

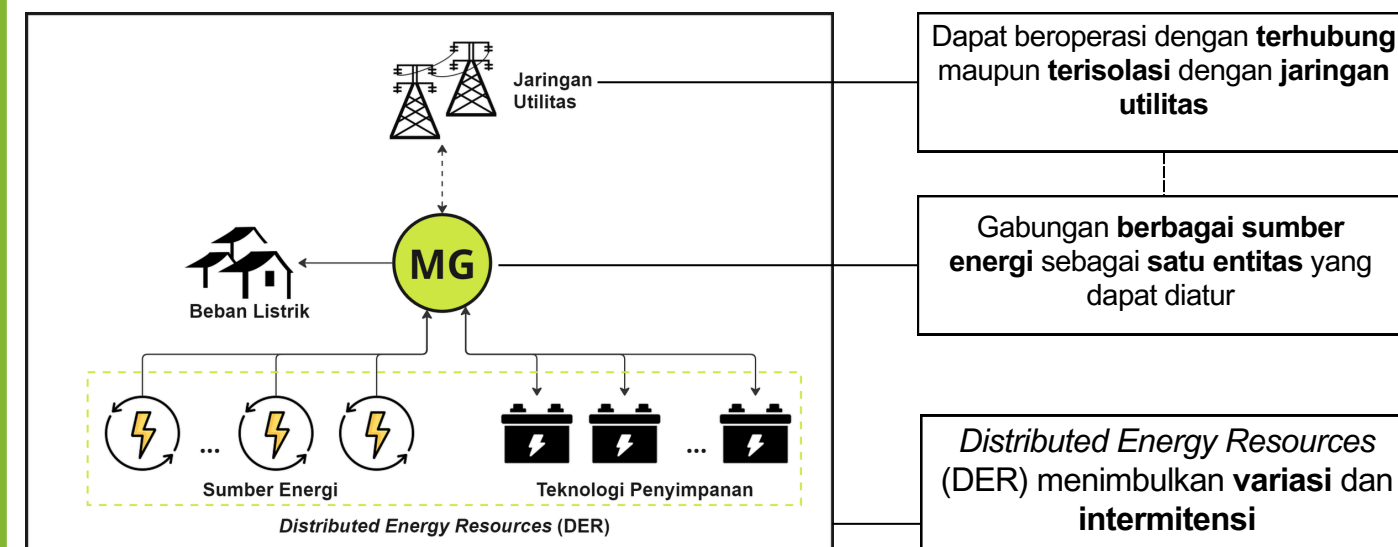
PENGEMBANGAN ALGORITMA MANAJEMEN ENERGI UNTUK PENJADWALAN SISTEM BATERAI PENYIMPAN ENERGI DENGAN STRATEGI MODEL PREDICTIVE CONTROL

Oleh Rafi Armandana Aqila (13320085) | Pembimbing I: Dr. Ing. Justin Pradipta S.T., M.T. | Pembimbing II: Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Konsep *microgrid* (MG) hadir sebagai respon terhadap meningkatnya permintaan energi global



Teknologi penyimpanan

Sistem Baterai Penyimpan Energi (SBPE)

Dalam konteks perannya dalam MG, SBPE dapat membantu pengelolaan intermitensi sumber ET: Menampung produksi berlebih dan membantu pemasokan saat kurang produksi

Dibutuhkan sistem manajemen energi (ME) dapat dijelaskan dengan hierarki kontrol pada MG:

Pengembangan algoritma difokuskan pada tingkat kontrol tersier

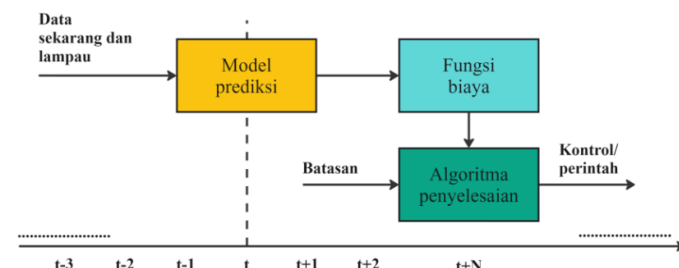
- Tingkat tersier dapat dilihat sebagai tingkat ekonomis

- Fungsinya antara lain meminimalisasi biaya operasional harian dan mengoptimasi keluaran DER melalui **penjadwalan** atau komitmen unit

Salah satu metode penjadwalan

Model Predictive Control (MPC)

Strateginya dapat dijelaskan sebagai:



Dengan keuntungan antara lain:

- Kemampuannya mengatasi **multivariabel**
- Dapat mempertimbangkan **berbagai objektif**
- Prediksi sistem **sepanjang horizon**

