

ANALISIS KOMPARATIF MODEL PEMBELAJARAN MENDALAM (LSTM, GRU, DAN BiLSTM) UNTUK PREDIKSI PRODUKSI ENERGI PADA PLTS SKALA UTILITAS

Oleh : Deftendy Virgiatman
NIM : 13321079

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Edi Leksono, M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 :Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.



Program Studi Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung

LATAR BELAKANG

Indonesia menargetkan **23% EBT** pada **2025** dan **net emisi 2060** sesuai **Persetujuan Paris**.

Kebutuhan energi mencapai **1.315,5 GW** pada 2022, didorong oleh penurunan harga modul PV dan **peningkatan efisiensi**.

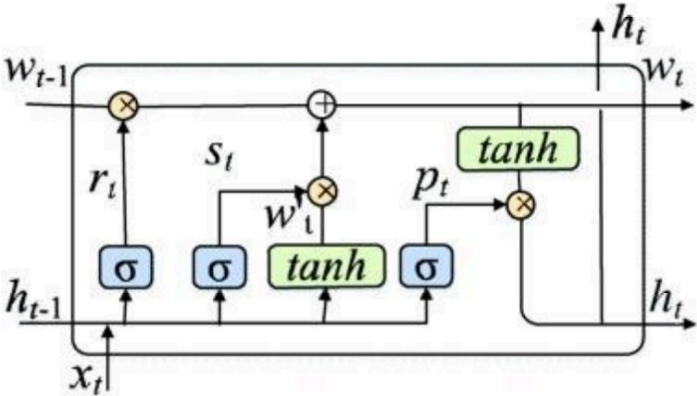
Intermitensi Cuaca menyulitkan prediksi dan memengaruhi kualitas daya **panel surya**.

Metode Prediksi Linear (misalnya regresi linier) tidak memadai untuk menangkap **kompleksitas data cuaca** yang nonlinear.

Metode Pembelajaran Mendalam mampu **memodelkan** pola data yang **kompleks** dan **non-linear**.

ALGORITMA

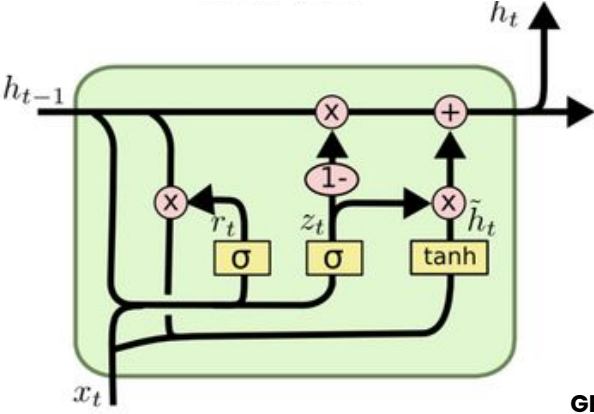
Long Short Term Memory (LSTM)



LSTM efektif dalam menangani **pola jangka panjang**, mengatasi gradien yang hilang

$$\begin{aligned} f_t &= \sigma(W_f x_t + W_f h_{t-1} + b_f) \\ i_t &= \sigma(W_i x_t + W_i h_{t-1} + b_i) \\ \hat{c}_t &= \tanh(W_c x_t + W_c h_{t-1} + b_c) \\ C_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \tanh(W_c x_t + W_c h_{t-1} + b_c) \\ o_t &= \sigma(W_o x_t + W_o h_{t-1} + b_o) \\ h_t &= o_t \odot \tanh(C_t) \end{aligned}$$

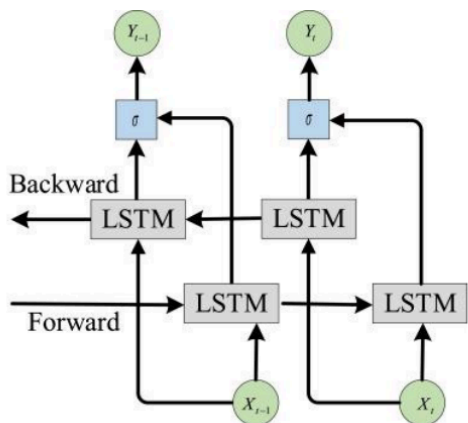
Gated Recurrent Unit (GRU)



