



ANALISIS PERFORMASI OPERASI PEMBANGKIT TENAGA UAP

Thriskadewi Umi Rasyda^{1,2)}, A.N. Afandi^{1,2,3)}, Yuni Rahmawati^{1,3)}

¹⁾ Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Malang

²⁾ SPAES Research Center, Universitas Negeri Malang, Malang

³⁾ Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang, Malang

Email : an.afandi@um.ac.id

Dikimkan: 11 Oktober, 2023

Diterima: 20 Januari, 2024

Abstrak

Secara operasional salah satu komponen utama suatu sistem tenaga listrik adalah pembangkit, dimana pembangkit ini dapat berupa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berdasarkan prinsip konversi melalui proses termal atau tipe pembangkit lainnya. Secara prinsip, PLTU mengandalkan energi kinetik uap untuk menghasilkan listrik yang akan dialirkan ke beban. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja PLTU dalam penyediaan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin dan energi panas melalui pendekatan yang dipilih menggunakan model yang didukung oleh data teknis sebagai bahan spesifikasi sistem pembangkit. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa PLTU yang diintegrasikan pada sistem 16,5 kV dengan pendekatan model standar IEEE-9 bus dan dioperasikan secara hibrida melalui kombinasi dengan pembangkit listrik energi angin dan pembangkit listrik energi matahari, dapat bekerja dengan baik. Selain itu, diketahui bahwa PLTU memiliki *opportunity* untuk merespon variasi beban yang baik. Secara operasional sistem memiliki performa yang cukup baik dengan kondisi *voltage bus* yang bagus, walaupun ada pembangkit yang masih mengalami *overload* dalam suplai daya.

Kata Kunci: Generator, Pembangkit, Performasi, PLTU, Tenaga Listrik

Abstract

Operationally, one of the main components of an electric power system is a generator, where this generator can be a Steam Power Plant (SPP) which is based on the principle of conversion through a thermal process or other types of generator. In principle, SPP relies on the kinetic energy of steam to produce electricity which will be supplied to the load. This study aims to determine the performance of SPP in providing electrical energy produced by turbines and thermal energy through a chosen approach using a model supported by technical data as material for generating system specifications. The evaluation results show that the SPP which is integrated into the system using the standard IEEE-9 bus model approach and operated in a hybrid manner through a combination with wind energy power plants and solar energy power plants, can work well. Apart from that, it is known that SPP has the opportunity to respond well to load variations. Operationally, the system has quite good performance with good bus voltage conditions, although there are generators that still experience overload in the power supply.

Keywords: Generator, Generation, Performance, PLTU, Electric Power

PENDAHULUAN

Sebagaimana diketahui bahwa sistem tenaga listrik dihubungkan melalui jaringan yang Dari segi struktur, maka sistem tenaga listrik dibangun oleh sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sedang dari segi pembangkitan, maka dikenal berbagai macam pembangkit yang didasarkan pada energy primernya untuk menamainya. Oleh karena itu, merujuk pada pemanfaatan energi primernya, maka pembangkit ini bersumber dari fosil dan non fosil, termasuk didalamnya menggunakan uap sebagai bahan utama penggerak komponen mekaniknya [3], [4]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu pusat pembangkit yang umumnya memiliki kapasitas besar dan memberikan respon baik bagi perubahan dan pertumbuhan beban atau kebutuhan daya listrik selama sistem beroperasi 24 jam 7 hari. Oleh karena itu, PLTU menjadi penyedia energi yang banyak digunakan dan merupakan alternatif untuk memenuhi kebutuhan manuver dalam proses pengelolaan transaksi energi listrik [5], [6]. Selain itu, operasi system tenaga juga memerlukan kondisi integrasi pembangkit secara hibrida, dengan melibatkan basis produksi energy listrik lainnya. Hal ini juga dimaksudkan untuk meningkatkan daya dukung ketersediaan listrik dari beragam pembangkit yang bias beroperasi secara langsung untuk memenuhi permintaan daya beban.

