

Optimization of Power Generation Unit Scheduling

Optimasi Penjadwalan Unit Pembangkit Listrik

Christmas Najoan, Glanny Mangindaan, Novi Tulung

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St.. 95115. Indonesia

e-mails : christmasnajoan023@student.unsrat.ac.id glanny_m@unsrat.ac.id,
novi.tulung@unsrat.ac.id

Received: [date]: revised: [date]: accented: [date]

Abstract — Economic dispatch is a generation method that serves to minimize generation costs and determine the amount of power that must be supplied to each generator unit. The traditional method, known as lambda iteration, is used to calculate economic dispatch manually by taking the lambda price first and iterating until the amount of output becomes equal to the system load requirement. The purpose of this study was to schedule and calculate the optimal power delivery of each unit of Lahendong PLTP at a load allotment of 50.7 MW. To get cheaper generation costs optimal rescheduling on December 3, 2022, the results of allotment of unit 4 of 20 MW, unit 3 of 20 MW, the rest is borne by unit 2 of 10.7 MW with Generation Costs of Ct=66,375,958.89 Rp/h. From the results obtained, unit 4 is operated first, followed by unit 3 and then unit 2, this is done because the cost of generating unit 4 is the cheapest and the most expensive cost is unit 2.

Key words— Economic Dispatch, Lambda Iteration, Optimal, Generation Costs.

Abstrak — *Economic dispatch* adalah metode pembangkitan yang berfungsi untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan menentukan jumlah daya yang harus disuplai ke tiap unit generator. Metode tradisional yang dikenal sebagai iterasi lambda ini digunakan untuk menghitung *economic dispatch* secara manual dengan mengambil harga lambda terlebih dahulu dan melakukan iterasi sampai jumlah output menjadi sama dengan kebutuhan beban sistem. Tujuan penelitian ini untuk melakukan penjadwalan dan menghitung pengiriman daya optimal dari setiap unit PLTP Lahendong pada penjatahan beban 50,7 MW. Untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang lebih murah Penjadwalan ulang optimal pada tanggal 3 desember 2022 didapatkan hasil penjatahan unit 4 sebesar 20 MW, unit 3 sebesar 20 MW, sisanya ditanggung oleh unit 2 sebesar 10,7 MW dengan Biaya pembangkitan sebesar Ct= 66,375,958.89 Rp/h. Dari hasil yang diperoleh, unit 4 dioperasikan terlebih dahulu, diikuti unit 3 dan selanjutnya unit 2, hal tersebut dilakukan karena biaya pembangkitan unit 4 paling murah dan biaya paling mahal adalah unit 2.

Kata kunci — Biaya Pembangkitan, Economic Dispatch, Iterasi Lamda, Optimal.

I. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan modern, listrik merupakan salah satu sumber energi terpenting. Hampir semua peralatan yang dekat dengan kehidupan manusia berkaitan erat dengan listrik [1], [2]. Maka dari itu energi listrik harus dapat tersedia secara terus-menerus dengan tingkat konsistensi dan kualitas yang tinggi.

Perencanaan, pengontrolan, dan pengoperasian sistem tenaga listrik menimbulkan masalah teknis dan ekonomis, beban

sistem yang dinamis adalah salah satu masalahnya [3][5].

Pengaturan pembangkitan dilakukan untuk menguangi biaya pembangkitan dimana ini adalah bagian dari *Economic Dispatch*[6].

Selain itu, *Economic dispatch* adalah proses menentukan jumlah daya yang harus disuplai oleh setiap unit pembangkit dengan biaya total pembangkitan yang paling rendah. Pembahagian beban pada unit-unit pembangkit pada sistem dilakukan secara ekonomis dan optimal dengan mempertimbangkan batas-batas operasional unit pembangkit [4], [7], [8].

Masalah operasi ekonomis pada pembangkitan dapat kita minimalisir juga dengan *Unit Commitment* salah satu metodenya adalah *Priority list* dimana dalam penjadwalan pembangkit dengan memprioritaskan biaya pembangkitan paling murah[9], [10].

Metode iterasi Lamda, telah banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan ekonomis pembangkit, juga merupakan pendekatan konvensional yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan ekonomis[3], [10]

A. Penelitian Terkait

Menurut Septian Riswandi, dkk (2021) Pengontrolan terus menerus pusat pembangkit dalam jangka waktu tertentu dapat membantu unit pembangkit beroperasi dengan cara yang paling efisien dan menghasilkan biaya yang paling rendah[3].

