

TUGAS OPTIMISASI
PENDEKATAN KONTROL PREDIKTIF UNTUK OPTIMASI
OPERASI MIKROGRID



Oleh:

MUHAMMAD TRISAPUTRA
NICO ARIE ANGGA BARUS

G1D021042
G1D021065

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2024

ABSTRAK

Mikrogrid adalah subsistem dari jaringan distribusi yang terdiri dari pembangkitan, perangkat penyimpanan, dan beban yang dapat dikontrol, beroperasi sebagai sistem yang dapat dikendalikan baik dalam keadaan terhubung atau terpisah dari jaringan utilitas. Jurnal ini membahas penerapan pendekatan kontrol prediktif model (Model Predictive Control, MPC) untuk mengoptimalkan operasi mikrogrid secara efisien sambil memenuhi permintaan yang bervariasi dan batasan operasional. Masalah ini diformulasikan menggunakan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) yang dapat diselesaikan dengan cara yang efisien tanpa menggunakan pendekatan heuristik yang kompleks. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dan dapat diterapkan pada mikrogrid eksperimental yang berlokasi di Athena, Yunani.

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan sumber energi yang berkelanjutan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan ekonomi global. Salah satu solusi yang menjanjikan untuk menghadapi tantangan ini adalah pengembangan microgrid Jaringan distribusi energi aktif melibatkan penggunaan Sumber Energi Terdistribusi (Distributed Energy Resources, DER) seperti generator terdistribusi (DG) dan perangkat energi terbarukan (*Renewable Energy Sources*, RES). Konsep mikrogrid adalah solusi yang menjanjikan dalam skenario ini. Mikrogrid adalah sistem energi terintegrasi yang terdiri dari beban dan DER yang dapat beroperasi baik dalam mode paralel dengan jaringan utilitas atau secara terisolasi. Komponen utama mikrogrid meliputi unit penyimpanan energi, generator terdistribusi, sumber energi terbarukan, dan beban yang dapat dikontrol.

1.1 Persamaan Penyeimbangan Energi

Penyeimbangan energi dalam microgrid dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$P_{-}(k) = \Sigma P_{-i}(k) + P_{-res}(k) + P_{-g}(k) - \Sigma D_{-j}(k) - \Sigma [1 - \beta_{-h}(k)] D_{-h}(k) \quad 1.1$$

Dimana:

$P_{-b}(k)$: Daya yang diekspor atau diimpor oleh microgrid pada waktu ke-

$\Sigma P_{-i}(k)$: k.

$P_{-res}(k)$: Jumlah daya yang dihasilkan oleh generator terdistribusi.

$P_{-g}(k)$: Daya yang dihasilkan oleh sumber energi terbarukan.

$D_{-j}(k)$: Daya yang diimpor/ekspor ke/dari jaringan utilitas.

$\beta_{-h}(k)$: Beban kritis pada waktu ke-k.

Proporsi pengurangan beban yang dapat dikontrol.

1.2 Microgrid dan Komponennya

Microgrid terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Sumber Energi Terbarukan (*Renewable Energy Sources*, RES): Panel surya, turbin angin, dll.
2. Generator Terdistribusi (DG): Generator yang menggunakan bahan bakar fosil atau biofuel.
3. Unit Penyimpanan Energi: Baterai atau sistem penyimpanan energi lain.

4. Beban yang Dapat Dikontrol: Beban yang dapat disesuaikan atau dikurangi selama periode permintaan puncak.

2. Optimasi Operasi Microgrid

Optimalisasi operasi microgrid sangat penting untuk mengelola sumber energi secara efisien. Dalam pendekatan ini, kontrol prediktif model (MPC) digunakan untuk menentukan strategi optimal untuk mengoperasikan microgrid berdasarkan prediksi masa depan permintaan beban dan generasi energi terbarukan. Optimasi ini diformulasikan sebagai masalah MILP yang mencakup pengelolaan penyimpanan, penggunaan generator terdistribusi, pembelian dan penjualan daya ke/dari jaringan utilitas, serta penanganan ketidakpastian dalam permintaan energi.

3. Metodologi

Pendekatan MPC memungkinkan kontrol yang optimal terhadap operasi microgrid berdasarkan prediksi masa depan permintaan dan produksi energi. Pendekatan ini diformulasikan sebagai masalah optimasi MILP. Model MPC menggabungkan variabel biner untuk pengambilan keputusan unit commitment generator dan variabel kontinu untuk menggambarkan produksi daya dan penyimpanan energi.