GRU memiliki **arsitektur sederhana, komputasi efisien**, lebih cepat dilatih

$$\begin{aligned} r_t &= \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \\ z_t &= \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \\ \tilde{h}_t &= \tanh(W_h x_t + u_h(r_t * h_{t-1}) + b_h) \\ h_t &= (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t \end{aligned}$$

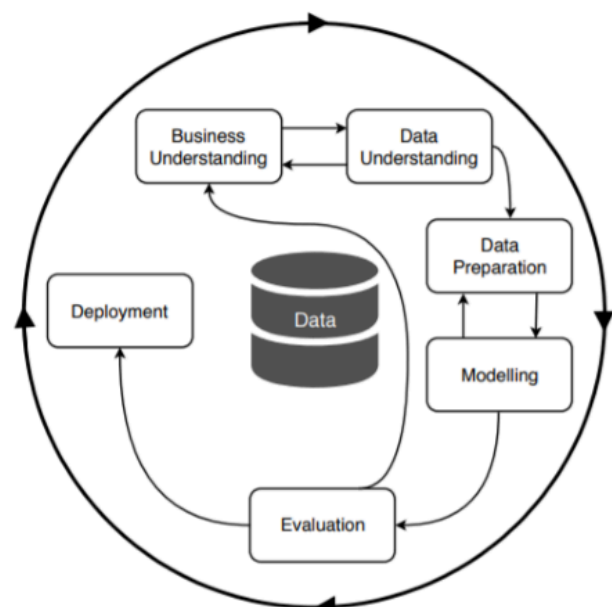
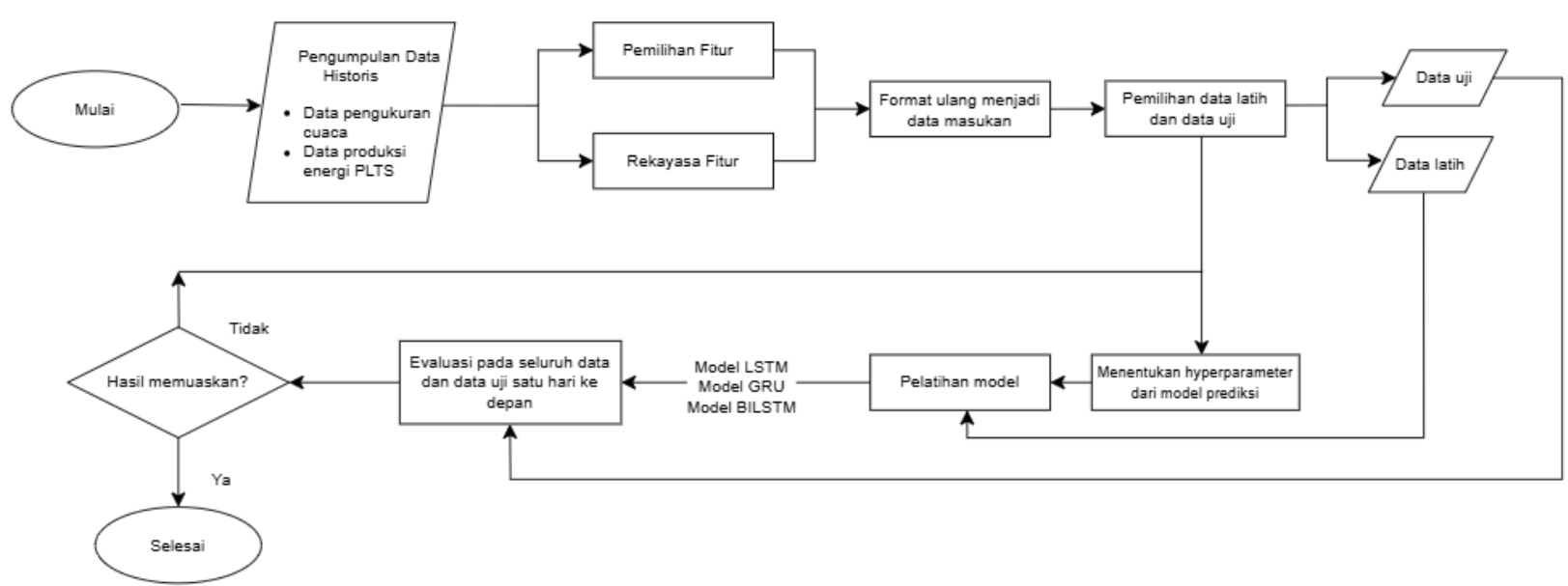
Bidirectional Long Short Term Memory (BiLSTM)