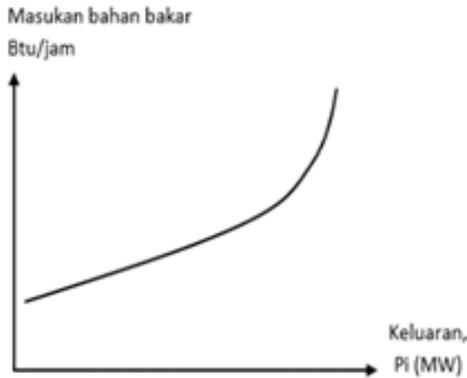
Menurut Sony Gunawan, dkk (2014) Karakteristik input-output unit pembangkit adalah salah satu faktor yang berpengaruh dalam masalah pembangkitan yang ekonomis. Dimana biaya bahan bakar memiliki presentase 80% dari biaya operasi pembangkitan tenaga listrik. [11].

B. Operasi Ekonomis Pembangkit Termal

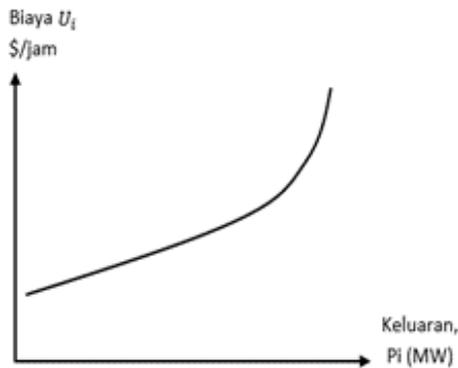
Operasi ekonomis pembangkit thermal adalah penjadwalan pembagian beban sistem ke masing-masing pusat pembangkit sedemikian rupa sehingga biaya pengoperasian seminimal mungkin. Pengontrolan secara terus-menerus seluruh pusat pembangkit dalam suatu sistem dan juga memastikan bahwa pembangkitan dilakukan dengan cara yang paling ekonomis.[12].

C. Biaya Operasi Pembangkit Termal

Beroperasinya generator yang efisien, biaya bahan bakar, dan rugi daya pada saluran transmisi adalah beberapa faktor yang mempengaruhi pengiriman daya nyata yang optimal pada pembangkit[13]. Kurva masukan dan keluaran diwakili sebagai kurva laju panas bentuk sederhana seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 1. Kurva Laju Panas



Gambar 2. Kurva Biaya Bahan Bakar

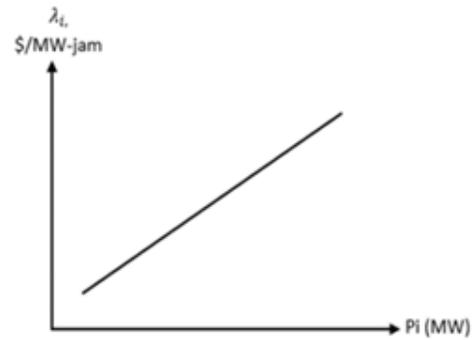
Kurva biaya bahan bakar akan dihasilkan jika kurva Btu/jam terhadap MW diubah menjadi \$/jam terhadap MW, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan 2, biaya bahan bakar yang diperlukan untuk generator dapat digambarkan sebagai fungsi kuadrat berikut:

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

Turunan dari persamaan (1) adalah kurva biaya tambahan bahan bakar dan gambar kurvanya seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan 2. Turunan dari persamaan (1) adalah sebagai berikut:

$$\frac{dC_i}{dP_i} = 2\gamma_i P_i + \beta_i \quad (2)$$

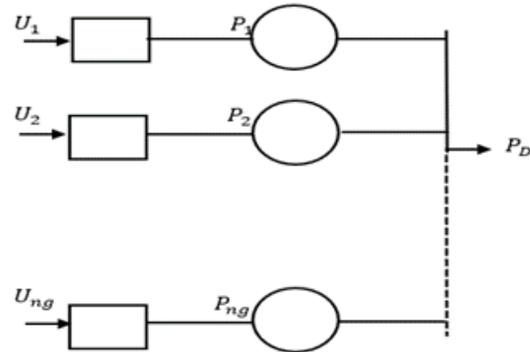
Kurva biaya bahan bakar menunjukkan seberapa besar biaya yang dikeluarkan akan menghasilkan tambahan daya selanjutnya. Biaya operasi mencakup bahan bakar, tenaga kerja, persediaan bahan dan peralatan, serta perawatan dan pemeliharaan.