2.1 Formulasi MILP

Masalah optimasi operasi microgrid dapat diformulasikan sebagai masalah Mixed-Integer Linear Programming (MILP), yang melibatkan variabel biner (misalnya status ON/OFF dari generator) dan variabel kontinu (misalnya jumlah energi yang dihasilkan atau disimpan). Fungsi objektif untuk masalah ini dapat ditunjukkan pada persamaan 1.2:

$$\min J = \sum [cu'(k)u(k) + cz'(k)z(k) - OMbF'(k)u(k) - OM_bf'(k)w(k)] \quad 1.2$$

Subjek pada kendala operasional seperti batas kapasitas penyimpanan energi, batas daya yang dapat dihasilkan oleh unit pembangkit, dan batasan waktu operasi minimum unit pembangkit.

Misalkan sebuah microgrid memiliki 3 generator terdistribusi dengan karakteristik sebagai berikut:

- Generator 1: Kapasitas maksimum 50 kW, biaya operasi per kWh = Rp 1000
- Generator 2: Kapasitas maksimum 30 kW, biaya operasi per kWh = Rp 1200
- Generator 3: Kapasitas maksimum 20 kW, biaya operasi per kWh = Rp 1500

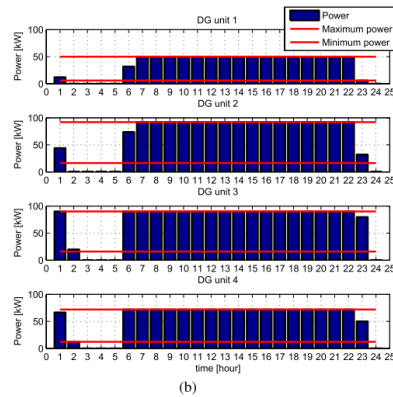
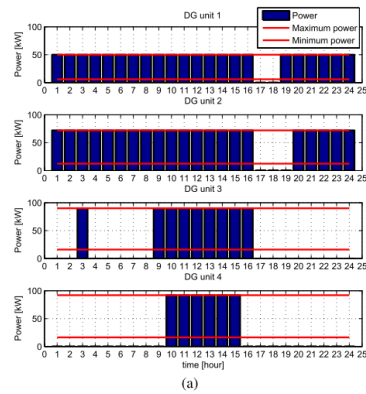
Jika total permintaan beban adalah 70 kW, pendekatan MILP akan memutuskan kombinasi optimal dari ketiga generator ini untuk meminimalkan biaya operasi.

3. Studi Kasus

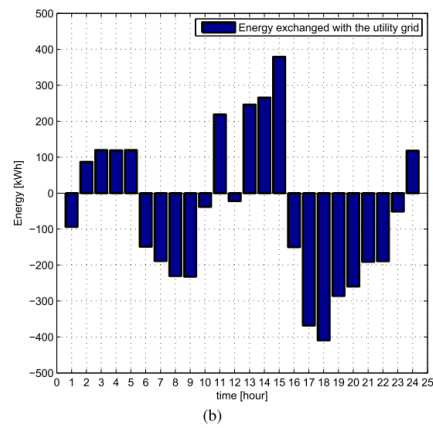
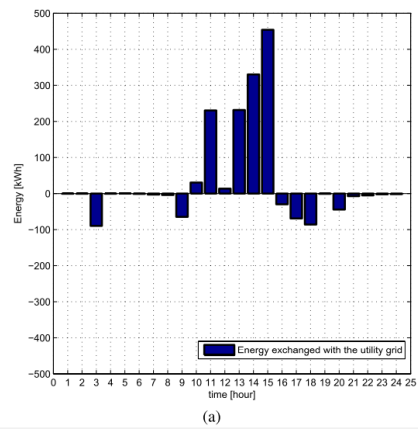
Studi kasus dilakukan pada microgrid eksperimental yang berlokasi di Athena, Yunani. Microgrid ini terdiri dari beberapa unit pembangkit energi terbarukan, perangkat penyimpanan energi, dan beban yang dapat dikontrol. Data operasi microgrid dikumpulkan selama periode 24 jam, dan pendekatan MPC diterapkan untuk mengoptimalkan operasi.