Secara teknis, PLTU untuk mendukung proses konversi energi memerlukan interaksi berbagai komponen mekanis, termis, dan elektris, dimana interaksi ini menggunakan berbagai macam bahan bakar, terutama batu bara dan minyak bakar sering digunakan untuk mengkondisikan boiler agar dapat melakukan proses penguapan bagi fluida yang ada didalamnya [7]–[9]. Mengingat respon yang baik dan penyediaan daya yang *relative* cepat, maka PLTU dapat dioperasikan sepanjang waktu, dengan suplai bahan bakar yang cukup untuk pembangkitan daya listrik selama

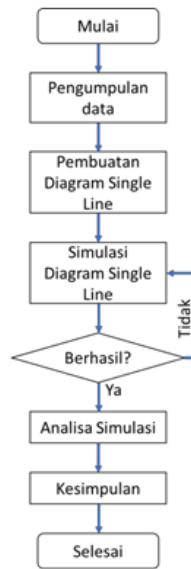
terinterkoneksi satu dengan lainnya, serta menggunakan layanan tegangan yang berbeda-beda, maka untuk mendukung itu salah satu bagiannya adalah pembangkit listrik [1], [2] beroperasi. Namun demikian, dari aspek pengadaan bahan bakar, PLTU juga termasuk mahal dalam beroperasi, hal ini dikarenakan sangat tergantung pada biaya bahan bakarnya yang masih tergolong mahal. Walaupun demikian, PLTU memiliki investasi awal pembangunan yang relatif murah, sehingga dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik daerah terisolir, dengan pasokan bahan bakar yang cukup [10].

Selanjutnya, mengingat biaya produksi yang *relative* mahal, maka energi listrik harus dimanfaatkan dengan efisien, serta membutuhkan optimasi dalam rangka peningkatan efisiensi kinerja PLTU juga menjadi penting, serta menuntut dievaluasi secara regular. Oleh karena itu, kajian ini merupakan bagian dari evaluasi performansi PLTU yang terintegrasi dalam sistem tenaga listrik. Sehingga diharapkan dapat diketahui performansi pembangkit listrik dalam penyediaan daya.

METODE

Untuk melakukan kajian terkait dengan analisis performansi operasi PLTU, maka metode yang dipakai dengan simulasi program, serta menggunakan metode aliran daya Newton Raphson yang ini memiliki keunggulan dalam perhitungan matematis daripada metode yang lainnya [11], [12]. Selain itu, pendekatan ini juga cocok untuk sistem tenaga listrik yang besar dengan sebaran koneksi rel daya yang beragam lokasinya, serta interkoneksi yang dibangun. Secara teknis, metode Newton-Raphson juga lebih efisien dan praktis, karena hasil yang didapat lebih akurat dibandingkan dengan metode lainnya [13], [14]. Dari segi proses analisis, maka Gambar 1 mendeskripsikan diagram alir proses secara keseluruhan dalam

kaitannya dengan studi performasi PLTU yang terintegrasi dalam sistem tenaga.