Gambar 3. Tipikal Kurva Biaya Bahan Bakar

D. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-Rugi Daya

Ketika rugi – rugi daya pada saluran transmisi diabaikan, maka Fungsi U_i dianggap dari masing-masing stasiun pembangkit dan jumlah permintaan beban P_D sama dengan jumlah daya dari semua pembangkit[10], [13].



Gambar 4. N pembangkit yang melayani beban P_D

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung biaya produksi total di masing-masing stasiun pembangkit:

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D \quad (3)$$

untuk pengiriman biaya produksi dari pembangkit ke- i yang optimum adalah:

$$\beta_i + 2\gamma_i P_i = \lambda \quad (4)$$

Dari persamaan (4), untuk menentukan harga P_i , adalah:

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (5)$$

Persamaan koordinat fungsi dari λ adalah hubungan yang diberikan dari persamaan (5). Persamaan (5) dapat diselesaikan secara iterasi. Harga lamda didapat dengan mensubstitusikan harga P_i pada persamaan (5) ke persamaan (3) dan hasilnya sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{ng} \beta_i}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (4)$$

E. Pengiriman Daya Optimal Dengan Mengabaikan Rugi-Rugi Daya dan Memperhitungkan Batas-Batas Generator
 Keluaran daya generator seharusnya tidak melebihi kebutuhan operasi untuk menjaga stabilitas sistem, sehingga dayanya terbatas pada batas minimum dan maksimum yang telah ditetapkan[13].

$$P_{i(min)} \leq P_i \leq P_{i(maks)}$$

Dengan $P_{i(min)}$ dan $P_{i(maks)}$ adalah daya nyata minimum dan maksimum dari stasiun pembangkit ke i .

F. Iterasi Lamda

Salah satu pendekatan *economic dispatch* adalah iterasi lamda. Pada metode ini lamda λ Metode ini memulai dengan mengassumsikan lamda terlebih dahulu dan melakukan iterasi sampai jumlah output sama dengan kebutuhan beban sistem. [10], [14], [15].

II. DATA TEKNIS ULPLTP LAHENDONG

A. Hubungan Daya Keluaran dengan Heat Rate

Hubungan daya keluaran dengan *heat rate* dari pembangkit unit 2,3 dan 4 ULPLTP Lahendong dapat dilihat pada Tabel 1,2 dan 3

B. Data Pola Operasi

Data pola operasi harian generator ULPLTP Lahendong yang diambil tanggal 3 desember 2022 dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 1.
 DATA KELUARAN DENGAN HEAT RATE UNIT 2

MW	kJ/kWh
15,1	29.947
17	29.935
18,2	29.916
20	29.916

(Sumber : PT. PLN (PERSERO) ULPLTP Lahendong Unit 2,3 dan 4)

TABEL 2.
 DATA KELUARAN DENGAN HEAT RATE UNIT 3

MW	kJ/kWh
17	22.016
18	21.735
19	21.776
20	21.543

(Sumber : PT. PLN (PERSERO) ULPLTP Lahendong Unit 2,3 dan 4)

TABEL 3.
 DATA KELUARAN DENGAN HEAT RATE UNIT 4

MW	kJ/kWh
15	19.595
16	19.318
18	19.585
20	19.575

(Sumber : PT. PLN (PERSERO) ULPLTP Lahendong Unit 2,3 dan 4)

TABEL 4.
 POLA OPERASI PLN TANGGAL 3 DESEMBER 2022

Jam	Unit 2	Unit 3	Unit 4
00:00	20	15,2	18,5
00:01	20	15,2	18,5
00:02	20	15,2	18,5
00:04	20	15,2	18,5
00:05	20	15,2	18,5
00:06	20	15,2	18,5
00:07	20	15,2	18,5
00:08	20	15,2	18,5
00:09	20	15,2	18,5
00:10	20	15,2	18,5
00:11	20	15,2	18,5
00:12	20	15,2	18,5
00:13	20	15,2	18,5
00:14	20	15,2	18,5
00:15	20	15,2	18,5
00:16	20	15,2	18,5
00:17	20	15,2	18,5
00:18	20	15,2	18,5
00:19	20	15,2	18,5
00:20	20	15,2	18,5
00:21	20	15,2	18,5
00:22	20	15,2	18,5
00:23	20	15,2	18,5
00:24	20	15,2	18,5

(Sumber : PT. PLN (PERSERO) ULPLTP Lahendong Unit 2,3 dan 4)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menentukan Nilai α, β, γ

Langkah awal untuk menentukan operasi optimal pada ketiga PLTP Lahendong kita perlu menentukan karakteristik input-output pembangkit. Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*)[16]. Tabel 5 merupakan tabel karakteristik persamaan biaya bahan bakar PLTP Lahendong dalam satuan MJ/h. Kemudian Tabel 6 merupakan hasil konversi dengan memperhatikan harga beli uap per kWh maka diperoleh persamaan biaya uap dalam satuan Rp/h.

