

Wind Turbine With Dynamic Optimal Power Flow Control For Improved Short Circuit Fault Ratio

Ratih Puspita Siwi¹

¹Universitas Teknologi Sulawesi
Makassar, Indonesia
ratihpuspitasiwi@gmail.com

Abstrak

Turbin angin skala besar dimasukkan ke dalam jaringan, rasio hubung singkat menurun. Ini juga melemahkan kemampuan untuk mengatur tegangan, dan kesalahan yang mudah menyebabkan lebih banyak tegangan selama unit energi terbarukan dan kecelakaan off-grid. Sebuah metode konfigurasi sinkronisasi yang mempertimbangkan peningkatan rasio hubung singkat dipelajari untuk jaringan listrik dengan proporsi tenaga angin yang tinggi. Pertama, analisis dilakukan pada rasio hubung singkat beberapa stasiun energi terbarukan/rasio hubung singkat beberapa stasiun energi terbarukan (MRSCR), yang dapat menjelaskan interaksi antar lokasi. Kedua, kendala keamanan sistem digunakan untuk mengembangkan model kontrol aliran daya generator sinkron yang ideal berdasarkan topologi jaringan listrik. Selanjutnya, Algoritma Pengoptimalan Kawanan Kumbang/Pengoptimalan Serangan Kumbang (BSO) digunakan untuk menentukan MRSCR yang ideal. Ini menghasilkan pengaturan tegangan dan daya terbaik untuk generator sinkron. Terakhir, contoh analisis dilakukan pada jaringan listrik dengan tingkat tenaga angin proporsi tinggi untuk memastikan bahwa metode optimasi yang diusulkan dapat meningkatkan MRSCR turbin angin secara signifikan berdasarkan PSD-BPA.

Kata kunci: Beetle Swarm Optimization, Energi Terbarukan, Generator, MRSCR, Turbin Angin.

Abstract

Large-scale wind turbines are integrated into the grid, causing the short-circuit ratio to decrease. This also weakens the ability to regulate voltage, and faults can more easily lead to greater voltage fluctuations during renewable energy unit and off-grid accidents. A synchronization configuration method that considers improving the short-circuit ratio is studied for power grids with a high proportion of wind power. First, an analysis is conducted on the multi-renewable-station short-circuit ratio/multi-renewable-station short-circuit ratio (MRSCR), which can explain interactions among sites. Second, system security constraints are used to develop an ideal synchronous generator power flow control model based on the power grid topology. Next, the Beetle Swarm Optimization/Beetle Swarm Optimization (BSO) algorithm is used to determine the ideal MRSCR. This produces the best voltage and power settings for synchronous generators. Finally, a case study is carried out on a power grid with a high proportion of wind power to verify that the proposed optimization method can significantly improve the MRSCR of wind turbines based on PSD-BPA.

Keywords: Beetle Swarm Optimization, Renewable Energy, Generator, MRSCR, Wind Turbines.

I. PENDAHULUAN

Dengan kehadiran energi terbarukan yang meningkat, kekuatan dukungan tegangan sistem melemah. Ini menimbulkan masalah besar bagi stabilitas tegangan jaringan. Dengan menambahkan

banyak unit energi angin, kemampuan dukungan tegangan menjadi lebih buruk. Ini karena tingkat short circuit ratio (SCR) stasiun energi terbarukan di jaringan menurun. Untuk memastikan stabilitas dan keamanan tegangan sistem tenaga listrik, nilai SCR untuk lokasi energi terbarukan harus memenuhi

ambang batas yang wajar, menurut pedoman nasional yang wajib "Pedoman untuk keandalan dan stabilitas sistem tenaga listrik" [1].

Prinsip fisika menentukan SCR sebagai proporsi kapasitas hubung singkat yang menunjukkan kekuatan tegangan sistem relatif terhadap daya pengenalan peralatan listrik [2].

