium Manajemen Energi agar dapat memprediksi daya keluaran PLTS selama satu hari kedepan setiap menitnya dengan menggunakan validasi dari data satu hari sebelum hari prediksi. Selanjutnya, divisualisasikan sampel prediksi pada 8 Juni 2024 dengan menggunakan validasi data pada 7 Juni 2024. Didapatkan RMSE dan MAE sebesar 132,90 W dan 58,73 W.

13. EVALUASI PEMBARUAN MODEL PREDIKSI DAYA PLTS DENGAN ETU



Pada tahap evaluasi awal nRMSE dan nMAE model tidak pernah melebihi bahkan menyentuh batas toleransi yang telah ditetapkan. Ini mengindikasikan bahwa model perbaikan yang telah dibuat memiliki kinerja yang sangat baik. Namun, untuk melihat bagaimana ETU bekerja pada model, maka ditentukan nilai baru untuk batas toleransi. Nilai nRMSE dan nMAE tertinggi selama evaluasi kinerja model, adalah 4,82% dan 2,31%. Dengan mengurangi sedikit nilai tersebut, maka ditentukan batas toleransi nRMSE dan nMAE sebesar 4,81% dan 2,30%. Lalu dilihat kembali dinamika prediksi dengan batas toleransi yang terbaru.

14. KESIMPULAN

- Telah dilakukan optimasi model prediksi daya PLTS pada sistem mikrogrid Laboratorium Manajemen Energi Teknik Fisika ITB.
- Pada pengujian model, Model C (Fitur penunjuk waktu AOI) dipilih sebagai model terbaik yang diimplementasikan pada percobaan pembaruan dengan *Event-Triggered Update* (ETU). Penurunan signifikan pada RMSE dan MAE sebesar 27,84% dan 34,10%. Memiliki R² tertinggi sebesar 0,88, jumlah prediksi negatif yang relatif kecil sebesar 3.627, serta galat produksi energi terkecil dengan nilai 2,34% 3.
- Pada evaluasi kinerja model selama 2 Juni 2024 – 30 Juni 2024 dengan ETU, model belum pernah melewati batas toleransi nRMSE dan nMAE yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, ditentukan ulang nilai batas toleransi nRMSE dan nMAE sebesar 4,81% dan 2,30% (acuan max dari model) dan periode hari pemicu n = 1 hari. Hasilnya, model kembali menjadi stabil pada prediksi di hari berikutnya sampai dengan 30 Juni 2024.