

Penerapan Metode *Genetic Alghorithm* untuk Meminimalkan Biaya Perawatan Sistem Pembangkit Energi Hibrid Solar Panel dan Turbin Angin

Carolus Aditya C. P.¹; Septiyan Nungsizu²; Herminarto Nugroho³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

³ herminarto.nugroho@universitaspertamina.ac.id

ABSTRACT

As a renewable energy, hybrid solar panel and wind turbine technology is one of the systems that can be used in the future, in this system during the day or night the equipment can work so as to produce a sustainable energy source. To be able to provide enough electrical energy for daily use, it is necessary to determine the number of solar panels and wind turbines that are sufficient. Each solar panel and wind turbine generates different electrical energy, as well as different maintenance costs. Therefore, the maintenance system of this system must be considered so that it does not need a lot of maintenance costs, but can still provide sufficient electrical energy. In the method that is simulated in matlab, Genetic Alghorithm(GA) and Non-Linear Optimization (Fmincon) were chosen because in these 2 methods, the minimum maintenance cost can be obtained with various iterations and generations. Based on the analysis of the results from this experiment, both of the fmincon and GA can be used to determine the right number of solar panels and wind turbines so that electricity needs can be met and with minimal maintenance costs.

Keywords: Renewable energy; solar panels; wind turbine; Genetic Alghorithm; non-linear optimization

ABSTRAK

Sebagai energi terbarukan, Teknologi hybrida solar panel dan wind turbine menjadi salah satu sistem yang dapat dipergunakan di masa mendatang, pada sistem ini ketika siang maupun malam alat dapat bekerja sehingga menghasilkan sumber energi secara berkesinambungan. Untuk dapat menyediakan cukup energi listrik untuk pemakaian sehari-hari, perlu menentukan jumlah panel surya dan turbin angin yang cukup. Masing-masing panel surya dan turbin angin menghasilkan energi listrik yang berbeda, serta biaya perawatan yang berbeda pula. Oleh sebab itu, maintenance system dari alat ini harus diperhatikan agar tidak memakan banyak biaya, namun tetap dapat menyediakan energi listrik yang cukup. Pada metode yang disimulasikan pada matlab, Genetic Alghorithm(GA) dan Optimasi Non-Linear (Fmincon) dipilih karena pada 2 metode ini fungsi global minimum bisa didapatkan dengan berbagai iterasi maupun generasinya. Berdasarkan hasil analisis pengujian pada penelitian ini, baik metode fmincon maupun GA dapat digunakan untuk menentukan jumlah panel surya dan turbin angin yang tepat agar kebutuhan listrik dapat terpenuhi serta dengan biaya perawatan yang minimal.

Kata kunci: energi terbarukan, panel surya, turbin angin, genetic algorithm, optimasi non-linear

1. PENDAHULUAN

Teknologi energi terbarukan (ET) dianggap sebagai pendorong utama perubahan iklim mitigasi [1]. Dengan demikian, penyebaran energi terbarukan ET yang didorong oleh kebijakan selama dua dekade terakhir menyebabkan peningkatan pesat pada kapasitas turbin angin / *wind turbine capacity* dan fotovoltaik surya (PV) sambil meningkatkan kematangan fasilitas dan biaya teknologi ini [2]. Misalnya, biaya listrik yang diratakan (*Levelized Cost of Energy/LCOE*) dari tenaga angin di Amerika banyak turun dari 113 menjadi 62 USD per MWh selama 2000-2017 dan untuk PV dari 500 hingga 67 USD dalam periode yang sama [3]. Biaya untuk operasi dan pemeliharaan (*Operation and Maintenance/O&M*), pengeluaran ini tidak dapat diabaikan. Pada 2017, biaya O&M diperkirakan 20 –25% LCOE di Eropa, ukuran optimal PV *stand-alone* dan energi angin penting untuk memberikan energi yang optimal serta biaya *maintenance* yang murah sebagai contoh monokristalin dan panel surya polikristalin umumnya digunakan karena lebih tinggi efisiensi daripada panel surya film tipis sehingga memakan lebih sedikit ruang atap. Panel surya monokristalin memiliki efisiensi 18% dan solar polikristalin efisiensi panel sekitar 12% [4].