Tujuan dan Sasaran

Tujuan penelitian adalah

“**Mengembangkan algoritma ME untuk Penjadwalan SBPE dengan strategi MPC pada MG**”

Dengan sasaran berupa:

- Mengembangkan algoritma ME** untuk mengoptimasi penjadwalan SBPE pada MG dengan strategi MPC
- Menganalisis performa algoritma yang diajukan pada berbagai **kondisi penetapan harga energi**
- Menganalisis perbandingan performa algoritma yang diajukan dengan **algoritma ME existing**, yakni **decision tree**

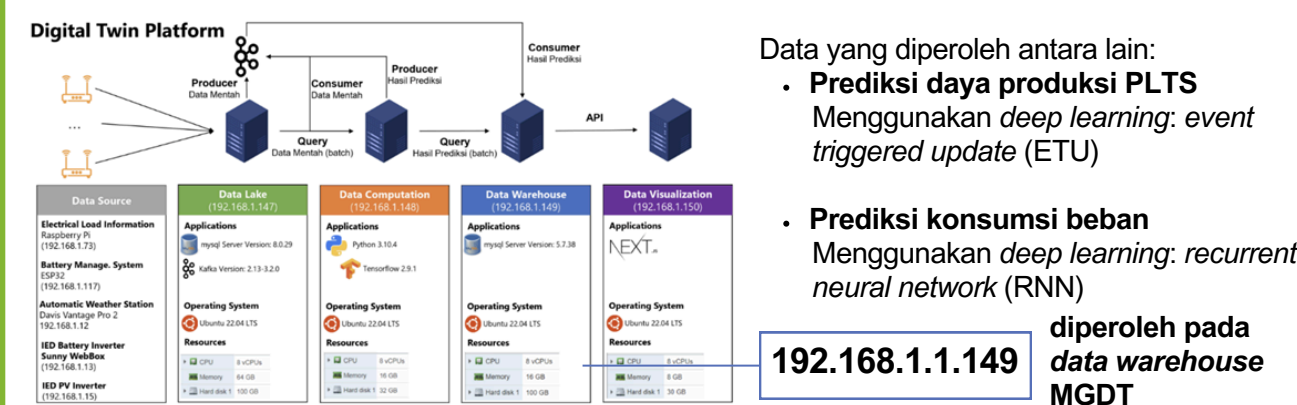
METODOLOGI

Objek Penelitian dan Perolehan Data

Objek penelitian adalah **MG** pada **Laboratorium Manajemen Energi**, Labtek VI Teknik Fisika ITB

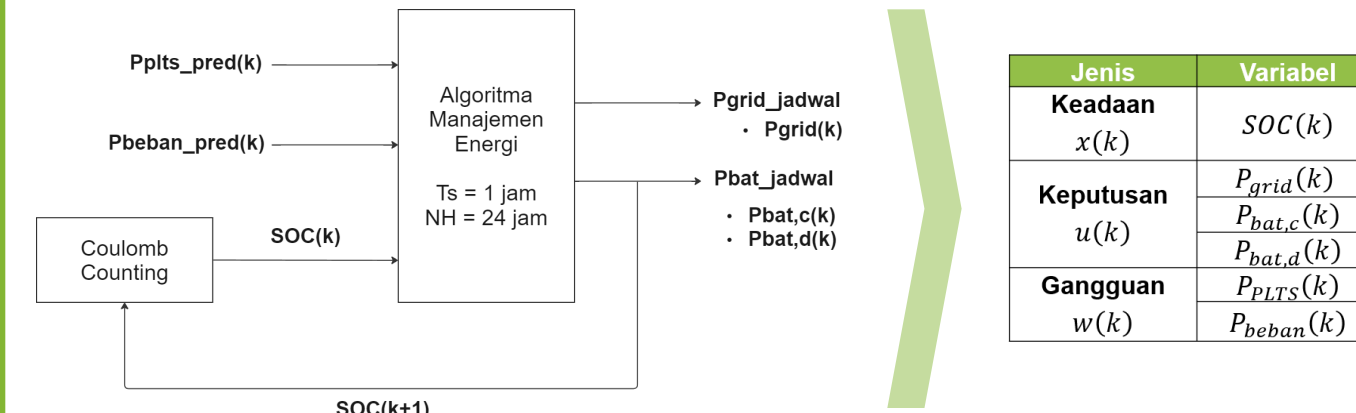
- SBPE** (VRLA; 9.600 Wh)
- PLTS** (SkyTech; 6.720 Wp)
- Beban listrik**: Peralatan elektronik pada Lab. ME

Adapun **perolehan data** dilakukan dengan platform **MG digital twin** (MGDT)



Pengembangan Algoritma ME

Blok pengontrol untuk algoritma ME dijelaskan sebagai berikut.



