

SKRIPSI

OPTIMASI *ECONOMIC DISPATCH* SISTEM HYBRID PLTS + PLTD DI PULAU MARATUA UNTUK MENURUNKAN BIAYA POKOK PENYEDIAAN LISTRIK PEMBANGKIT PLTD



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh,

(HIMAWAN KUNTANTO)

NIM. 2315374074

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Sistem kelistrikan di Pulau Maratua saat ini telah menggunakan konfigurasi pembangkit hybrid yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Meskipun telah terintegrasi, dominasi PLTD dalam operasi harian masih menyebabkan tingginya Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik PLTD akibat konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan strategi economic dispatch sistem hybrid PLTS + PLTD guna menurunkan BPP PLTD melalui tiga skenario beban harian, mengukur dampak pengurangan konsumsi BBM terhadap BPP PLTD, serta memberikan rekomendasi operasional berbasis hasil simulasi.

Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan simulasi optimasi economic dispatch berbasis Mixed-Integer Linear Programming (MILP). Data yang digunakan meliputi profil beban, produksi PLTS, kapasitas ESS, dan parameter teknis PLTD berdasarkan data aktual tahun 2024. Simulasi dilakukan untuk tiga skenario: skenario normal, skenario beban puncak siang (10:00–14:00), dan skenario beban puncak malam (18:00–22:00).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh skenario mampu memanfaatkan produksi PLTS secara penuh tanpa *curtailment*. Skenario normal memberikan penurunan BPP terbesar, dari Rp4.958/kWh menjadi Rp4.895/kWh, melalui pengurangan konsumsi BBM secara optimal. Skenario beban puncak siang menghasilkan penghematan lebih rendah, sementara skenario beban puncak malam menunjukkan peningkatan BPP akibat intensifikasi operasi PLTD di luar jam puncak.

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa strategi operasi skenario normal paling efektif dalam menekan biaya operasional dan BPP PLTD di Pulau Maratua. Rekomendasi untuk penelitian lanjutan mencakup integrasi faktor degradasi baterai, fluktuasi harga BBM, serta pengembangan model *real-time dispatch* untuk validasi implementasi di lapangan.

Kata kunci: Economic Dispatch, PLTS, ESS, PLTD, MILP

ABSTRACT

The electrical system on Maratua Island currently uses a hybrid power plant configuration that combines a solar power plant (PLTS) and a diesel power plant (PLTD). Although integrated, the dominance of PLTD in daily operations still causes high electricity supply costs (BPP) due to fuel consumption.

This study aims to optimize the economic dispatch strategy of the PLTS + PLTD hybrid system to reduce the BPP of the PLTD through three daily load scenarios, measure the impact of fuel consumption reduction on the BPP of the PLTD, and provide operational recommendations based on simulation results. The research method uses a quantitative approach with economic dispatch optimization simulation based on Mixed-Integer Linear Programming (MILP).

The data used includes load profiles, PLTS production, ESS capacity, and technical parameters of the PLTD based on actual data from 2024. The simulation was conducted for three scenarios: normal scenario, daytime peak load scenario (10:00–14:00), and nighttime peak load scenario (18:00–22:00).

The simulation results show that all scenarios were able to fully utilize PLTS production without curtailment. The normal scenario resulted in the largest reduction in BPP, from Rp4,958/kWh to Rp4,895/kWh, through optimal reduction in fuel consumption. The daytime peak load scenario yielded lower savings, while the nighttime peak load scenario showed an increase in BPP due to intensified PLTD operations outside peak hours.

The conclusions of this study indicate that the normal scenario operation strategy is the most effective in reducing operational costs and BPP of the diesel power plant on Maratua Island. Recommendations for further research include integrating battery degradation factors, fuel price fluctuations, and developing a real-time dispatch model for field implementation validation.

Keywords: *Economic Dispatch, PLTS, ESS, PLTD, MILP*

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Landasan Teori	5
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	5
2.2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	10
2.2.3. Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	13
2.2.4. Operasi Sistem	15
2.2.5. <i>Economic Dispatch</i>	17
2.2.6. Biaya Pokok Penyediaan	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2. Desain Penelitian.....	22
3.2.1. Rumusan Masalah	23
3.2.2. Studi literatur.....	23
3.2.3. Pengumpulan Data	23
3.3. Metode Pengumpulan Data	24
3.3.1. Metode Tinjauan Pustaka	24