Berdasarkan model efisiensi energi, hilangnya probabilitas catu daya (*Loss of Power Supply Probability/LPSP*) dari sistem Solar PV dihitung untuk kombinasi ukuran berbeda dari panel surya ke baterai. Untuk LPSP yang diinginkan pada kebutuhan tertentu, diperlukan pengukuran se-optimal mungkin dari kombinasi baterai dan panel surya agar diperoleh biaya pembuatan dan perawatan sistem sekecil mungkin [5]. Kombinasi tenaga listrik tenaga surya dan tenaga angin yang terkonsentrasi pada pemanasan dan pendinginan di bawah wilayah perkotaan Amman dan iklim Yordania, oleh karena itu karakteristik kinerja panel PV dipelajari pada beban yang bervariasi melalui resistansi variabel. Teknologi hibrida (*wind turbine-PV-battery*) [6] yang diusulkan pada sistem ET ini diharapkan bisa mencapai minimum biaya per unit serta alat tersebut dapat menjadi lebih efektif dan efisien ketika dipakai menggantikan alat-alat berbahan bakar fosil lainnya [7], [8].

Total biaya tahunan dari masalah yang ditemukan sesuai daya dengan penerimaan cahaya sel surya dan kemungkinan hilangnya catu daya (LPSP), angin tidak disuplai sistem (*Energy Not Supplied/ENS*), keandalan sistem dan meninggalkan aspek teknis lebih lanjut dari penelitian dan perbandingan algoritma yang diperoleh alam. Untuk menyelesaikan masalah hibrida panel surya dan sistem pembangkit berbasis angin pada sistem diperlukan kesepakatan antara pihak pengembang energi terbarukan baik panel surya maupun *wind turbine* asal bisa kita ketahui polanya, penurunan output daya dari PV sistem maupun *wind turbine* bisa dicegah.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perumusan Permasalahan Optimasi

Dengan adanya suatu metode optimasi *Fmincon* maupun GA didapatkan permasalahan optimasi dengan design variabel N_{PV}, N_{WT} dengan *cost function* dan *constraintnya* $\epsilon \Delta p \geq 0$

$$C_M = 365(C_{PV,M} \sum_{t=1}^{24} N_{PV} P_{PV}(t) \Delta t + C_{WT,M} \sum_{t=1}^{24} N_{WT} P_{WT}(t) \Delta t) \quad (1)$$

Keterangan :

- C_M = Annual Manitenance Cost
- $C_{PV,M}$ = Solar Panel Maintenance Cost
- $C_{WT,M}$ = Wind Turbine Maintenance Cost
- Δt = Time difference
- N_{PV} = Jumlah Solar Panel
- N_{WT} = Jumlah Wind Turbine

2.2. Metode Optimasi: Genetic Algorithm (GA)

Genetic Alghorithm Genetic Algorithm (GA) adalah bagian dari *Evolutionary Algorithm* yaitu suatu algoritma yang mencontoh proses evolusi alami dimana konsep utamanya adalah individu-individu yang paling unggul akan bertahan hidup, sedangkan individu-individu yang lemah akan punah. Keunggulan individu-individu ini diuji melalui suatu fungsi yang dikenal sebagai *fitness function*. Proses GA dimulai dengan menentukan populasi awal (*initial population*) yang terdiri dari beberapa kromosom yang disusun oleh beberapa gen yang merupakan representasi dari kandidat-kandidat solusi dari suatu masalah. Kandidat-kandidat terbaik akan dipilih melalui *process selection*, berdasarkan *fitness value* yang telah dihitung untuk setiap kromosom dalam populasi metode ini dipilih karena Dalam GA, keragaman kromosom dari suatu populasi dapat dipertahankan dengan mengimplementasikan operator *crossover* dan mutasi sehingga dapat mempertahankan keragaman kromosom dari suatu populasi [9], [10].