Jenis	Variabel
Keadaan $x(k)$	$SOC(k)$
Keputusan $u(k)$	$P_{grid}(k)$ $P_{bat,c}(k)$ $P_{bat,d}(k)$
Gangguan $w(k)$	$P_{PLTS}(k)$ $P_{beban}(k)$

Dengan **dinamika sistem** dijelaskan sebagai:

$$SOE(k+1) = SOE(k) + \frac{\eta_{bat,c} T_s}{C_{Wh}} P_{bat,c}(k) - \frac{T_s}{\eta_{bat,d} C_{Wh}} P_{bat,d}(k)$$

Adapun **fungsi biaya**

$$J(x, u) = \sum_{k=0}^{horizon=24} J_{grid}(x(k), u(k)) + J_{bat}(x(k), u(k)) + J_{curtail}(x(k), u(k))$$
$$J_{grid}(x(k), u(k)) = (\lambda_{grid} \times COE_{grid} \times P_{grid}(k)) \times T_s \quad \text{Jaringan PLN}$$
$$J_{bat}(x(k), u(k)) = J_{bat,1}(x(k), u(k)) + J_{bat,2}(x(k), u(k)) + J_{bat,3}(x(k), u(k)) \quad \text{SBPE}$$
$$J_{curtail}(x(k), u(k)) = (10^6 \times P_{curtail}(k)) \times T_s \quad \text{Curtailment}$$

Dengan **fungsi biaya SBPE** sebagai:

$$J_{bat,1}(x(k), u(k)) = \frac{CapEx_{bat}}{C_{Wh}} \times \lambda_{bat} \times (P_{bat,c}(k) + P_{bat,d}(k)) T_s$$
$$J_{bat,2}(x(k), u(k)) = \frac{P_{bat,c}(k) + P_{bat,d}(k)}{V_{nom} \times I_{1c}}$$
$$J_{bat,3}(x(k), u(k)) = ||SOC(k+1) - SOC(k)||^2$$

Fungsi biaya tersebut **tunduk** pada **batasan-batasan**:

$$\begin{aligned} 0 &\leq P_{bat,c}(k) \leq P_{bat,c,max} & P_{bat,c}(k) &\leq P_{PLTS}(k) \\ 0 &\leq P_{bat,d}(k) \leq P_{bat,d,max} & P_{bat,c}(k) &\leq \delta_{bat,c}(k) \times P_{bat,d,max} \\ 0 &\leq P_{grid}(k) \leq P_{grid,max} & P_{bat,d}(k) &\leq (1 - \delta_{bat,c}(k)) \times P_{bat,d,max} \\ SOC_{min} &\leq SOC(k) \leq SOC_{max} \end{aligned}$$

$$P_{PLTS}(k) + P_{grid}(k) + P_{bat,d}(k) \times \eta_{bat,d} - P_{beban}(k) - P_{curtail}(k) - \frac{P_{Pbat,c}(k)}{\eta_{bat,c}} = 0$$

HASIL DAN ANALISIS

Algoritma ME yang dikembangkan

Algoritma Penjadwalan SBPE

Input: SOE awal (SOE_i), Prediksi PLTS (P_{pv_forecast}), prediksi beban (P_{load_forecast}), horizon

Output: P_{bat_c_solution}, P_{bat_d_solution}, P_{grid_solution}, SOE_{solution}

- Inisiasi model optimasi
- Menambahkan variabel kontinu:
 - P_{bat_c} (Jadwal daya pengisian SBPE)
 - P_{bat_d} (Jadwal daya pengosongan SBPE)
 - P_{grid_p} (Jadwal daya impor jaringan utilitas)
 - P_{curtail} (Daya PLTS yang terbatas)
- Menambahkan variabel biner untuk operasi SBPE (xc dan xd)
- Mendefinisikan komponen fungsi biaya
 - Cost_{grid}: Fungsi biaya untuk grid
 - Cost_{bat_1}: Fungsi biaya SBPE 1
 - Cost_{bat_2}: Fungsi biaya SBPE 2
 - Cost_{bat_3}: Fungsi biaya SBPE 3
 - curtailment_cost: Fungsi biaya untuk daya yang terbatas
- Mendefinisikan penjumlahan fungsi biaya (CostFunc)
- Menambahkan batasan:
 - Keseimbangan daya MG
 - Batasan biner SBPE
 - Dinamika sistem (SOE(k+1))
- Minimalisasi fungsi biaya (CostFunc)
- Memecahkan model optimasi (solution)
- Mengekstrak dan mengembalikan solusi (output)

Digunakan bahasa pemrograman **Python** dengan pustaka **CPLEX** dari IBM yang akan meminimalisasi fungsi biaya