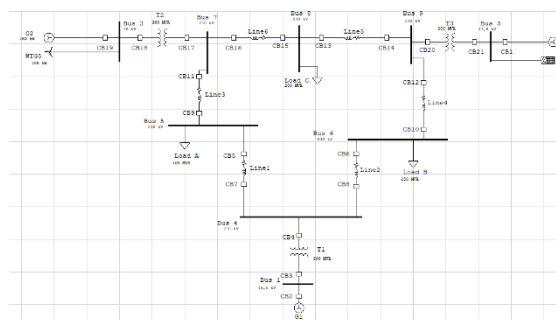


Gambar 1. Diagram alir proses analisis

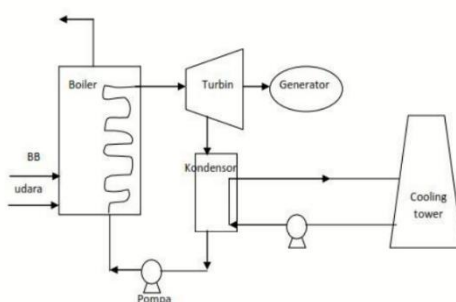
Selanjutnya, sistem kelistrikan sering beroperasi sangat dekat dengan batas operasi amannya karena meningkatnya permintaan akan listrik dan rumitnya menghubungkan, serta mengendalikan beberapa unit yang terintegrasi ke sistem secara bersamaan [11], [15]. Maka, untuk menjaga sistem kelistrikan dalam kondisi kerja yang aman dilakukan pengelolaan sistem kontrol preventif atau korektif. Namun demikian, kondisi ini menyebabkan unit generator yang terhubung ke sistem interkoneksi harus beroperasi di sekitar batas operasi yang aman dan beresiko menyebabkan ketidakstabilan jika terjadi gangguan. Oleh karena itu, semua yang terkoneksi ke sistem harus bisa dikelola

dengan baik diberbagai level interkoneksinya [15], [16]. Dalam bagian ini, model sistem yang digunakan seperti pada Gambar2 dengan *emergency power cut off* pada penyediaan daya terbangkit saat terjadi *over loaded*.

Selain itu, operasi ini juga melibatkan pembangkit *renewable energy* lainnya, dimana pembangkit ini direpresentasikan oleh energi angin dan matahari. Namun dalam kajian ini kedua pembangkit non *fossile based* tersebut dioperasikan secara tetap, untuk mendukung kombinasi dari ketersediaan daya listrik di sistem. Selanjutnya, kedua jenis pembangkit tersebut tidak dibahas lebih detil karena kajian ini berkonsentrasi pada performasi PLTU.



Gambar 2. Integrasi sistem model 9-bus IEEE



Gambar 3. Proses pada PLTU

Dari segi PLTU, maka pembangkit listrik jenis ini terus berkembang dengan implementasi teknologi yang lebih berkembang jauh dari generasi awal. Bahkan, bahan baku PLTU juga banyak mengalami inovasi untuk menggantikan bahan fosil dan turunannya melalui pergeseran ke jenis bahan bakar lain. Sehingga PLTU menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Secara prinsip, PLTU menggunakan uap panas untuk menggerakkan turbin. Uap panas ini dapat berasal dari proses penguapan air melalui boiler [6], [8], [17]. Uap dari boiler kemudian dikirim ke turbin dan listrik yang dihasilkan generator didistribusikan ke *public* sebagaimana ditetilkkan pada Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Operasi PLTU pada kajian ini merupakan *unit commitment* pembangkit dengan tidak memperhitungkan kerugian pada transmisi dan distribusi yang merupakan salah satu efek dari proses pengiriman daya, serta pengaruh pembebanan dan emisi [15], [18], [19]. Dalam konteks *energy storage* berupa *spinning reserve* pembangkit dikondisiakan pada batas operasi 10 %. Dalam bagian ini, Gambar 2 merupakan model yang digunakan untuk mengintegrasikan PLTU dengan sebaran beban yang terkoneksi ke *bus-bus* yang ada di sistem. Secara umum, beban listrik merupakan peralatan maupun komponen-komponen dalam sistem tenaga listrik yang menggunakan energi listrik untuk dapat beroperasi.

Umumnya, pada jaringan listrik memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif [20], [21]. Beban resistif merupakan beban listrik yang disebabkan oleh penggunaan peralatan listrik yang bersifat resistif murni, sehingga beban tersebut tidak mengakibatkan pergeseran fasa arus maupun tegangan listrik. Beban induktif yaitu beban yang dihasilkan dari penggunaan alat-alat listrik yang mengandung lilitan kawat (kumparan). Sedangkan beban kapasitif adalah beban listrik yang diciptakan oleh kapasitor atau sejenisnya pada peralatan listrik yang digunakan.

Pada bagian ini, *wind energy* dan *photovoltaic* tidak menjadi focus utama kajian, melainkan menjadi bagian dalam proses untuk mengkaji performansi PLTU yang dioperasikan secara hibrida dengan *renewable energy* tersebut. Selanjutnya, dalam kaitannya dengan pembebanan kondisi awal untuk kajian yang dilakukan, performansi generator diberikan seperti pada Tabel 1. Tabel ini memberikan informasi terkait kondisi pembangkit dan beban yang tersebar pada *bus* beban. Selain itu, *economic constraints* bagi operasi ekonomis disajikan dalam Tabel 3, memberikan kondisi operasi secara finansial yang diilustrasikan pada batas pembangkitan daya dan koefisien ekonomis bagi pembangkit yang terjadual di system saat operasi.