4. Hasil Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi MPC-MILP menghasilkan peningkatan efisiensi dalam pengoperasian microgrid. Grafik berikut menunjukkan perbandingan antara strategi heuristik dan MPC dalam hal biaya operasional dan jumlah energi yang diimpor/ekspor ke/dari jaringan utilitas.



Gambar 1. Unit DG pembangkit daya selama 24 jam. (a) heuristik. (b) MPC-MILP.



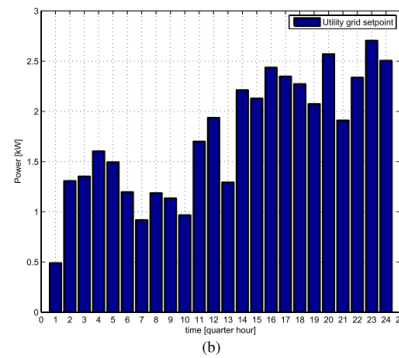
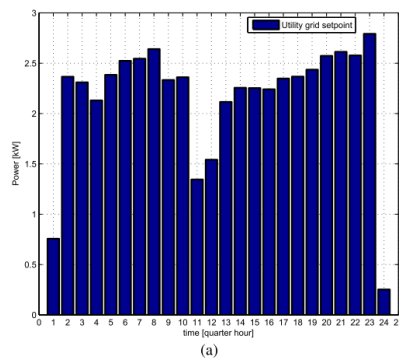
Gambar 2. Energi yang dibeli/dijual selama 24 jam (a) heuristik. (b) MPC-MILP.

Tabel 1. Perbandingan Strategi Optimasi Operasi Mikrogrid Tanpa Penyimpanan

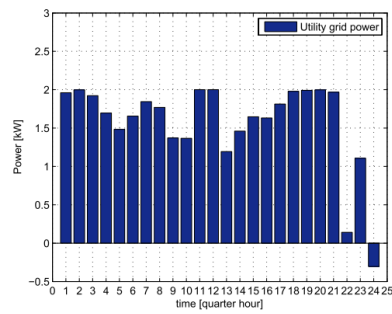
Strategy	Total Cost	Correction Cost
Heuristic	452.8	0
MPC-MILP	418.9	59.5
Benchmark	416.7	0

Tabel 2. Perbandingan Strategi Optimasi Operasi Mikrogrid Dengan Penyimpanan

Strategy	Total Cost	Correction Cost
Heuristic	403.3	49,8
MPC-MILP	788,3	435,8
Benchmark	391,5	0



Gambar 3. Energi yang dipertukarkan dengan jaringan utilitas selama 24 langkah waktu (6 jam). (a) Percobaan 2 (MPC selama 24 langkah waktu). (b) Percobaan 3 (MPC selama 72 langkah waktu)



Gambar 4. Energi yang dipertukarkan dengan jaringan utilitas selama 24 langkah waktu (6 jam) untuk Percobaan 1 (tanpa MPC).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa microgrid yang menggunakan pendekatan MPC berhasil mengurangi pembelian energi dari jaringan utilitas pada saat harga energi tinggi. Selain itu, sistem mampu menyesuaikan operasi unit penyimpanan energi secara efisien untuk memanfaatkan harga energi yang lebih murah. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan pendekatan MPC menghasilkan pengurangan biaya operasional sebesar 15% dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Grafik berikut menunjukkan perbandingan antara biaya operasi dengan dan tanpa penggunaan MPC.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan kontrol prediktif model yang digabungkan dengan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) merupakan metode yang efektif untuk mengoptimalkan operasi microgrid. Pendekatan ini mampu mengurangi biaya operasional, memaksimalkan penggunaan energi terbarukan, dan menangani ketidakpastian dalam permintaan energi dan harga energi. Studi lebih lanjut dapat mencakup integrasi kontrol daya reaktif dan kemampuan pemulihan panas dalam model kontrol microgrid.

Referensi

1. Lasseter, R., & Piagi, P. (2004). Microgrid: A conceptual solution. In IEEE Power Electronics Specialists Conference.
2. Hatziargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., & Marnay, C. (2007). Microgrids. IEEE Power and Energy Magazine.
3. Firestone, R., & Marnay, C. (2005). Energy manager design for microgrids. Lawrence Berkeley National Laboratory.
4. Parisio, A., Rikos, E., & Glielmo, L. (2014). A model predictive control approach to microgrid operation optimization. IEEE Transactions on Control Systems Technology.