B. Urutan Prioritas

Cara mengetahui biaya pembangkitan oaling murah yaitu dengan mengalihkan persamaan biaya uap dengan daya maksimalnya[9].

C. Penggunaan Iterasi Lamda dalam Penjadwalan Unit Pembangkit

Penjadwalan dilakukan selama 24 jam (1 hari), yaitu untuk sampel tanggal 3 desember 2022. Pada hari itu nilai keluaran pembangkitan konstan yaitu 50,7 MW.

- Berikut perhitungan iterasi lamda unit 2,3 dan 4 dengan $P_D = 50,7$ MW. Menurut urutan prioritas biaya pembangkitan termurah adalah unit 4 kemudian unit 3 dan urutan prioritas akhir adalah unit 2.
- Dengan batas generator ketiga unit:

$$1,6 \leq P_1 \leq 20$$

$$1,6 \leq P_2 \leq 20$$

$$1,6 \leq P_3 \leq 20$$
- Pembagian pembebanan dengan iterasi lamda, menemukan harga estimasi awal lamda dengan menggunakan persamaan (4)

$$\lambda = \frac{50,7 \frac{668.771,33}{2(12.744,66)} + \frac{993.777,73}{2(2.209,48)} + \frac{1.430.512,07}{2(7.189,68)}}{\frac{1}{2(2.209,47)} + \frac{1}{2(7.189,67)} + \frac{1}{2(12.651,23)}}$$

$$\lambda = 1.197.678 \text{ Rp/MWh}$$

Dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan penjatahan optimal tiap unit adalah:

$$P_3 \frac{1.197.678 - 668.771}{25.489} = \frac{528.906}{25.489} = 20,75 \text{ MW}$$

$$P_2 \frac{1.197.678 - 993.778}{4.419} = \frac{203.900}{4.419} = 46,14 \text{ MW}$$

$$P_1 \frac{1.197.678 - 1.430.512}{14.379} = \frac{-232.834}{14.379} = -16,19 \text{ MW}$$

$$\Delta P = 50,7 - (20,75 + 46,14 - 16,19)$$

$$= 0$$

Karena ΔP telah dicapai dalam satu kali iterasi, akan tetapi P_3 dan P_2 telah melampaui batas maksimalnya, maka pada unit 4 dan 3 diset dengan daya maksimalnya $P_3 = 20 \text{ MW}$ dan $P_2 = 20 \text{ MW}$. Harga ini dijaga konstan. Maka ΔP menjadi:

$$\Delta P = 50,7 - (20+20-16,19)$$

$$= 26,9$$

$$\Delta \lambda = \frac{26,77}{\frac{1}{2(7.153,68)}} = \frac{26,77}{0,00006954}$$

$$= 382.959,94$$

Maka nilai $\lambda^{(2)} = 1.193.472,27 + 382.959,94 = 1.584.371,15$ Rp/MWh

iterasi selanjutnya adalah:

$$P_3 = 20 \text{ MW}$$

$$P_2 = 20 \text{ MW}$$

$$P_1 = \frac{1.576.431,21 - 1423.343,18}{2(7.153,64)} = 10,7 \text{ MW}$$

Dengan biaya bahan bakar didapat dari persamaan (1) seperti berikut:

$$C_t = 3.510.096,06 + 668.771,33(20)_1 + 12.744,66(20)_1^2$$

$$+ 3.371/923,87 + 993,777,73(20)_2 + 2.209,46(20)_2^2$$

$$+ 2.078.952,91 + 1.430.512,07(10,7)_2 + 7.189,68(10,7)_2^2$$

$$C_t = 66.375.957,89 \text{ Rp/h}$$

Hasil penjadwalan ulang pembangkitan selama 24 jam dapat dilihat pada tabel 7. Dari hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan pola operasi PLN pada tabel 4. Dan tabel pola penjatahan daya optimal PLTP unit 2,3 dan 4 dengan variasi beban 5 MW sampai 60 MW bisa dilihat pada tabel 8.