2.3. Metode Optimasi: *Non-Linear Optimization with Constraints (fmincon)*

Optimasi yang akan dilakukan berfungsi sebagai analisa untuk meminimalkan suatu fungsi skalar dengan beberapa constrain dari beberapa variabel mulai dari tebakan awal yang diberikan [11]. Ini disebut sebagai pengoptimalaan nonlinier terbatas (*Non-Linear Optimization with Constraints*) atau pemrograman non-linier. Penggunaan metode ini dapat dilakukan dengan mengetikkan *objective function* tersebut dalam *m-file* Matlab dan dijalankan dengan *optimization toolbox* di Matlab maupun langsung dijalankan menggunakan *m-file* tersebut. Persamaan matematis dalam metode ini adalah sebagai berikut: x , b , beq , lb , dan ub adalah vektor, A dan Aeq adalah matriks, c x dan ceq x adalah fungsi yang mengembalikan vektor, dan f x adalah fungsi yang mengembalikan skalar f x , c x , dan ceq x yang dapat menjadi fungsi non-linier.

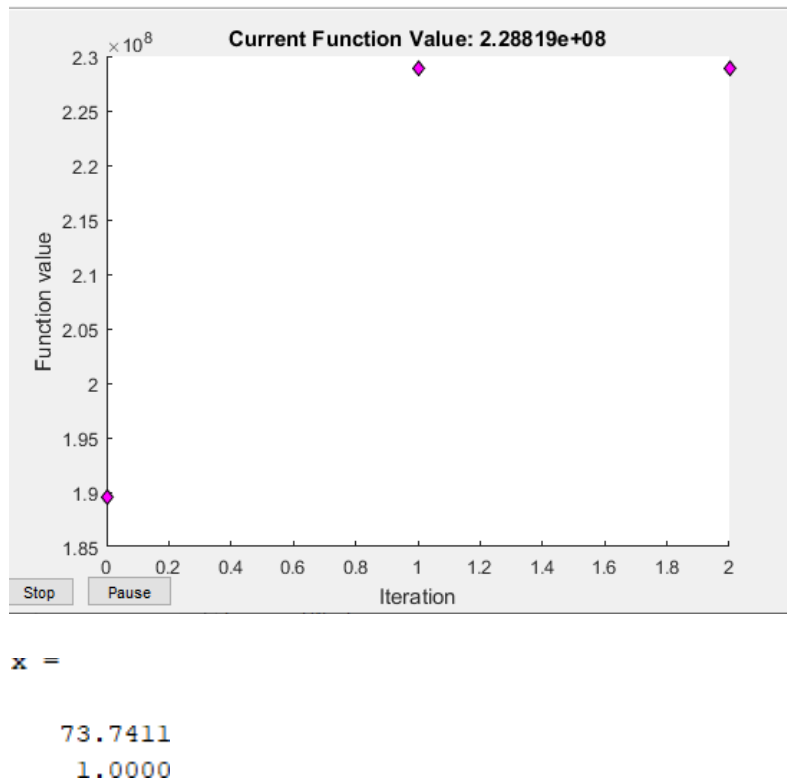
Tabel 1. Data rata-rata daya yang dihasilkan dan disimpan perjam dalam satuan WH

Time(t)	$P_{load}(t)$	$P_{wt}(t)$	$P_{pv}(t)$	ΔP
1	1.39	0.58	0	-0.81
2	1.25	0.49	0	-0.76
3	1.19	0.48	0	-0.71
4	1.22	0.53	0	-0.69
5	1.34	0.47	0	-0.87
6	1.8	0.51	0	-1.29
7	2.66	0.46	1.6	-2.198
8	2.9	0.46	3.4	-2.437
9	2.52	0.61	10.3	-1.899
10	2.21	0.76	24.6	-1.425
11	2.05	1.1	31.7	-0.918
12	2.21	1.53	35.3	-0.375
13	2.05	1.67	36.6	-0.113
14	1.94	1.89	37.4	0.217
15	1.82	2.43	36.8	0.847
16	1.71	2.45	33.5	0.833
17	1.62	1.91	24.2	0.064
18	1.65	1.76	13.4	-0.517
19	1.87	1.57	5.6	-1.004

20	2.29	1.16	1.5	-1.438
21	2.58	0.87	0	-1.67
22	2.6	0.76	0	-1.73
23	2.28	0.74	0	-1.54
24	1.79	0.7	0	-1.09
Total	47.71	25.89	295.9	-21.523