Selanjutnya dalam operasi sistem tenaga listrik, maka kemampuan sebuah *power grid* untuk memulihkan ke titik kesetimbangan

tegangan yang akseptabel setelah terjadi gangguan sangat penting dijaga agar stabilitas tegangan [22], [23]. Pada simulasi sistem dimodelkan secara dinamik terjamin, *event* dan *action* yang terjadi ditata dengan formasi titik integrasinya. Oleh karena itu, hasil analisa aliran daya yang berbasis pada tegangan pada sistem 9-bus IEEE didapat seperti yang diberikan dalam Tabel 2, dengan merujuk

kepada Tabel 1 yang menyajikan kondisi beban yang ada di sistem. Dari table ini dapat diketahui kinerja dari setiap bus yang terkait dengan tegangan dasar dan tegangan riil, serta didukung dengan sajian sudut tegangan bagi setiap titik bus yang menghubungkan semua koneksi bagi model system yang telah dibangun, serta dapat diketahui kondisi tegangan berkisar 96,221%-100%.

Tabel 1. Beban dan unit pembangkit di sistem

ID	Bus	Generation		Load	
		kV	MW	Mvar	MW
Bus1	16,5	52,284	19,949	0	0
Bus2	18	163	11,242	0	0
Bus3	13,8	85	-6,408	0	0
Bus4	230	0	0	0	0
Bus5	230	0	0	116,51	46,596
Bus6	230	0	0	84,091	28,03
Bus7	230	0	0	0	0
Bus8	230	0	0	94,69	33,128
Bus9	230	0	0	0	0

Tabel 2. Kondisi stabil tegangan

ID	Bus	Voltage	
		kV	Ang.
Bus1	16,5	100	0
Bus2	18	100	11,1
Bus3	13,8	100	6,2
Bus4	230	98,894	-1,7
Bus5	230	96,221	-3,1
Bus6	230	97,918	-2,9
Bus7	230	99,808	5,3
Bus8	230	98,864	2,2
Bus9	230	100,494	3,3

Tabel 3. Koefisien biaya dan batas daya

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	a (\$)	b (\$/MW)	c (\$/MW ²)
1	25	80	213.00	20.875	0.00396
2	60	250	585.62	17.998	0.00261
3	75	300	684.74	17.458	0.00289

Tabel 4. Koefisien termal pembangkit

Unit	INSi (h)	Ti,up (h)	Ti,down (h)	HSi (\$)	CSi (\$)	Ti,cold (h)
1	-5	4	2	150	350	4
2	8	5	3	170	400	5
3	8	5	4	500	1100	5

Tabel 5. Pola pembebanan

Jam	Load (MW)	Jam	Load (MW)	Jam	Load (MW)
1	700	9	1300	17	1000
2	750	10	1400	18	1100
3	850	11	1450	19	1200

4	950	12	1500	20	1400
5	1000	13	1400	21	1300
6	1100	14	1300	22	1100
7	1150	15	1200	23	900
8	1200	16	1050	24	800

Tabel 6. Performa pembangkit

Name	Rating (MW)	% PF	% Loading	Load	%PF
G1	80	96,97	123,3	A	92,85
G2	250	99,28	92,2	B	94,87
G3	300	99,91	91,96	C	94,39