Namun, perhitungan ini tidak cocok untuk jaringan dengan banyak integrasi terbarukan karena mengabaikan interaksi antara stasiun transmisi DC energi terbarukan yang berbeda. Oleh karena itu, konsep SCR baru telah diperkenalkan untuk menilai kekuatan dukungan tegangan untuk jaringan listrik dengan integrasi terbarukan yang signifikan. Konsep SCR mempertimbangkan interaksi antara berbagai integrasi terbarukan dan memperlakukan energi terbarukan terintegrasi secara khusus. Metode ini memperkirakan interaksi secara kasar di antara cabang feed-in dengan menggunakan pembobotan atau penjumlahan. Dua indikator SCR untuk sistem terintegrasi energi terbarukan adalah SCR berbasis kapasitas (SCR-S) dan SCR berbasis tegangan (SCR-U). Dalam kondisi transien, arus hubung singkat dipertimbangkan. SCR transien multi-infeed menurunkan hubungan antara kapasitas hubung singkat sisi AC dan tegangan, sesuai dengan struktur sistem. Metrik ini menunjukkan perubahan transien dalam kemampuan dukungan tegangan di seluruh simpul sistem. konsep SCR, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti distribusi besaran listrik dan perbedaan fase antara berbagai node MRSCR cocok untuk menilai kekuatan tegangan dalam sistem tenaga dengan integrasi multi-stasiun di berbagai scenario. Selain itu, rasio impedansi dapat menjadikan MRSCR lebih sederhana, menawarkan metode perhitungan yang lebih mudah, dan merupakan indikator yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dukungan tegangan dalam penelitian ini [3].

Saat ini, pengontrol var tegangan statis (SVC), pengontrol sinkron statis (STATCOM), dan mesin kompensasi sinkron banyak digunakan dalam teknik untuk meningkatkan kemampuan dukungan tegangan stasiun energi terbarukan [4]. SVC dan STATCOM dapat memperlambat respons reaktif, yang kadang-kadang memperburuk masalah tegangan transien. Ini karena mereka memiliki kapasitas respons reaktif yang terbatas. Kondensator sinkron, sejenis generator sinkron, dapat meningkatkan kapasitas hubung singkat sistem, dukungan jaringan, dan dukungan tegangan selama gangguan. Untuk melihat bagaimana integrasi kondensator sinkron meningkatkan SCR untuk jaringan DC, meningkatkan stabilitas tegangan, dan menilai dampak kondensator sinkron pada MRSCR, yang didasarkan pada peran MRSCR dalam

mengukur dukungan tegangan jaringan. Untuk meningkatkan kekuatan dukungan tegangan, diusulkan strategi pengoptimalan untuk menemukan dan mengukur kondensator terpusat dan terdistribusi di jaringan berat terbarukan.

Metode untuk memasang kondensator sinkron kecil di sisi tegangan rendah stasiun pengumpulan energi terbarukan dapat membantu mengurangi masalah tegangan sementara dan meningkatkan efektivitas biaya sistem. Studi ini memperkenalkan metode penempatan untuk kondensator sinkron yang mempertimbangkan faktor interaksi multi-infeed DC dan SCR multi-infeed yang efektif. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengurangi kegagalan pergantian dalam sistem multi-infeed dengan mempertimbangkan dukungan tegangan yang disediakan oleh SVC, STATCOM, dan kondensator sinkron untuk masalah tegangan transien pengirim. Studi juga mengusulkan strategi kompensasi daya reaktif untuk meningkatkan tingkat tegangan jaringan. Output generator sinkron sangat memengaruhi SCR stasiun energi terbarukan. Untuk memenuhi persyaratan SCR untuk dukungan tegangan yang memadai, model pengoptimalan generator sinkron kontrol aliran daya dinamis disarankan [5].