3.3.2.	Sumber data.....	25
3.3.3.	Jenis data lapangan	25
3.3.4.	Teknik Pengumpulan Data	25
3.4.	Langkah - Langkah Analisis Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1.	Gambaran Umum Sistem Kelistrikan Pulau Maratua.....	27
4.2.	Data Pendukung Simulasi.....	28
4.2.1.	Produksi PLTS Bulanan.....	29
4.2.2.	Energy Storage System (ESS).....	30
4.2.3.	Estimasi Produksi Energi PLTS Jam – Jaman	32
4.2.4.	Profil Beban Jam - jaman.....	32
4.2.5.	Data Operasional PLTD	32
4.3.	Skenario Simulasi Operasi.....	35
4.3.1.	Tujuan Konteks Simulasi	35
4.3.2.	Deskripsi dan Justifikasi Skenario.....	35
4.3.3.	Data Input Simulasi	36
4.3.4.	Alur Simulasi	37
4.4.	Hasil Simulasi	39
4.4.1.	Profil Dispatch	39
4.4.2.	Produksi Pembangkit	42
4.4.3.	Biaya Pokok Penyediaan Listrik PLTD	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1.	Kesimpulan.....	47
5.2.	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Modul Surya.....	6
Gambar 2. 2 Diagram PV (ideal) mesin diesel 4 langkah.....	11
Gambar 2. 3 Gambar Karakteristik pengoperasian system PLTS hybrid PLTD.....	14
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	24
Gambar 4. 1 Grafik produksi Energi PLTS tahun 2024.....	29
Gambar 4. 2 Grafik profil beban.....	32
Gambar 4. 3 (a) Grafik produksi energi, (b) konsumsi BBM dan SFC PLTD	33
Gambar 4. 4 (a) Profil dispatch scenario normal, (b) profil dispatch skenario beban puncak siang, (c) profil dispatch scenario beban puncak malam	40
Gambar 4. 5 Grafik produksi energi pembangkit	43
Gambar 4. 6 Grafik konsumsi dan biaya BBM.....	44
Gambar 4. 7 Grafik BPP	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 2 BPP setiap jenis energi primer	1
Tabel 2. 1 kerja katub mesin diesel pada satu siklus	12
Tabel 2. 2 FO mesin diesel 4 langkah, 4 silinder	13
Tabel 2. 4 Komponen BPP.....	20
Tabel 4. 1 Kapasitas Pembangkit	28
Tabel 4. 2 Produksi energi PLTS tahun 2024.....	29
Tabel 4. 3 Spesifikasi PLTS	30
Tabel 4. 4 Spesifikasi ESS	31
Tabel 4. 5 Tabel Kapasitas PLTD dan konsumsi BBM PLTD	33
Tabel 4. 6 Produksi PLTD	34
Tabel 4. 7 Biaya Operasional PLTD	35
Tabel 4. 8 Deskripsi skenario	36
Tabel 4. 9 Parameter ESS.....	37
Tabel 4. 10 Produksi pembangkit.....	42
Tabel 4. 11 Konsumsi dan biaya BBM	44
Tabel 4. 12 Komponen biaya pokok penyediaan	45
Tabel 4. 13 BPP.....	45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan siaran pers Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 27.Pers/04/SJI/2024 tanggal 15 Januari 2024, Pemerintah menargetkan rasio elektrifikasi penyediaan listrik mencapai 100% pada tahun 2024. Dalam upaya pemenuhan penyediaan energi listrik, saat ini menggunakan sumber energi dari minyak bumi, batu bara, gas bumi dan energi baru terbarukan (EBT). Pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Pemerintah Indonesia menetapkan target bauran energi sebesar 23% pada tahun 2025, namun pada siaran pers Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 25.Pers/04/SJI/2024 tanggal 15 Januari 2024 disampaikan capaian bauran energi primer yang berasal dari energi baru dan terbarukan pada akhir tahun 2023, sebesar 13,1% atau masih kurang 9,9% dari target capaian bauran energi sebesar 23% pada tahun 2025.

Pulau Maratua merupakan salah satu wilayah terpencil di Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki potensi besar untuk pengembangan energi terbarukan, terutama energi surya. Sistem kelistrikan Pulau Maratua saat ini merupakan sistem isolated yang mengandalkan sistem hybrid antara Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Komponen yang paling signifikan dalam perhitungan biaya produksi listrik PLTD adalah bahan bakar minyak (BBM), yang saat ini merupakan energi primer dengan biaya pokok penyediaan (BPP) tertinggi dibandingkan dengan sumber energi primer lainnya[1].