Pada operasi hibrida yang merupakan gabungan dari interkoneksi pembangkit yang masuk ke sistem, maka kondisi ini akan memberikan *energy stock* yang baik bagi proses penyaluran daya listrik ke beban, serta memiliki efisiensi sistem yang lebih optimal [22], [24]. Operasi hibrida dilakukan dengan skenario PLTU menggunakan menggunakan kondisi termal seperti pada Tabel 4. Selain itu, focus pola pembebanan ditunjukkan dalam Tabel 5 yang tersebar selama 24 jam system beroperasi. Disisi lain, performansi PLTU yang dioperasikan dengan kombinasi pembangkit lain ditunjukkan pada Tabel 6 dengan pola distribusi pembebanan untuk G1, G2, dan G3 untuk menopang layanan ke beban di sistem. Dengan pola untuk menjaga *energy stock* yang ada di sistem, maka pola kombinasi hibrida memberikan peluang yang baik untuk mengatur kondisi pemenuhan daya listrik beban. Serta pola ini dapat digunakan untuk memenuhi daya beban yang terdekat dengan pembangkit listrik yang ada. Dari Tabel 6 juga dapat dipahami bahwa unit pembangkit bekerja dengan baik pada rentang efisiensi yang tinggi yaitu kisaran 96%-99%. Dari aspek PLTU pola *loading* dilakukan melalui beban generator 1 sebesar 248 kW, generator 2 sebesar 163 kW, dan generator 3 sebesar 500 kW. Untuk pemasok lainnya menggunakan energi surya dan energi angin. Secara teknis, Tabel 6 menyajikan kondisi operasi optimal pada operasi hibrida tersebut.

KESIMPULAN

Sebagaimana disebutkan bahwa kajian ini menyajikan analisis terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang diintegrasikan pada sistem dengan pendekatan model standar IEEE-9 *bus*, dan dioperasikan secara hibrida melalui kombinasi pembangkit listrik energi angin dan pembangkit listrik energi matahari. Mengacu pada hasil kajian maka dapat diketahui bahwa PLTU memiliki *opportunity* untuk merespon variasi beban yang baik. Secara operasional sistem memiliki performansi yang cukup baik dengan kondisi *voltage bus* yang masih bagus, walaupun ada pembangkit yang masih mengalami *overload* dalam suplai daya. Pembangkit G1 mengalami *over loaded*, akibat menanggung kayanan beban yang tinggi. Selanjutnya, dari sisi tegangan kerja, system masih bekerja pada rentangan batas operasi normal tegangan. Namun demikian, perlu kajian lebih lanjut dalam aspek sebaran komposisi *optimal load scheduling*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LP2M UM atas Hibah Tesis dan SPAES Center/PESC Lab yang telah memberikan *support* kepada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Domyshev and D. Sidorov, "Optimization of the Structure of Power System Multi-Agent Control," *IFAC-Pap.*, vol. 55, no. 9, pp. 250–255, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.07.044.

- [2] G. Zhou, J. Hua, J. Zhao, Y. Feng, Y. Yao, and M. Fu, "GPU-based matrix structure driven state estimation for large-scale power systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 133, p. 107298, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107298.
- [3] K. Z. Akdemir *et al.*, "Opportunities for wave energy in bulk power system operations," *Appl. Energy*, p. 121845, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121845.
- [4] B. Qiu, G. Li, X. Wei, M. Liu, and J. Yan, "System design and operation optimization on the hybrid system with nuclear power, concentrated solar, and thermal storage," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 189, p. 109862, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.anucene.2023.109862.
- [5] J. Qin *et al.*, "Impact of thermal energy storage system on the Solar Aided Power Generation plant with diverse structure and extraction steam operation strategy," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 221, p. 119801, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119801.
- [6] I. S. Al-Mutaz and M. A. Soliman, "Optimum operation of steam-power cycle in dual purpose MSF desalination plants," *Desalination*, vol. 84, no. 1, p. 104, Oct. 1991, doi: 10.1016/0011-9164(91)85120-J.
- [7] N. N. Efimov, V. I. Parshukov, A. S. Oshchepkov, A. V. Ryzhkov, I. V. Rusakevich, and E. E. Blokhin, "Steam plant based on high-speed active microturbine with valve-inductor generator as part of power engineering complex for processing of CURRENT and power plant for hydrogen production," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 48, no. 49, pp. 18557–18566, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.368.
- [8] S. K. Abadi, M. H. K. Manesh, M. A. Rosen, M. Amidpour, and M. H. Hamedi, "Integration of a Gas Fired Steam Power Plant with a Total Site Utility Using a New Cogeneration Targeting Procedure," *Chin. J. Chem. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 455–468, Apr. 2014, doi: 10.1016/S1004-9541(14)60054-9.
- [9] C. Xu, X. Li, X. Liu, and J. Li, "An integrated de-carbonization supercritical coal-fired power plant incorporating a supplementary steam turbine, process heat recovery and a modified boiler structure," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 178, p. 115532, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115532.
- [10] P. E. Martinez and A. M. Eliceche, "Minimization of life cycle greenhouse emissions and cost in the operation of steam and power plants," in *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 25, B. Braunschweig and X. Joulia, Eds., in 18 European Symposium on Computer Aided Process Engineering, vol. 25, Elsevier, 2008, pp. 1107–1112. doi: 10.1016/S1570-7946(08)80191-5.
- [11] A. N. Afandi, I. Fadlika, and L. Gumilar, "Power Flow Analysis of Power System Topology Development for Advancing Electricity System of Local Interconnection," in *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta: IEEE, Aug. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSTC.2018.8528690.
- [12] M. Ahmadipour, M. Murtadha Othman, R. Bo, M. Sadegh Javadi, H. Mohammed Ridha, and M. Alrifayy, "Optimal power flow using a hybridization algorithm of arithmetic optimization and aquila optimizer," *Expert Syst. Appl.*, vol. 235, p. 121212, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.121212.
- [13] M. Bayat, M. M. Koushki, A. A. Ghadimi, M. Tostado-Véliz, and F. Jurado, "Comprehensive enhanced Newton Raphson approach for power