Makalah ini mengusulkan metode untuk mengoptimalkan model kontrol aliran daya dinamis generator sinkron dengan mempertimbangkan peningkatan SCR. Pertama, penelitian ini menganalisis MRSCR, yang memperhitungkan interaksi antar stasiun energi terbarukan. Kemudian, model konfigurasi pengoptimalan untuk kontrol aliran daya generator sinkron dikembangkan berdasarkan topologi jaringan, menggabungkan kendala keamanan operasional sistem [6]. Model ini menggunakan algoritma BSO untuk mengoptimalkan output daya aktif generator sinkron dan nilai tegangan simpul untuk memaksimalkan MRSCR. Tujuan dari metode ini adalah untuk mencapai kontrol aliran daya dinamis generator sinkron yang memastikan keandalan tegangan dan stabilitas sistem tenaga. Pada akhirnya, simulasi dilakukan pada sistem Nordik untuk memastikan metode yang disarankan berhasil.

II. METODE PENELITIAN

A. Model Koneksi Jaringan Setara Energi Baru

Perhitungan kapasitas hubung singkat setara dari sistem AC:

$$S_{ac,i} = \frac{U_N E_i}{Z_{t,i}} \quad (1)$$

$Z_{t,i}$ adalah reaktansi ekuivalen Thevenin dari sistem yang diselesaikan sesuai dengan potensial

ekuivalen Thevenin pada waktu t , UN adalah tegangan sistem nominal, E_i adalah potensial ekuivalen Thevenin dari sistem yang diperoleh pada waktu t .

Ketika memperhitungkan pengaruh timbal balik di antara beberapa sumber energi baru, kapasitas yang terhubung ke jaringan dari sumber energi baru tidak hanya mencakup kapasitas unitnya sendiri yang terhubung langsung tetapi juga memerlukan faktor dalam pengaruh cabang lain. Pada titik ini, kapasitas setara dari sistem AC yang terhubung ke jaringan dapat ditentukan menggunakan perhitungan berikut [7].

$$S_{eq,i} = S_i + \sum \frac{Z_{ij}^* U_i^*}{Z_t^* U_j} S_j \quad (2)$$

Di mana S_i dan S_j mewakili kapasitas sumber energi baru yang terhubung ke simpul i dan j ; U_i dan U_j adalah tegangan pada simpul i dan j ; $Z_{t,i}$ adalah reaktansi ekuivalen pada t , diturunkan menggunakan potensial ekuivalen Thevenin; Z_{ij} adalah impedansi antara titik koneksi i dan j .

B. Pemilihan SCR

Dalam sistem energi terbarukan umpan tunggal, SCR konvensional dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan jaringan. Ini ditentukan oleh kapasitas hubung singkat dan kapasitas sumber energi terbarukan yang terhubung ke jaringan [2] [8].

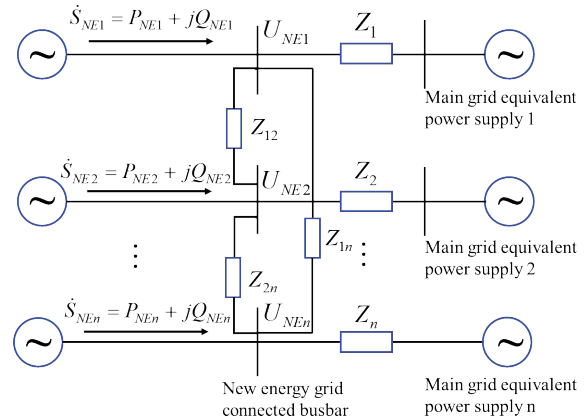
$$SCR = \frac{S_{ac}}{P_N} \quad (3)$$

Di mana S_{ac} mewakili kapasitas hubung singkat pada titik koneksi jaringan stasiun, dan P_N menunjukkan output daya aktif nominal dari ladang angin yang terhubung pada titik jaringan tersebut. Namun, SCR ini hanya mempertimbangkan kekuatan jaringan dalam sistem umpan tunggal dan tidak memperhitungkan interaksi antara sistem yang berbeda, yang menyebabkan kesalahan yang signifikan dalam aplikasi praktis.

Untuk sistem multi-umpan energi baru, MRSCR secara efektif memperhitungkan interaksi antara pembangkit energi baru yang berbeda [9]. Ini mempertimbangkan variasi amplitudo dan fase dari berbagai parameter listrik antara titik koneksi jaringan stasiun yang berbeda, sementara juga menggabungkan efek daya reaktif yang dihasilkan oleh setiap pembangkit energi terbarukan. Hal ini membuatnya efektif untuk mengevaluasi kekuatan jaringan dalam sistem tenaga yang dominan energi terbarukan di berbagai skenario.