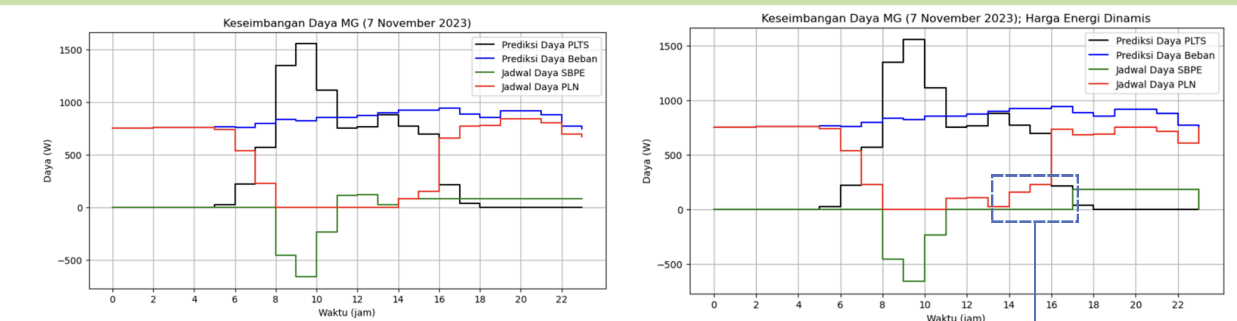
Inisiasi variabel

Pendefinisian fungsi biaya

Penambahan batasan

Minimalisasi dan perolehan solusi optimal

Hasil Penjadwalan Algoritma yang Diajukan



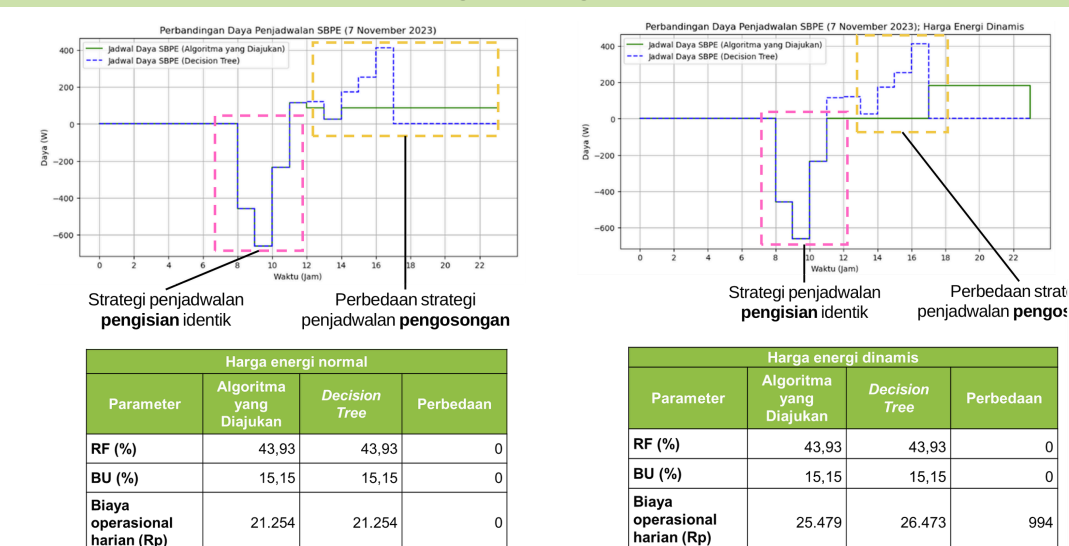
Nilai RF
Kondisi normal
Kondisi harga energi dinamis

Nilai BU
Kondisi normal
Kondisi harga energi dinamis

Biaya operasional harian
Kondisi normal
Kondisi harga energi dinamis

Menahan pengosongan untuk mengurangi ketergantungan pada WBP

Perbandingan dengan Decision Tree



KESIMPULAN

01 | Telah dikembangkan **algoritma Manajemen Energi (ME)** dengan strategi *Model Predictive Control* (MPC) sehingga berhasil **dijadwalkan daya SBPE** dan, implikasinya, **jaringan utilitas** secara optimal.

02 | Algoritma ME menunjukkan **kinerja yang adaptif** terhadap dua kondisi harga yang berbeda, dengan hasil RF dan BU yang konsisten, yakni **43,93%** dan **15,15%**, pada penjadwalan 7 November 2023, namun **jadwal pengosongan yang berbeda**.

03 | Dibanding dengan *decision tree* pada penjadwalan 7 November 2023, algoritma ME dengan strategi MPC menghasilkan **nilai RF dan BU yang sama** pada kedua kondisi, yakni **43,93%** dan **15,15%**, biaya operasional yang sama pada kondisi harga normal, yakni **Rp21.254,00**, namun **menurunkan biaya tersebut sebesar Rp994,00** di kondisi harga dinamis.