Tabel 5.
KARAKTERISTIK PERSAMAAN BIAYA
BAHAN BAKAR MJ/h

Pembangkit Unit	Karakteristik Persamaan biaya bahan bakar MJ/h
Unit 2	$C_1 = 37.135,21 + 25.552,46P_2 + 128,42P_2^2$
Unit 3	$C_2 = 60.281,70 + 17.776,3P_1 + 39,5P_1^2$
Unit 4	$C_3 = 62.590,25 + 11.925,19P_3 + 128,42P_3^2$

TABEL 6.
KARAKTERISTIK PERSAMAAN BIAYA
BAHAN BAKAR Rp/h

Pembangkit Unit	Karakteristik Persamaan biaya bahan bakar Rp/h
Unit 2	$C_1 = 3.371.923,87 + 993,777,73P_2 + 2.209,46P_2^2$
Unit 3	$C_2 = 2.078.952,91 + 1.430.512,07P_1 + 7.189,68P_1^2$
Unit 4	$C_3 = 3.510.096,06 + 668.771,33P_2 + 12.744,66P_2^2$

TABEL 7.

HASIL PENJADWALAN KEMBALI TANGGAL 3 DESEMBER 2022

Jam	Unit 2 (MW)	Unit 3 (MW)	Unit 4 (MW)
00:00	10,7	20	20
00:01	10,7	20	20
00:02	10,7	20	20
00:04	10,7	20	20
00:05	10,7	20	20
00:06	10,7	20	20
00:07	10,7	20	20
00:08	10,7	20	20
00:09	10,7	20	20
00:10	10,7	20	20
00:11	10,7	20	20
00:12	10,7	20	20
00:13	10,7	20	20
00:14	10,7	20	20
00:15	10,7	20	20
00:16	10,7	20	20
00:17	10,7	20	20
00:18	10,7	20	20
00:19	10,7	20	20
00:20	10,7	20	20
00:21	10,7	20	20
00:22	10,7	20	20
00:23	10,7	20	20
00:24	10,7	20	20

TABEL 8.

PENJATAHAN DAYA OPTIMAL DENGAN VARIASI BEBAN

Penjatahan Daya (MW)	Unit 2 (MW)	Unit 3 (MW)	Unit 4 (MW)
5	1,6	1,6	1,8
6	1,6	1,6	2,8
7	1,6	1,6	3,8
8	1,6	1,6	4,8
9	1,6	1,6	5,8
10	1,6	1,6	6,8
11	1,6	1,6	7,8
12	1,6	1,6	8,8
13	1,6	1,6	9,8
14	1,6	1,6	10,8
15	1,6	1,6	11,8
16	1,6	1,6	12,8
17	1,6	1,6	13,8
18	1,6	1,6	14,8
19	1,6	1,6	15,8
20	1,6	1,6	16,8
21	1,6	1,6	17,8
22	1,6	1,6	18,8
23	1,6	1,6	19,8
24	1,6	2,4	20
25	1,6	3,3	20
26	1,6	4,4	20
27	1,6	5,4	20
28	1,6	6,4	20
29	1,6	7,4	20
30	1,6	8,4	20
31	1,6	9,4	20
32	1,6	10,4	20
33	1,6	11,4	20
34	1,6	12,4	20
35	1,6	13,4	20
36	1,6	14,4	20
37	1,6	15,4	20
38	1,6	16,4	20
39	1,6	17,4	20
40	1,6	18,4	20
41	1,6	19,4	20
42	2	20	20
43	3	20	20
44	4	20	20
45	5	20	20
46	6	20	20
47	7	20	20
48	8	20	20
49	9	20	20
50	10	20	20
51	11	20	20
52	12	20	20
53	13	20	20
54	14	20	20
55	15	20	20
56	16	20	20
57	17	20	20

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode iterasi lamda pada perhitungan penjadwalan pembangkit tanggal 3 desember 2022, PLTP Lahendong unit 4 adalah unit termurah biaya pembangkitannya, berbanding terbalik dengan unit 2 yang biaya pembangkitannya paling mahal.

Perbandingan pola operasi PLN saat memenuhi permintaan beban untuk total daya konstan 50,7 MW pada tanggal 3 desember 2022 dapat dilakukan penghematan Rp. 1.379.448,33

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kiranya menjadi referensi pada penulis selanjutnya, mengingat dalam karya tulis ini difokuskan pada biaya bahan bakar maka peneliti selanjutnya dapat menghitung faktor-faktor lain seperti biaya tenaga kerja, pemeliharaan dan biaya pemakaian sendiri.