Gambar 1 menggambarkan model yang disederhanakan dari jaringan pembangkit energi multi-baru. Matriks impedansi sistem jaringan akhir pengiriman pada simpul N diwakili oleh matriks Z , di mana S_{NE} , P_{NE} , Q_{NE} , dan U_{NE}

masing-masing mewakili daya semu, daya aktif, daya reaktif, dan tegangan yang terhubung ke jaringan dari stasiun pembangkit energi baru i . Z_{ij} mewakili impedansi setara antara grid titik koneksi i dan j , sedangkan Z_i adalah impedansi di sisi sistem, diukur antara sumber daya yang setara i dan titik koneksi jaringan yang relevan.



Gambar 1. Model sederhana dari jaringan stasiun energi multi-baru [10]

Dengan menggunakan persamaan tegangan simpul, titik koneksi jaringan pada titik koneksi dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{NE,1} \\ \dot{U}_{NE,2} \\ \vdots \\ \dot{U}_{NE,m} \\ \vdots \\ \dot{U}_{NE,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{11} & \cdots & \dot{Z}_{1m} & \cdots & \dot{Z}_{1n} \\ \dot{Z}_{21} & \cdots & \dot{Z}_{2m} & \cdots & \dot{Z}_{2n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \dot{Z}_{m1} & \cdots & \dot{Z}_{mm} & \cdots & \dot{Z}_{mn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \dot{Z}_{n1} & \cdots & \dot{Z}_{n,m} & \cdots & \dot{Z}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{NE,1} \\ \dot{I}_{NE,2} \\ \vdots \\ \dot{I}_{NE,m} \\ \vdots \\ \dot{I}_{NE,n} \end{bmatrix}$$

Di mana $\dot{I}_{NE,i}$ mewakili arus yang disuplai oleh bus energi terbarukan i ke sistem AC; $\dot{U}_{NE,i}$ mengacu pada tegangan pada titik koneksi i jaringan [11]

Simpulan

Untuk memaksimalkan total SCR fasilitas energi terbarukan, model optimasi kontrol aliran daya generator sinkron dibuat. Model ini secara komprehensif mempertimbangkan kendala pada ladang angin dan keseimbangan SCR secara keseluruhan, tegangan generator sinkron, output daya aktif, dan aliran daya. Variabel optimasi termasuk besarnya tegangan dan daya aktif generator sinkron. Model dinyatakan sebagai berikut.

Tujuannya diwakili dengan memaksimalkan MRSCR pembangkit energi terbarukan, yaitu:

$$J = \max \sum_{i=1}^n R_{MRSCRi} \quad (5)$$

Di mana i mewakili fasilitas energi terbarukan i ; n adalah jumlah keseluruhan fasilitas energi terbarukan ; R_{MRSCRi} mewakili MRSCR dari fasilitas energi terbarukan i . Fungsi tujuan ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat sistem MRSCR secara keseluruhan dengan memecahkan model kontrol aliran daya yang optimal dari generator sinkron, memperkuat kemampuan pengaturan tegangan dan stabilitas jaringan.

Berikut ini adalah kendalanya.

Kendala pada SCR ladang angin di jaringan listrik:

$$R_{MRSCRi} > R_{MRSCRi,min} \quad (6)$$

$R_{MRSCRi,min}$ adalah ambang minimum SCR untuk ladang angin i .

Kendala Keseimbangan SCR di antara Ladang Angin di Jaringan Listrik:

Untuk memastikan distribusi nilai MRSCR yang seimbang di berbagai ladang angin di jaringan listrik dan mencegah perbedaan ekstrem dalam SCR antar stasiun, kendala pada keseimbangan SCR didefinisikan seperti yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_{MRSCRi} - R_{MRSCRav}}{R_{MRSCRav}} \right) \leq R_{MRSCR D} \quad (7)$$

$R_{MRSCRav}$ adalah MRSCR rata-rata ladang angin di jaringan listrik; $R_{MRSCR D}$ adalah batas atas derajat keseimbangan SCR.

Kendala besaran tegangan generator sinkron:

$$V_{min} \leq V \leq V_{max} \quad (8)$$

V adalah besaran tegangan setiap generator sinkron; V_{min} dan V_{max} masing-masing mewakili batas tegangan bawah dan atas dari simpul generator sinkron. Dalam makalah ini, V_{min} dan V_{max} masing-masing diatur ke 0,9 dan 1,1 [12].

Kendala keluaran daya aktif dari generator sinkron:

$$P_{g,i,min} \leq P_{g,i} \leq P_{g,i,max} \quad (9)$$

$P_{g,i}$ adalah daya aktif generator sinkron i ; $P_{g,i,min}$ dan $P_{g,i,max}$ masing-masing mewakili daya aktif bawah dan atas dari generator sinkron i .

Keandalan aliran daya:

$$\begin{cases} P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{cases} \quad i = 1, 2, K, n \quad (10)$$

Di mana P_i dan Q_i masing-masing mewakili daya aktif dan daya reaktif pada simpul i ; G_{ij} dan B_{ij} adalah komponen nyata dan imajiner dari

matriks penerimaan pada posisi (i, j) ; θ_{ij} adalah perbedaan fase antara simpul i dan j [13].

Untuk model kontrol aliran daya yang optimal dari generator sinkron, dengan mempertimbangkan metode kecerdasan kawanan untuk memecahkan model, makalah ini mengadopsi metode BSO, yang menggabungkan PSO dengan Kumbang Pencarian Antena (BAS). Metode ini dikenal dengan kekokohan dan efisiensi pengoptimalan yang tinggi, sehingga cocok untuk memecahkan masalah optimasi nonlinier yang kompleks [14].

Untuk pemilihan daya aktif dan besaran tegangan generator sinkron dalam makalah ini, algoritma BSO digunakan untuk pengoptimalan dan penyetelan aliran daya. Posisi awal kumbang diperoleh melalui pengambilan sampel acak, dan strategi inersia adaptif diterapkan selama proses iterasi [15].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mengoptimalkan model aliran daya dinamis generator sinkron, nilai MRSCR untuk setiap generator turbin angin ditunjukkan pada Tabel 1. Di antara generator WT2, WT3, WT5, WT6, dan WT7 tidak memenuhi persyaratan MRSCR lebih besar dari 1.5, dengan WT7 memiliki nilai terendah di 1.117, menunjukkan kemampuan dukungan tegangan yang lebih lemah di jaringan. Menggunakan simulasi bersama dalam perangkat lunak Matlab dan BPA, Matlab digunakan untuk memodelkan dan mengoptimalkan daya aktif dan tegangan setiap genset sinkron. Model aliran daya optimal kemudian diterapkan dalam perangkat lunak BPA untuk perhitungan SCR.

Tabel 1. MRSCR turbin angin sebelum kontrol aliran daya optimal dari generator sinkron

Turbin Angin	MRSCR
WT 1	1.658
WT 2	1.447
WT 3	1.369
WT 4	2.831
WT 5	1.453
WT 6	1.164
WT 7	1.117

Algoritma BSO diadopsi untuk memecahkan model kontrol aliran daya yang optimal dari generator sinkron. Variabel yang dioptimalkan termasuk tegangan V1 dari generator sinkron G1, tegangan V2, V3, V4 dan V5 dari generator sinkron G2-G5, dan output daya aktif P2,

P3, P4 dan P5. Variabel generator sinkron sebelum dan sesudah pengoptimalan ditunjukkan pada Tabel 2. Setelah menerapkan model aliran daya optimal ke sistem pengujian, hasil SCR untuk setiap pembangkit listrik turbin angin disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Variabel Generator Sinkron Sebelum dan Sesudah Kontrol Optimal

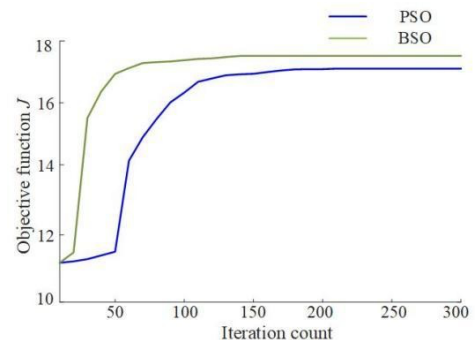
Variabel	Sebelum Kontrol Optimal	Setelah Kontrol Optimal
V1	1.05 pu	1.1 pu
V2	1.05 pu	1.07 pu
V3	1.05 pu	1.08 pu
V4	1.05 pu	1.1 pu
V5	1.05 pu	1.09 pu
P2	200 MW	257 MW
P3	668 MW	705 MW
P4	300 MW	359 MW
P5	250 MW	288 MW

Setelah mengoptimalkan model kontrol aliran daya generator sinkron, SCR untuk setiap generator turbin angin lebih besar dari 1,5. Ini memenuhi persyaratan SCR untuk pembangkit energi terbarukan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Tingkat SCR pembangkit listrik tenaga angin di jaringan meningkat, dengan MRSCR minimum 1.721 dan MASCR total 17.498. Dengan membandingkan hasil SCR setelah kontrol aliran daya sinkron yang optimal dan sebelum kontrol aliran daya yang optimal, kami menemukan bahwa pengaturan tegangan ladang angin menjadi lebih mudah setelah kontrol aliran daya yang optimal.

Tabel 3. MRSCR turbin angin setelah kontrol aliran daya generator sinkron yang optimal

Turbin Angin	MRSCR
WT1	2.564
WT2	2.322
WT3	2.109
WT4	4.368
WT5	2.517
WT6	1.721
WT7	1.897

Algoritma PSO digunakan untuk memecahkan model kontrol aliran daya generator sinkron yang optimal untuk mengkonfirmasi keunggulan metode yang diusulkan. Jumlah iterasi, fungsi objektif, dan batasan yang digunakan dalam algoritma BSO sama.



Gambar 2. Kurva iterasi dari algoritma yang berbeda

Gambar 2 menunjukkan perubahan nilai fungsi objektif J untuk menunjukkan proses konvergensi algoritma BSO. Dibandingkan dengan algoritma PSO konvensional, metode BSO yang digunakan dalam makalah ini menunjukkan kinerja konvergensi dan kemampuan pengoptimalan yang unggul.

Tabel 4. MRSCR turbin angin dengan algoritma PSO

Turbin Angin	MRSCR
WT1	2.413
WT2	2.251
WT3	1.967
WT4	4.158
WT5	2.432
WT6	1.521
WT7	1.695

Tabel 4 menunjukkan hasil kontrol aliran daya optimal untuk generator sinkron di jaringan listrik. Tabel 4 juga menunjukkan hasil SCR untuk setiap pembangkit listrik turbin angin setelah kontrol aliran daya optimal dari generator sinkron. Nilai MRSCR yang diperoleh melalui algoritma BSO lebih besar, yang menunjukkan kinerja konvergensi dan kemampuan optimasi yang lebih baik. Ini secara efektif menunjukkan manfaat dari teknik yang disarankan untuk meningkatkan SCR dan meningkatkan kemampuan stabilisasi tegangan ladang angin.

IV. KESIMPULAN

Untuk mengukur kekuatan tegangan di jaringan listrik, MRSCR memperhitungkan interaksi antara stasiun. Makalah ini menyarankan cara untuk memecahkan model kontrol aliran daya generator sinkron yang optimal di jaringan dengan penetrasi tenaga angin yang signifikan. Tujuan dari metode ini adalah untuk meningkatkan SCR dengan memecahkan model kontrol aliran daya generator sinkron ini, yang pada gilirannya meningkatkan kapasitas stabilisasi tegangan ladang angin. Metode komputasi berbasis Beetle Swarm ini menghindari

optima lokal dengan akurasi konvergensi yang tinggi dan kemampuan pencarian global yang kuat. Ini memberikan dukungan teknis yang kuat untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi operasional jaringan listrik. Perangkat lunak BPA yang diterapkan pada sistem Nordik yang ditingkatkan menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan dapat meningkatkan kemampuan manajemen tegangan ladang angin.