Tabel 1. 1 BPP setiap jenis energi primer

Jenis Energi Primer	BPP (Rp/kWh)
BBM	2.379,20
Gas	1.138,90
Batubara	428,4
Panas Bumi	804,5
Air	24,1

Sebagai wilayah terpencil, kelistrikan Pulau Maratua bersumber dari konfigurasi pembangkit hybrid PLTD dengan kapasitas sebesar 1.360 kW dan PLTS sebesar 300

kWp. Konfigurasi pembangkit hybrid PLTS-PLTD masih sangat bertumpu pada PLTD, sehingga saat ini Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik di sekitaran 4.958 Rp/kWh, masih cukup jauh dari standarisasi sub sistem kecil di Kalimantan yaitu sebesar 2.805,50 Rp/kWh merujuk pada Keputusan Menteri ESDM No. 169.K/HK.02/MEM.M/2021[2].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka ditetapkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang model *economic dispatch* sistem *hybrid* PLTS + PLTD di Pulau Maratua untuk meminimalkan BPP listrik PLTD menggunakan data operasional?
2. Sejauh mana optimasi *dispatch* sistem *hybrid* PLTS + PLTD di Pulau Maratua mampu menurunkan BPP listrik PLTD?
3. Rekomendasi apa yang tepat untuk meningkatkan efisiensi biaya sistem *hybrid* di Pulau Maratua.

1.3. Batasan Masalah

Untuk dapat merealisasikan penulisan skripsi ini, maka pada penulisan skripsi ini pembahasan dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini terbatas pada Sistem pembangkit listrik hybrid PLTS+PLTD di Pulau Maratua, tanpa integrasi pembangkit lain.
2. Data yang digunakan meliputi profil beban, data produksi PLTS, produksi PLTD, kapasitas ESS, dan parameter PLTD, dengan periode analisis satu tahun (8760 jam) dan harga BBM diasumsikan konstan.
3. Metode optimasi menggunakan Mixed-Integer Linear Programming (MILP) dengan tujuan meminimalkan biaya BBM PLTD, pada tiga skenario: normal, beban puncak siang, dan beban puncak malam.
4. ESS dapat *charge* dari PLTS dan PLTD sesuai konfigurasi model, tanpa memperhitungkan degradasi baterai.
5. Tidak mempertimbangkan biaya investasi dan pemeliharaan selain biaya BBM. Efisiensi PLTS dan ESS dianggap konstan sepanjang tahun.
6. Hasil analisis difokuskan pada perbandingan konsumsi BBM, biaya BBM, dan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) antar skenario.

1.4. Tujuan Penelitian

Guna menjawab pertanyaan pada perumusan masalah, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Merancang model *economic dispatch* sistem hybrid PLTS + PLTD di Pulau Maratua dengan memanfaatkan data operasional, guna meminimalkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik dari PLTD.
2. Mengetahui Sejauh mana penurunan BPP PLTD dengan optimasi *dispatch* sistem *hybrid* PLTS + PLTD di Pulau Maratua.
3. Mendapatkan rekomendasi yang tepat untuk meningkatkan efisiensi biaya sistem *hybrid* di Pulau Maratua, berdasarkan hasil simulasi dan analisis *dispatch* yang telah dilakukan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian pada skripsi ini dapat menyediakan hasil *optimasi economic dispatch* melalui perbandingan BPP PLTD hasil simulasi model MILP dengan operasi aktual untuk mengukur seberapa besar pengurangan biaya dapat dicapai sistem kelistrikan hybrid PLTS + PLTD yang saat ini BPP PLTD sebesar Rp 4.958/kWh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan model optimasi *economic dispatch* berbasis *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) untuk simulasi optimasi sistem pembangkit sistem *hybrid* PLTS+PLTD di Pulau Maratua. Hasil simulasi menunjukkan bahwa:

1. Pengoperasian sistem *hybrid* PLTS+PLTD dapat dioptimalkan untuk menurunkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik PLTD melalui penerapan tiga skenario simulasi optimasi, dimana skenario normal memberikan penghematan tertinggi sebesar Rp164.945.761, skenario beban puncak siang menghasilkan penghematan Rp142.719.525, sedangkan skenario beban puncak malam mencatat penghematan Rp135.527.681.
2. Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik PLTD dalam sistem *hybrid* PLTS + PLTD turun yang semula 4,958 Rp/kWh menjadi 4,895 Rp/kWh pada skenario normal, 4,896 Rp/kWh pada skenario beban puncak siang dan 4,897 Rp/kWh pada skenario beban puncak malam.
3. Rekomendasi operasional dari studi ini adalah memaksimalkan suplai PLTS dan ESS pada jam beban siang untuk menekan konsumsi BBM PLTD, serta mempertimbangkan peningkatan kapasitas ESS guna mendukung load shifting ke malam hari. Secara kebijakan, hasil ini dapat menjadi dasar bagi PLN dalam mengadopsi strategi *dispatch* berbasis optimasi untuk efisiensi biaya dan pengurangan ketergantungan pada BBM di wilayah kepulauan.

5.2. Saran

Untuk mengurangi Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik hingga mencapai target sesuai Keputusan Menteri ESDM No. 169.K/HK.02/MEM.M/2021 sebesar 2.805,50 Rp/kWh berikut beberapa saran dari penelitian ini:

1. Melakukan kajian evaluasi terhadap produktifitas PLTS Pulau Maratua untuk meningkatkan produksi energi PLTS.
2. Melakukan kajian penambahan kapasitas PV dan ESS meningkatkan produksi energi PLTS.