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam percobaan menentukan seberapa banyak *wind turbine* dan *photovoltaic* yang terpasang agar biaya *maintenance* menjadi lebih murah, dipergunakan 2 metode optimasi yang pertama metode *Fmincon* dan *Generic Alghorithm (GA)*, alasan kedua metode ini dipilih agar didapatkan hasil yang akurat serta sebagai pembanding, metode mana yang paling tepat guna untuk menentukan jumlah solar panel (N_{pv}) maupun jumlah wind turbine (N_{wt}). Untuk pembahasan metode diatas dapat dilihat sebagai berikut :

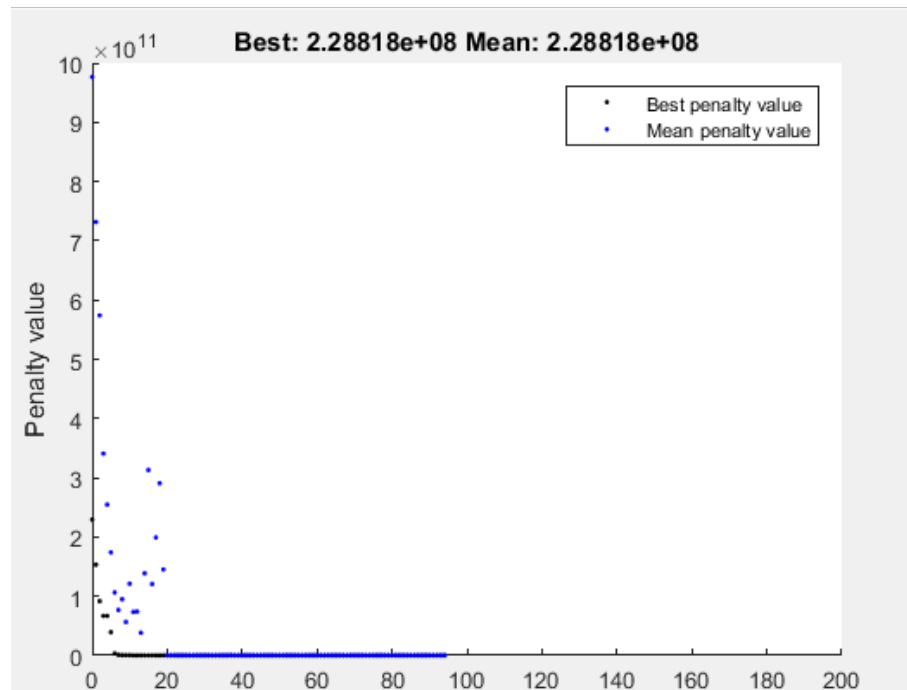


Gambar 1. Plot Grafik Metode Fmincon

Tabel 2. Iterasi Metode Fmincon

Iterasi	Func- count	Fval	Feasibility	Step Length	Norm of Step	First-order optimality
1	3	1.895470e+08	2.152e+04			1.890e+08
2	6	2.288185e+08	0.000e+00	1.000e+00	7.274e+01	7.324e+01
3	9	2.28818e+08	0.000e+00	1.000e+00	1.967e-13	0.000e+00

Dapat dilihat dari grafik percobaan *fmincon* diatas dimana sumbu x sebagai iterasi dan sumbu y sebagai *function value* dari *cost function* diatas. Setelah program dijalankan, terdapat 3 iterasi dengan *function count* 3,6 dan 9 . Ketika mencapai iterasi pertama sudah didapatkan hasil yang diinginkan dengan *feasibility* 0 dan *step length* 1.000e+00, hal ini baik adanya karena system optimasi telah berjalan baik sehingga diperoleh hasil x dengan nilai 73.74 dan 1.00, angka tersebut adalah hasil C1 dan C2 (*solar panel* dan *wind turbine*) yang jika dibulatkan menjadi 74 *solar panel* dan 1 *wind turbine* sebagai *global optimum* dari system optimasi tersebut. Kemudian untuk biaya *maintenance* fungsi maksimal didapatkan hasil 2.288e+08.