REFERENSI

- [1] X. Wei, J. Wang, X. Cui, S. Li, and H. Yang, "Optimal Power Flow Control of Synchronous Generators for Short Circuit Ratio Enhancement in Power Systems with High-Proportion Wind Power Level," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 3012, no. 1, 2025, doi: 10.1088/1742-6596/3012/1/012047.
- [2] Y. Huang, W. Huang, T. Pan, and D. Xu, "Inter-turn Short-circuit Fault Diagnosis and Severity Estimation for Five-phase PMSM," *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 224–233, 2025, doi: 10.30941/CESTEMS.2025.00019.
- [3] Y. Liang, Y. Ren, J. Yu, and W. Zha, "Current trajectory image-based protection algorithm for transmission lines connected to MMC-HVDC stations using CA-CNN," *Prot. Control Mod. Power Syst.*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s41601-023-00280-3.
- [4] H. Liu and Z. Wang, "Research on energy storage and high proportion of renewable energy planning considering demand," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 198591–198599, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035699.
- [5] H. Shen *et al.*, "Modeling of High-frequency Electromagnetic Oscillation for DC Fault in MMC-HVDC Systems," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 1151–1160, 2023, doi: 10.17775/CSEEJPES.2021.06370.
- [6] S. J. Hsiao and W. T. Sung, "Building a fishfivevegetable coexistence system based on a wireless sensor network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 192119–192131, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3032795.
- [7] S. K. Afridi *et al.*, "Winds of Progress: An In-Depth Exploration of Offshore, Floating, and Onshore Wind Turbines as Cornerstones for Sustainable Energy Generation and Environmental Stewardship," *IEEE Access*, vol. 12, no. April, pp. 66147–66166, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3397243.
- [8] B. Li, S. Xu, H. Sun, Z. Li, and L. Yu, "System Strength Assessment Based on Multi-Task Learning," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 41–50, 2024, doi: 10.17775/CSEEJPES.2023.00440.
- [9] W. Zilong and S. Peng, "A Multi-Strategy Dung Beetle Optimization Algorithm for Optimizing Constrained Engineering Problems," *IEEE Access*, vol. 11, no. September, pp. 98805–98817, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3313930.
- [10] Z. Cao and X. Du, "An Intelligent Optimization-Based Particle Filter for Fault Diagnosis," *IEEE Access*, vol. 9, no. April 2019, pp. 87839–87848, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3068417.
- [11] I. C. Gunadin, E. S. Putra Az, Y. S. Akil, and S. Humena, "The impact of the injection of wind power plant on the steady state condition and the dynamics of SULSELBAR power system," *Int. J. Electr. Electron. Eng. Telecommun.*, vol. 8, no. 6, pp. 327–333, 2019, doi: 10.18178/ijeetc.8.6.327-333.
- [12] R. P. Siwi, I. C. Gunadin, S. M. Said, A. Siswanto, and S. Humena, "Dynamic optimal power flow calculates intermittent wind turbine using ant colony method," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012108.
- [13] J. Liu, X. Hao, X. Wang, Y. Chen, W. Fang, and S. Niu, "Application of thyristor controlled phase shifting transformer excitation impedance switching control to suppress short-circuit fault current level," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 6, no. 4, pp. 821–832, 2018, doi: 10.1007/s40565-017-0372-2.
- [14] M. Sidiq, D. Putra, and S. Abadi, "Penjadwalan Ekonomis Pada Pembangkit Termal Dengan Menggunakan Particle Swarm Optimization," vol. 21, no. 1, pp. 156–162, 2023.
- [15] M. Lin, Q. Li, F. Wang, and D. Chen, "An Improved Beetle Antennae Search Algorithm and Its Application on Economic Load Distribution of Power System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 99624–99632, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2997687.