- flow analysis in droop-controlled islanded AC microgrids,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 143, p. 108493, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ijepes.2022.108493.
- [14] F. Casella and B. Bachmann, “On the choice of initial guesses for the Newton-Raphson algorithm,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 398, p. 125991, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.amc.2021.125991.
- [15] Y. Yu, J. Li, and D. Chen, “Optimal dispatching method for integrated energy system based on robust economic model predictive control considering source–load power interval prediction,” *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 5, no. 5, pp. 564–578, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.gloei.2022.10.010.
- [16] G. Li, J. Li, R. Yang, and X. Chen, “Performance analysis of a hybrid hydrogen production system in the integrations of PV/T power generation electrolytic water and photothermal cooperative reaction,” *Appl. Energy*, vol. 323, p. 119625, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119625.
- [17] A. H. Abdulrahim and J. N. Chung, “Hybridizing power and water cogeneration plants with biomass steam gasification systems: An Energy-Water-Waste (EW2) nexus case study,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 240, p. 114253, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114253.
- [18] I. Ahmed, M. Rehan, A. Basit, S. H. Malik, U.-E.-H. Alvi, and K.-S. Hong, “Multi-area economic emission dispatch for large-scale multi-fueled power plants contemplating inter-connected grid tie-lines power flow limitations,” *Energy*, vol. 261, p. 125178, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.125178.
- [19] R. Karthikeyan, “Combined economic emission dispatch using grasshopper optimization algorithm,” *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 3378–3382, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.187.
- [20] C. Wang, L. Wang, X. Deng, J. Liu, and D. Guo, “Scenario-based line switching for enhancing static voltage stability with uncertainty of renewables and loads,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 145, p. 108653, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.ijepes.2022.108653.
- [21] B. Singh and A. Kumar, “Optimal energy management and feasibility analysis of hybrid renewable energy sources with BESS and impact of electric vehicle load with demand response program,” *Energy*, vol. 278, p. 127867, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127867.
- [22] A. G. Abo-Khalil, “Digital twin real-time hybrid simulation platform for power system stability,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 49, p. 103237, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103237.
- [23] N. Amjady and M. R. Ansari, “Small disturbance voltage stability assessment of power systems by modal analysis and dynamic simulation,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 10, pp. 2629–2641, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.enconman.2008.04.010.
- [24] M. Ahmadipour, M. Murtadha Othman, R. Bo, M. Sadegh Javadi, H. Mohammed Ridha, and M. Alrifayy, “Optimal power flow using a hybridization algorithm of arithmetic optimization and aquila optimizer,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 235, p. 121212, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.121212.