3. Melakukan penelitian economic dispatch sistem hybrid PLTS + PLTD maratua dengan penambahan sumber energi terbarukan lain seperti tenaga bayu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN, “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.,” *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [2] Ministerial of Energy and Mineral Resources, “Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2020,” 2021.
- [3] A. Wicaksono, R. Seto Wibowo, I. Made, and Y. Negara, “Optimasi Perencanaan Operasi Pembangkit Listrik Berbasis Mixed Integer Linear Programming (MILP) Pada Sistem Isolated Selayar Optimization Of Power Plant Operation Planning Based On Mixed Integer Linear Programming (MILP) On An Isolated Linear System,” *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, vol. 7, no. 3, pp. 727–737, 2024.
- [4] M. Shadoul, R. Al Abri, H. Yousef, and A. Al Shereiqli, “Designing a Dispatch Engine for Hybrid Renewable Power Stations Using a Mixed-Integer Linear Programming Technique,” *Energies*, vol. 17, no. 13, 2024, doi: 10.3390/en17133281.
- [5] E. Sitorus, “Aplikasi Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga Listrik di Sumatera Utara Sub Sistem Transmisi,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [6] F. Setiadi, F. Teknologi, and D. A. N. Bisnis, “Analisa optimalisasi pengoperasian plts hybrid pltd untuk menurunkan bpp di ulpltd derawan”.
- [7] T. F. Fadel, “Optimalisasi Economic Dispatch Pembangkit Listrik Hybrid Diesel dan Surya Berbasis Prediksi Energi Angin di Pulau Derawan : Studi Kasus Dengan Data Weather Meoblue,” vol. 22007002, no. November, 2024.
- [8] H. B. Tambunan *et al.*, “The challenges and opportunities of renewable energy source (RES) penetration in Indonesia: Case study of Java-Bali power system,” *Energies*, vol. 13, no. 22, pp. 1–22, 2020, doi: 10.3390/en13225903.
- [9] Ministry of Finance, “Kajian Analisis Dampak Insentif Fiskal terhadap investasi dan harga jual listrik dari energi terbarukan,” *Kemenkeu.go.id*, p. 1, 2019.
- [10] P. P. (Persero), “SPLN D3.022-1 Tentang Kriteria Desain Modul Fotovoltaik Sel Kristal dan Thin Film untuk PLTS,” *Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero)*, no. 559, 2012.

- [11] J. Zhang, T. Zhang, P. Cheng, D. Yang, J. Yan, and X. Tian, "Optimal Allocation of Hybrid Energy Storage System Based on Smoothing Wind Power Fluctuation and Improved Scenario Clustering Algorithm," *Processes*, vol. 11, no. 12, 2023, doi: 10.3390/pr11123407.
- [12] N. A. S, A. J. D, P. Sihombing, and A. R. Reserved, "Inspeksi Komisioning & Supervisi Laik Operasi proyek Pembangkit PLTS," 2021.
- [13] M. Oliphant, "SOlar nergy," vol. 83, no. 2, pp. 843010–843010, 2009.
- [14] M. Jeremiah and B. Kabeyi, "Diesel Power plants : Design and Operation and Performance Enhancement Diesel Power plants : Design and Operation and Performance Enhancement," no. February, 2023, doi: 10.46254/EU05.20220425.
- [15] K. A. Subramanian, "Introduction to Internal Combustion Engines," *Biofueled Reciprocating Internal Combustion Engines*, pp. 61–102, 2018, doi: 10.4324/9781315116785-4.
- [16] R. Hughes, *Hughes Elec Trical and Elec Tronic Technology*, vol. 53, no. 9. 2012.
- [17] R. Srivastava, S. Kautish, and R. Tiwari, *Green Information and Communication Systems for a Sustainable Future*, no. October. 2020. doi: 10.1201/9781003032458.
- [18] T. J. O. J. Duncan Glover, Malukutla S.Sarma, *Power System Analysis and Design*, vol. 11, no. 1. 2019.
- [19] R. A. Abttan, A. H. Tawafan, and S. J. Ismael, "Economic dispatch by optimization techniques," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 2228–2241, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i3.pp2228-2241.
- [20] B. H. Chowdhury and S. Rahman, "A review of recent advances in economic dispatch," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1248–1259, 1990, doi: 10.1109/59.99376.
- [21] J. Pearson, T. Wagner, J. Delorit, and S. Schuldt, "Meeting temporary facility energy demand with climate-optimized off-grid energy systems," *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 203–211, 2020, doi: 10.1109/OAJPE.2020.2998982.