V. KUTIPAN

- [1] M. H. Fathorodin and F. N. Budiman, "ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM IEEE 24 BUS MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIKA".
- [2] F. Himmah, "PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA PADA MASALAH PENJADWALAN OPERASI SISTEM PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK," Dec. 2013, Accessed: Sep. 06, 2023. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/6271>
- [3] S. Riswandi, R. S. Lubis, and M. Syukri, "Operasi Ekonomis pada Sistem Pembangkit Thermal Sumatera Barat dengan Menggunakan Metode Iterasi Lambda," *J. Komput. Inf. Teknol. Dan Elektro*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [4] Y. A. D. Wijaya, B. Winardi, and A. Nugroho, "OPTIMISASI PENJADWALAN EKONOMIS PADA UNIT PEMBANGKIT PLTG DI PLTGU PT INDONESIA POWER TAMBAK LOROK MENGGUNAKAN METODE IMPROVED WHALE OPTIMIZATION ALGORITHM," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 285–291, 2017.
- [5] A. Wahyu, "Optimasi Pembagian Beban Pada Sektor Pembangkitan Pekanbaru PLTD/G Teluk Lembu Pada BUS 20 KV Dengan Metode Newton," PhD Thesis, Riau University, 2016.
- [6] S. Syafii and K. I. Putri, "Analisa Operasi Ekonomis Pembangkit Termal untuk Melayani Beban Puncak Sistem Kelistrikan Sumbar," *J. Nas. Tek. Elektro*, pp. 1–7, 2018.
- [7] D. L. Akbar, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Dynamic Economic Dispatch dengan Mempertimbangkan Kerugian Transmisi Menggunakan Metode Sequential Quadratic Program," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B283–B288, 2016.
- [8] W. F. Galla, N. Nursalim, and E. Mauboy, "Penjadwalan Optimum Pembangkit Thermal Menggunakan Metode Iterasi Lambda Studi Kasus

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Bolok," *J. Media Elektro*, pp. 138–144, 2019.

- [9] M. Arindra, R. S. Wibowo, and D. C. Riawan, "Unit Commitment Pada Sistem Pembangkitan Tenaga Angin Untuk Mengurangi Emis Menggunakan Particle Swarm Optimization," *J. Tek. ITS SINTA 4 11815*, vol. 5, no. 2, pp. B223–B228, 2016.
- [10] A. J. Wood, *Power generation, operation and control*, 2nd ed. New York: Wiley, c1996, 1996.
- [11] S. Gunawan and Y. Mulyadi, "OPTIMASI PENJADWALAN PEMBANGKIT TERMAL SISTEM 500 KV JAWA–BALI BERBASIS KOMPUTASI CERDAS," *electrans*, vol. 13, no. 1, pp. 77–88, 2014.
- [12] A. S. Prabawati and W. Wahdani, "Optimasi Economic Dispatch Pembangkit Thermal pada Sistem Kelistrikan Sulselrabar Menggunakan Lagrange Multiplier dan Particle Swarm Optimization," PhD Thesis, Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2019.
- [13] H. Saadat, *Power System Analysis*. WCB/McGraw-Hill, 1999.
- [14] E. K. Bawan and S. Ismail, "Optimasi Penjadwalan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Sanggeng Manokwari dengan Metode Iterasi Lamda," *ReTHI*, 2018.
- [15] F. FAHAMASYAH, "Economic Dispatch Pada Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Iterasi Lambda Menggunakan Software MATLAB," PhD Thesis, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2020.
- [16] R. Anggraeni, D. K. Setiawan, and T. Hardianto, "Analisis Karakteristik Input-Output dan Optimasi Biaya Pembangkitan Menggunakan Metode Quadratic Least Square Regression dan Metode Dynamic Genetic Algorithm," *Berk. SAINSTEK*, vol. 5, no. 2, pp. 124–128, 2017.



Christmas I.Y. Najoa. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara, lahir di Kiawa, Sulawesi Utara pada tanggal 25 Desember 2001. Penulis menempuh pendidikan pertama di sekolah Taman Kanak-kanak 174 GMIM Zaitun Kiawa pada tahun 2006 sampai 2007, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar GMIM 1 Kiawa pada tahun 2007 sampai 2013, setelah itu masuk ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Kawangkoan pada tahun 2013 sampai 2016, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Kawangkoan pada tahun 2016 hingga lulus di tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil Konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Dalam menempuh pendidikan penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Jago Elfah Anugerah pada bulan Juni-Agustus 2022. Selama perkuliahan penulis tergabung dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro.