

OPTIMISASI KAPASITAS KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID PV/WG* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Julius A. Tanesab¹, Marthen Liga²

¹Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Elektro-UGM

²Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Elektro-UGM

Jl. Adisucipto, Penfui – Kupang

e-mail : julius_poltek@yahoo.com

ABSTRAKS

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas komponen pembangkit listrik hybrid *PV/WG* yang optimal sesuai dengan kondisi atmosfer dan kebutuhan beban listrik menggunakan algoritma genetika. Pada simulasi ini dihasilkan jumlah komponen pembangkit listrik yang optimal dengan biaya sistem yang minimum tanpa terjadi pelepasan beban (*no rejection load*) selama masa operasi 25 tahun. Tahap awal penelitian adalah mengetahui spesifikasi teknis, *capital cost* dan *maintenance cost* setiap komponen pembangkit listrik system hybrid *PV/WG*. Tahap kedua adalah memilih kombinasi komponen yang mampu memenuhi kebutuhan daya beban dengan data intensitas cahaya matahari, kecepatan angin dan suhu selama satu tahun. Tahap ketiga adalah proses optimisasi hasil kombinasi yang lolos pada tahap kedua menggunakan algoritma genetika dan memilih kombinasi dengan biaya yang terendah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat diaplikasikan untuk mengoptimisasi kapasitas komponen pembangkit listrik hybrid *PV/WG* dengan waktu komputasi sekitar 2 menit menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7. Selain itu sistem pembangkit listrik hybrid *PV/WG* memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan *stand-alone PV* ataupun *WG*.

Kata Kunci : Algoritma genetika, hybrid *PV/WG*, intensitas cahaya matahari, suhu, kecepatan angin

1. PENGANTAR

Energy terbarukan (*renewable energy*) telah menjadi sumber energi alternatif yang penting untuk memenuhi kebutuhan daya listrik konsumen. Dengan demikian maka evaluasi terhadap aplikasi energi terbarukan terus dilakukan agar sistem dapat beroperasi secara optimal.

Dalam penggunaannya, pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan dapat dioperasikan secara sendiri-sendiri (*stand-alone*) ataupun gabungan beberapa sumber energi (*hybrid*). Selain itu, sumber-sumber energi terbarukan tersebut juga dapat diinterkoneksi dengan jaringan *utility (on grid)* maupun berdiri sendiri atau tidak terhubung dengan jaringan *utility (stand-alone/off grid)*.

Analisis ekonomi terhadap gabungan energi fosil, energi matahari dan angin yang tidak terhubung dengan jaringan listrik *utility (off grid)* menunjukkan bahwa energi terbarukan kompetitif dan cocok pada saat *base load*. Selain itu diketahui juga bahwa pemanfaatan satu sumber energi saja akan menyebabkan penggunaan komponen yang berlebihan sehingga meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. Kombinasi satu atau lebih sumber daya energi terbarukan (*hybrid*) akan memperbaiki faktor beban (*load factor*) dan menghemat biaya pemeliharaan sebagai akibat operasi yang saling melengkapi antar sumber energi tersebut.

Tantangan pemanfaatan system *hybrid* pada saat sekarang adalah seberapa kemampuannya untuk melayani beban dalam jangka waktu yang lama (*handal*) dengan biaya sistem yang efisien. Salah satu cara yang dapat dilakukan selain *design system*

adalah mengoptimalkan kapasitas komponen pembangkit listrik system *hybrid (sizing system)*.

Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk mengoptimisasi komponen pembangkit system *hybrid PV/WG* adalah algoritma genetika. Proses optimisasi meliputi seluruh komponen pembangkit *hybrid PV/WG* dan mempertimbangkan keadaan atmosfer seperti intensitas cahaya matahari, kecepatan angin dan suhu yang sangat berpengaruh terhadap daya keluaran system *hybrid PV/WG*. Simulasi optimisasi kapasitas komponen *hybrid PV/WG* dalam penelitian ini menggunakan data keadaan atmosfer di Kab. Sleman, DIY. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan referensi untuk perencanaan pembangkit listrik sistem hybrid *PV/WG* di wilayah Yogyakarta.