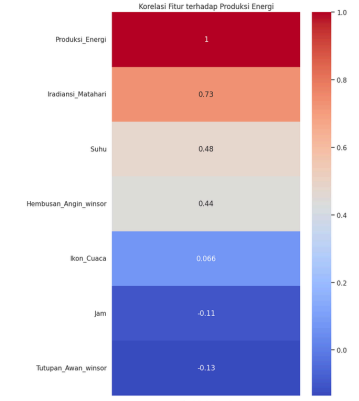
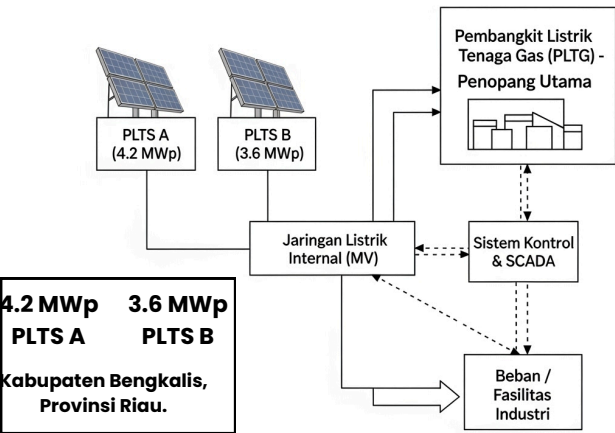
BiLSTM Lebih akurat untuk data kompleks, memahami konteks dua arah

$$\begin{aligned} \vec{h}_t &= LSTM(x_t, \vec{h}_{t-1}) \\ \overleftarrow{h}_t &= LSTM(x_t, \overleftarrow{h}_{t+1}) \\ h_t &= [\vec{h}_t, \overleftarrow{h}_t] \\ y_t &= g(W_y[h_t; \vec{h}_t] + b_y) \end{aligned}$$

METODOLOGI DAN RANCANGAN PENELITIAN



HASIL DAN ANALISIS



Hasil Seleksi Fitur dari gabungan **33 Variabel Cuaca dan Variabel Operasional**

Metrik Evaluasi	Data Uji					
	PLTS A			PLTS B		
	LSTM	GRU	BiLSTM	LSTM	GRU	BiLSTM
MASE	0,777	0,777	0,776	0,785	0,786	0,784
MAE (kWh)	343,37	343,52	342,88	289,02	289,46	288,61
RMSE (kWh)	475,04	472,19	476,94	415,51	416,45	416,62
R-Square (%)	71,19	71,53	70,96	70,21	70,07	70,05

Metrik Evaluasi	Data Uji					
	PLTS A			PLTS B		
	1 Hari	1 Minggu	1 Bulan	1 Hari	1 Minggu	1 Bulan
MASE	0,697	0,814	0,815	0,448	0,736	0,732
MAE (kWh)	283,25	297,35	330,08	223,71	255,09	271,03
RMSE (kWh)	363,29	461,88	472,97	351,53	408,57	398,97
R-Square (%)	74,122	64,624	70,377	77,374	67,568	73,613



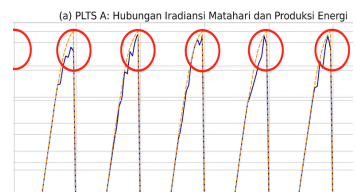
Prediksi **harian** memberikan **akurasi tertinggi**.