N =

73.7411 1.0000

Gambar 2. Plot Grafik Metode GA

Tabel 3. Hasil Generasi metode GA

No	Generation	Func-Count	Best Penalty	Mean Penalty	Stall Generations
1	90	3640	2.288e+08	2.288e+08	6
2	91	3680	2.288e+08	2.288e+08	7
3	92	3720	2.288e+08	2.288e+08	0
4	93	3760	2.288e+08	2.288e+08	1
5	94	3800	2.288e+08	2.288e+08	0
2	91	3680	2.288e+08	2.288e+08	7

Selanjutnya dengan metode kedua yaitu *Genetic Alghorithm* (GA) dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 yang diambil 4 generasi terakhirnya saja ,didapatkan hasil CM/ *Annual Maintenance Cost* sama dengan hasil di *Fmincon* sebesar 2.288e+08, yang membedakan disini

adalah *function count* lebih besar dari pada di *Fmincon* yaitu menyentuh diangka 3800 dan di generasi 94 barulah mencapai hasil yang sesuai dengan *cost function*, *design variable* dan *constraint* yang telah ditetapkan disini pula nilai dari *Npv* dan *Nwt* sama dengan hasil pada *Fmincon* yaitu sebesar 74 untuk *Npv* dan 1 untuk *Nwt* (hasil setelah dibulatkan)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Untuk mencari nilai dari biaya perawatan tahunan (*annual maintenance cost*) dari sistem pembangkit energi hibrid *wind turbine* dan solar panel diperlukan menentukan *cost function*, *design variable*, dan *constraint* terlebih dahulu lalu menentukan banyaknya solar panel dan *wind turbine* yang telah ditentukan dalam *cost function* dan bervariasi x dalam matlab. Untuk *annual maintenance cost* dalam matlab dapat dilihat pada grafik diatas pada tulisan best dan mean yang bernilai sama, untuk metode yang efektif dalam pencarian C_M , N_{pv} dan N_{wt} dapat disimulasikan metode *Genetic Alghorithm* (GA). Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode optimasi *fmincon* dan GA dapat digunakan untuk menentukan jumlah *wind turbine* dan solar panel yang dibutuhkan, sehingga dapat menyediakan jumlah energi yang cukup, namun dengan biaya perawatan tahunan yang paling sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sawle, S. C. Gupta, and A. K. Bohre, "Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 2217–2235, 2018.
- [2] A. D. Dhass and H. Santhanam, "Cost effective hybrid energy system employing solar-wind-biomass resources for rural electrification," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 222–229, 2013.
- [3] N. A. Ludin, N. A. A. Affandi, N. H. Hamid, M. M. Junedi, K. Purvis-Roberts, and S. Jusof, "Sustainability and Life-Cycle Cost Analysis of Solar Photovoltaic-Generation Systems in ASEAN Countries," in *Energy Sustainability and Climate Change in ASEAN*, Springer, 2021, pp. 277–302.
- [4] F. Egli, B. Steffen, and T. S. Schmidt, "A dynamic analysis of financing conditions for renewable energy technologies," *Nat. Energy*, vol. 3, no. 12, pp. 1084–1092, 2018.
- [5] B. Steffen, M. Beuse, P. Tautorat, and T. S. Schmidt, "Experience curves for operations and maintenance costs of renewable energy technologies," *Joule*, vol. 4, no. 2, pp. 359–375, 2020.
- [6] A. Suryadi, P. T. Asmoro, and A. Solihin, "Hybrid electric power plant using wind turbine savonius helix and solar cell as an alternative power source in the lightning tower at flashing lights," *ADI J. Recent Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [7] H. Harmini and T. Nurhayati, "Pemodelan sistem pembangkit hybrid energi solar dan angin," *Elektrika*, vol. 10, no. 2, pp. 28–32, 2018.
- [8] P. Nema, R. K. Nema, and S. Rangnekar, "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 2096–2103, 2009.
- [9] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998.
- [10] N. F. Istighfarin, R. A. Rahmastati, and H. Nugroho, "Penerapan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) Dan Genetic Algorithm (GA) Pada Sistem Optimasi Visible Light Communication (VLC) Untuk Menentukan Posisi Robot," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 279–286, 2020.
- [11] R. H. Sianipar, *Dasar Sistem Kontrol Dengan MATLAB*, vol. 1. Andi Publisher, 2019.