2. PEMODELAN SYSTEM HYBRID PV/WG

Daya output maksimum $P_M^i(t)$ (W), dari PV array pada hari i ($1 \leq i \leq 365$) dan pada jam t ($1 \leq t \leq 24$), dihitung menggunakan spesifikasi dari modul PV dibawah Standard Test Condition, yang disediakan oleh pabrik, dan juga ambient temperature dan irradiance condition, sesuai dengan persamaan-persamaan berikut :

$$P_M^i(t) = N_s \cdot N_p \cdot V_{oc}^i(t) \cdot I_{sc}^i(t) \cdot FF^i(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$I_{sc}^i(t) = \{I_{sc,STC} + K_I [T_c^i(t) - 25^\circ]\} \frac{G^i(t)}{1000} \dots\dots (2)$$

$$V_{oc}^i(t) = V_{oc,STC} - K_V \cdot T_c^i(t) \dots\dots\dots (3)$$

$$T_c^i(t) = T_A^i(t) + \frac{NCOT - 20}{800} G^i(t) \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- $P_M^i(t)$: daya output maksimum PV array pada hari i (($1 \leq i \leq 365$) dan pada jam t ($1 \leq t \leq 24$), watt
- N_s : jumlah modul PV yang terhubung seri
- N_p : jumlah modul PV yang terhubung paralel
- $V_{oc}^i(t)$: tegangan *open circuit* modul PV (volt)
- $I_{sc}^i(t)$: arus *short-circuit* modul PV (ampere)
- $FF^i(t)$: *fill factor*
- $I_{sc,STC}^i(t)$: arus *short-circuit* modul PV (A)
- K_i : koefisien temperatur arus *short-circuit* ($A^\circ C$)
- $G^i(t)$: radiasi matahari pada modul PV (W/m^2)
- $V_{oc}^i(t)$: tegangan *open circuit* modul PV (volt)
- K_v : koefisien temperatur tegangan *open circuit*
- NCOT : Nominal Cell Operating Temperature
- $T_c^i(t)$: ambient temperature ($^\circ C$)

Jumlah battery charger PV array, N_{ch}^{PV} adalah jumlah total blok pembangkit PV yang dihitung dengan persamaan :

$$N_{ch}^{PV} = \frac{N_{PV} \cdot P_{PV}^m}{P_{ch}^m} \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- N_{ch}^{PV} : Jumlah modul PV
- P_{PV}^m : Daya maksimum dari sebuah modul PV (W)
- P_{ch}^m : Rating daya battery charger (W)

Selama proses optimisasi, daya yang ditransfer ke battery bank pada jam t dan hari i dengan tinggi menara WG adalah h, $P_{WG}^i(t, h)$ dihitung menggunakan hubungan linear :

$$P_{WG}^i(t, h) = P1 + [v^i(t, h) - v1] \frac{P2 - P1}{v2 - v1} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- $v^i(t, h)$: kecepatan angin pada tinggi h (m/s)
- ($P2 - P1$), ($v2 - v1$) : pasangan daya WG dan kecepatan angin dengan constrain/kekangan
- $v1 < v^i(t, h) < v2$

Untuk memperkirakan kecepatan angin $v^i(t, h)$ pada tinggi menara h yang diinginkan, maka dapat digunakan hukum eksponensial dengan memperhitungkan tinggi menara referensi :

$$v^i(t, h) = v_{ref}^i(t) \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^a \dots\dots\dots(7)$$

dimana : $v_{ref}^i(t)$: Kecepatan angin referensi (m/s)

h_{ref} : tinggi referensi (m)

a : bilangan hukum eksponent, berkisar 1/7 dan 1/4

Pada proses optimisasi maka desain awal dari proses menentukan ukuran yang optimal sebuah battery bank adalah:

$$C_{min} = DOD \cdot C_n \dots\dots\dots(8)$$

dimana : C_{min} : kapasitas minimum yang diijinkan selama discharging (Ah)

C_n : total kapasitas nominal (Ah)

DOD : *depth of discharge*

Energi yang dihasilkan oleh PV dan WG serta kebutuhan daya beban menentukan proses pengisian/pengecasan selama periode simulasi yang dihitung dengan persamaan :

$$C^i(t) = C^i(t - 1) + n_B \frac{P_B^i(t)}{V_{bus}} \Delta t \dots\dots\dots(9)$$

dimana : $C^i(t), C^i(t - 1)$: kapasitas battery yang tersedia pada jam t dan t-1, hari i.

n_B : 80% adalah *battery round-trip* selama pengecasan dan 100% selama *discharging*

V_{BUS} : bus tegangan DC (V)

$P_B^i(t)$: daya input ataupun output baterai (W)

Δt : step waktu simulasi, untuk penelitian ini Δt sama dengan 1 jam

Kapasitas nominal baterai bank (C_n) berhubungan dengan jumlah total baterai yang terhubung N_{bat} , jumlah baterai yang terhubung seri n_B^s dan kapasitas nominal setiap baterai C_B yang mengikuti persamaan :

$$C_n = \frac{N_{bat}}{n_B^s} C_B \dots\dots\dots(10)$$

Total daya dari sumber PV dan WG, $P_{re}^i(t)$, yang ditransfer ke battery bank selama hari i ($1 \leq i \leq 365$) dan jam t ($1 \leq t \leq 24$) dihitung dengan rumus :

$$P_{re}^i(t) = N_{PV} \cdot P_{PV}^i(t) + N_{WG} \cdot P_{WG}^i(t, h) \dots\dots\dots(11)$$

dimana : N_{PV} : jumlah total modul PV

N_{WG} : jumlah total WG

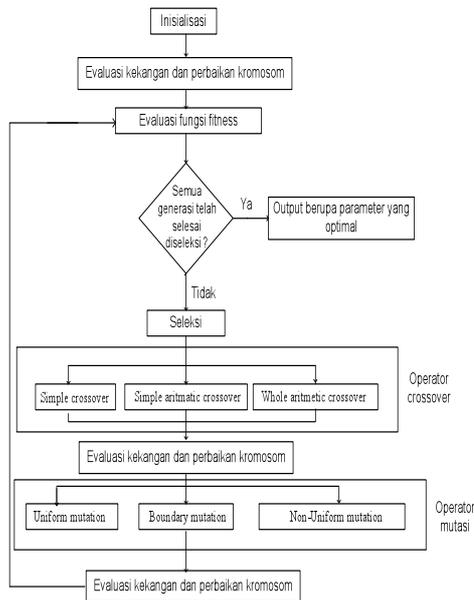
Input daya inverter DC/AC, $P_L^i(t)$, berhubungan dengan daya yang dikonsumsi oleh beban $P_{load}^i(t)$ dan efisiensi konverter DC/AC, n_i ,

yang dirumuskan : $P_L^i(t) = \frac{P_{load}^i(t)}{n_i} \dots\dots\dots(12)$

3. ALGORITMA GENETIKA

Algoritma genetika merupakan metode penyelesaian yang terinspirasi oleh prinsip genetika dan seleksi alam yang dikemukakan oleh Darwin.

Struktur umum dari suatu algoritma genetika digambarkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Proses optimisasi menggunakan algoritma genetika

4. OPTIMISASI MENGGUNAKAN GA

Sebuah tipikal kekangan variabel optimisasi tunggal dapat digambarkan sebagai berikut :
Maximize_x f(x)

Dengan kekangan (*constraint*) : $x_{min} \leq x \leq x_{max}$

Total fungsi biaya sistem ($J(x)$) sama dengan jumlah total biaya kapital $C_c(x)$ dan biaya pemeliharaan $C_m(x)$.

$$\min_x \{J(x)\} = \min_x \{C_c(x) + C_m(x)\}$$

x adalah vektor dari variabel keputusan dan biaya kapital adalah harga masing-masing komponen sesuai dengan spesifikasinya.

Multi-objective optimization dicapai dengan meminimasi total fungsi biaya yang terdiri dari jumlah biaya kapital dan biaya pemeliharaan. Dalam penelitian ini digunakan waktu 25 tahun, maka persamaannya adalah :

$$\begin{aligned} J(N_{PV}, N_{WG}, N_{BAT}, N_{ch}^{PV}, h) \\ = N_{PV} \cdot (C_{PV} + 20 \cdot M_{PV}) + N_{WG} \cdot (C_{WG} + 25 \cdot M_{WG} + h \cdot C_h + 20 \cdot h \cdot C_{hm}) \\ + N_{bat} \cdot [C_{bat} + y_{bat} \cdot C_{bat}] + (20 - y_{bat} - 1) \cdot M_{bat} + N_{ch}^{PV} \cdot C_{ch}^{PV} \cdot (y_{ch}^{PV} + 1) \\ + N_{ch}^{PV} \cdot M_{ch}^{PV} \cdot (20 - y_{ch}^{PV} - 1) + C_{inv} \cdot (y_{inv} + 1) \cdot M_{inv} \cdot (20 - y_{inv} - 1) \end{aligned}$$

Kekangan optimisasi adalah :

$$\begin{aligned} N_{PV} &\geq 0 \\ N_{WG} &\geq 0 \\ N_{bat} &\geq 0 \\ N_{ch}^{PV} &\geq 0 \\ h_{low} &\leq h \leq h_{high} \end{aligned}$$

5. METODE PENELITIAN

5.1 Materi Penelitian

Materi penelitian adalah persoalan optimisasi kapasitas komponen pembangkit *hybrid* PV/WG yang tidak terhubung dengan jaringan *utility* (*off grid*). Sampel penelitian adalah komponen-komponen unit pembangkit listrik *hybrid* yaitu battery charger, PV modul, turbin angin, battery bank, dan inverter.

5.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk proses komputasi adalah komputer Intel Core 2 Duo, RAM 1 GB dengan sistem operasi windows XP dan bahasa pemrograman Delphi 7.

5.3 Jalan Penelitian

Caranya melaksanakan penelitian dibagi dalam beberapa langkah :

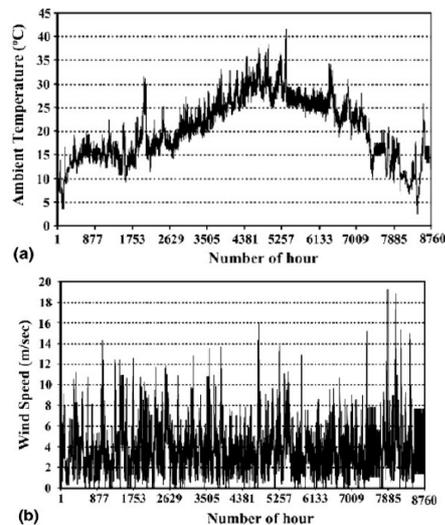
- Mengetahui spesifikasi komponen system hybrid PV/WG yaitu battery charger, PV modul, turbin angin, battery bank, dan inverter.
- Memilih kombinasi yang mungkin dari masing-masing komponen system hybrid PV/WG
- Proses optimisasi kapasitas unit pembangkit listrik tenaga hybrid dengan memperhatikan daya yang dibutuhkan oleh konsumen, radiasi matahari, temperatur dan kecepatan angin.
- Memilih kombinasi dengan biaya yang terendah

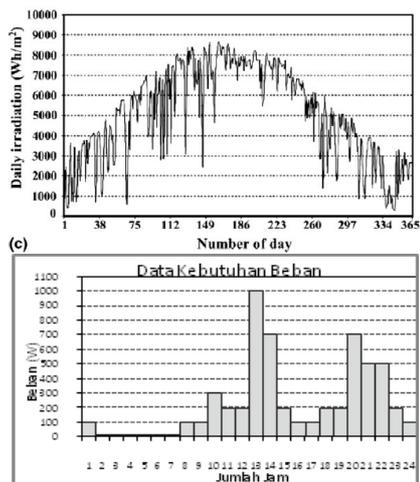
5.4 Variabel Penelitian

Data penelitian terdiri dari spesifikasi teknis komponen system hybrid PV/WG. Selain data komponen system maka diperlukan juga data kebutuhan daya beban, radiasi matahari, temperatur dan kecepatan angin. Variabel penelitian adalah arus, tegangan, daya serta biaya pada saat proses optimisasi

6. HASIL PENELITIAN

Proses optimisasi kapasitas pembangkit listrik hybrid PV/WG berbasis algoritma genetika menggunakan data-data seperti di bawah ini.





Gambar 2. a. Data suhu/jam selama 1 tahun. b. Data kecepatan angin/jam selama 1 tahun. c. Data intensitas cahaya matahari/jam selama 1 tahun. d. Data beban harian

Berdasarkan data-data di atas maka dilakukan perhitungan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7. Hasil optimisasi kapasitas pembangkit listrik hybrid PV/WG seperti pada tabel di bawah.

Tabel 1. Hasil optimisasi kapasitas komponen pembangkit listrik PV/WG

A	Jumlah komponen					G
	B	C	D	E	F	
1	11	4	12	5	14	40182.60
2	16	3	8	7	15	41439.07
3	11	3	15	5	15	37523.80
4	12	4	13	5	14	38231.65
5	9	6	16	4	15	41900.67
6	21	15	10	9	15	53246.56
7	10	4	11	4	15	38977.23
8	19	3	6	8	14	40498.27
9	21	3	11	9	15	39176.08
10	20	3	14	8	15	40443.32

Keterangan tabel. A : Kombinasi, B : Jumlah PV, C : Jumlah WG, D : Jumlah Battery, E : Jumlah Charger, F : Tinggi tower WG, G : Biaya (\$)

Pada tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa biaya terendah hasil optimisasi terdapat pada kombinasi ke 3. Pada kombinasi ke 3, jumlah komponen WG lebih sedikit dibandingkan dengan kombinasi yang lain namun kombinasi tersebut dapat memenuhi kebutuhan daya listrik pada beban selama satu tahun tanpa pelepasan beban. Hal ini disebabkan oleh jumlah komponen battery yang cukup untuk menyimpan energi listrik selama tidak ada daya listrik yang dihasilkan oleh PV dan WG. Jika dibandingkan dengan hasil kombinasi yang lain maka dapat diketahui bahwa *capital cost* dan *maintenance cost* masing-masing komponen turut berpengaruh terhadap biaya sistem.

Selain hasil optimisasi kapasitas komponen pembangkit listrik *hybrid*, dalam penelitian ini juga

dilakukan optimisasi terhadap *stand-alone* PV dan WG. Hasil optimisasi seperti pada tabel di bawah.

Tabel 2. Hasil optimisasi kapasitas komponen pembangkit listrik *stand-alone* WG

A	Jumlah komponen			E
	B	C	D	
1	4	11	15	43850.20
2	5	21	15	46595.34
3	29	19	14	143283.32
4	28	45	14	143787.21

Keterangan tabel. A : Kombinasi, B : Jumlah WG, C : Jumlah Battery, D : Tinggi tower, E : Biaya (\$)

Tabel 3. Hasil optimisasi kapasitas komponen pembangkit listrik *stand-alone* PV

A	Jumlah komponen			E
	B	C	D	
1	57	26	23	8850.20
2	60	59	25	92846.34
3	75	23	31	97644.32
4	58	28	24	96654.21

Keterangan tabel. A : Kombinasi, B : Jumlah PV, C : Jumlah Battery, D : Jumlah Charger, E : Biaya (\$)

Jika dilakukan perbandingan hasil optimisasi pada tabel 1 terhadap tabel 3 maka dapat diketahui bahwa pemanfaatan pembangkit listrik *hybrid* PV/WG relatif memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan *stand-alone* PV ataupun WG.

PUSTAKA

- C. Blum, D. Merkle, Swarm Intelligence (Introduction and Applications), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- D. J. Bellala and M. Chaabane, Optimization by Continuous Genetic Algorithm of the Maximum Photovoltaic Power Tracking under Different Climatic Condition, Asian Journal of Information Technology 6 (6):715-719, 2007.
- E. Koutroulis, D. Kolokotsa, A. Potirakis, K. Kalaitzakis, Methodology for optimal sizing of Stand-Alone Photovoltaic/Wind-Generator Systems, Solar Energy 80 (2006) 1072-1088.
- J. Ab. Razak, K. Sopian, Y. Ali, Optimization of Renewable Energy Hybrid System by Minimizing Excess Capacity, International Journal of Energy, Issue 3, Vol. 1., 2007.
- K. Premalatha and A. M. Natarajan, Hybrid PSO and GA for Global Maximization, Int. Journal Open Problems Compt. Math., Vol. 2, No. 4, 2009.
- K. Sopian, Optimal Operational Strategy for Hybrid Renewable Energy System Using Genetic Algorithms, WSEAS Transactions on Mathematics, 2008.
- M. Gen, R. Cheng, Genetic Algorithms and Engineering Optimization, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2000

- M. O. L. Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbines*, Second Edition, Earthscan UK and USA, 2008
- M. Gen, R. Cheng, L. Lin, *Network Models and Optimization (Multiobjective Genetic Algorithm Approach)*, Springer-Verlag London, 2008.
- N. Huangpornpitak, S. Kumar (2005), *PV Hybrid Systems for Rural Electrification in Thailand*, *Electronic Journal, Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Available : <http://www.elsevier.com/locate/rser>.
- R. L. Haupt, S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Second Edition, Wiley Interscience, Canada, 2004
- S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, *A Methodology For Optimal Sizing of Autonomous Hybrid PV/Wind System*, *Solar Energy* 78 (2006) 382-395.
- S. Kusumadewi, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Graha Ilmu, 2004.