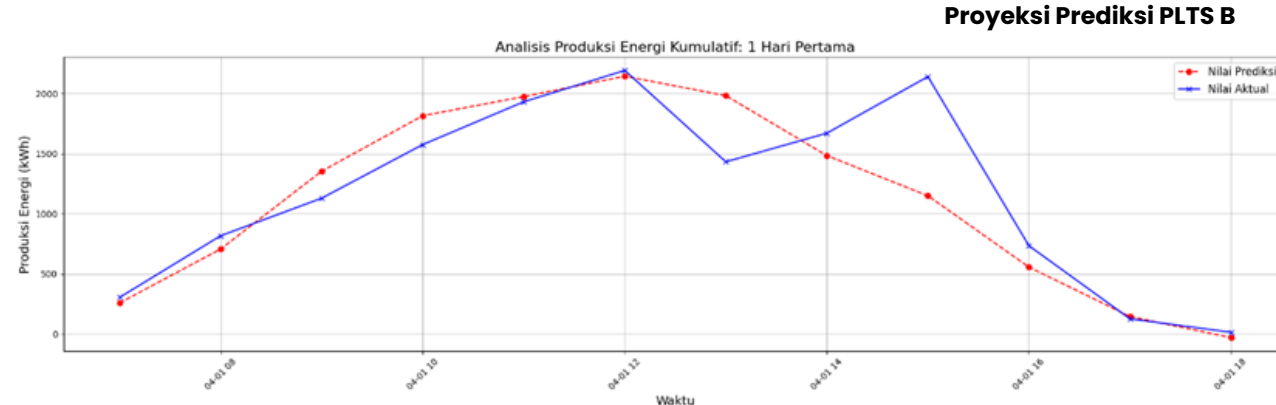
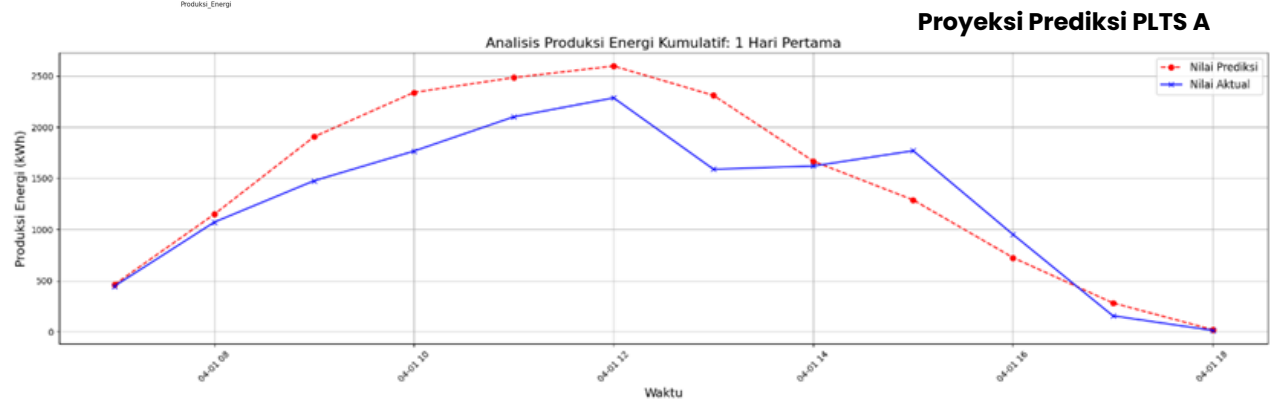
Ketika **horizon** prediksi **diperpanjang** ke mingguan dan bulanan, **performa** model cenderung **menurun**.



MASE harian yang jauh **lebih kecil dari 1** memvalidasi bahwa model ini secara **praktis** lebih berguna daripada **prediksi naïf**.



Fenomena **Inverter Clipping** di **PLTS A** menyebabkan spesifikasi kedua **dataset** berbeda.



KESIMPULAN

Penelitian ini **berhasil merancang** dan **mengimplementasikan sistem prediksi energi** PLTS yang efektif dengan mengidentifikasi **6 fitur utama** (iradiasi matahari, hembusan angin, tutupan awan, suhu, jam, dan ikon cuaca) **dari 33 variabel awal**. Evaluasi menunjukkan **model BiLSTM adalah yang terbaik secara umum** untuk PLTS A (MAE 342,89 kWh, R² 70,96%) dan PLTS B (MAE 288,61 kWh, R² 70,05%), dengan performa lebih unggul dari **naïve forecasting** (MASE < 1). Performa **model optimal pada horizon harian** (R² hingga 77,37%), tetapi **menurun signifikan pada horizon mingguan dan bulanan**, menunjukkan optimalitas model **deep learning** untuk **prediksi jangka pendek** dan kebutuhan **pembaruan data berkala untuk jangka panjang**.