

Optimasi Sudut Penyimpangan Panel Surya Terhadap Garis Lintang dengan Metode Algoritma Genetika, Studi Kasus: Kampus Politeknik Negeri Lhokseumawe

Yassir¹, Zamzami², Zulfikar³, M. Basyir⁴, Eliyani⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹yassir@pnl.ac.id

Abstrak— Sudut kemiringan, arah panel surya dan sudut penyimpangan terhadap garis lintang (*azimuth*) pemasangan tetap dapat mempengaruhi total daya yang dihasilkan panel surya (PV). Penelitian ini mengusulkan optimalisasi sudut permukaan azimuth PV pemasangan tahunan dengan metode algoritma genetika (GA). Algoritma genetika menginisialisasi *azimuth angle* dengan batasan yang ditetapkan, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya output PV paling maksimum dengan proses *crossover*, mutasi dan seleksi. Algoritma dibatasi dengan 50 generasi. Hasil menunjukkan energy yang diterima PV setelah optimasi sudut azimuth mengalami peningkatan sebesar 3 kWh/tahun/m².

Kata kunci— Photovoltaic, sudut azimuth, arah panel, optimasi, renewable energy.

Abstract— The tilt angle, the direction of the solar panel and the angle of deviation towards the latitude (*azimuth*) of the installation can still affect the total power generated by the solar panel (PV). This study proposes the optimization of the azimuth angle of the annual PV installation using the genetic algorithm (GA) method. Genetic algorithm initializes the azimuth angle with the specified limits, then a calculation is performed to get the maximum PV output power value with the crossover, mutation and selection processes. The algorithm is limited to 50 generations. The results show that the energy received by PV after azimuth angle optimization has increased by 3 kWh/year/m².

Keywords— Photovoltaic, azimuth angle, direction, optimization, renewable energy.

I. PENDAHULUAN

Matahari selalu mengalami perubahan jalur dalam satu tahun ke arah lintang (arah selatanutara). Kisaran pergerakan jalur matahari adalah dari 23° 0,26' lintang utara sampai 23° 0,26' lintang selatan. Panel surya yang terpasang diam (tidak mengikuti pergerakan matahari) dapat mengurangi biaya perawatan dan konsumsi daya untuk peralatan tambahan. Akan tetapi kendala akibat pemasangan diam mengakibatkan panel surya tidak dapat menangkap secara maksimal pancaran sinar matahari sepanjang hari dan juga adanya perubahan garis lintang matahari (*latitude*) dalam waktu satu tahun, sehingga energi listrik yang dibangkitkan tidak maksimal. Untuk mengatasi kendala pada panel sel surya yang diam, maka perlu dilakukan optimalisasi arah dan sudut pemasangan panel surya sehingga akan didapat energi listrik yang dibangkitkan lebih optimal [1].

Sudut kemiringan (*tilt angle*) panel surya adalah sudut panel surya pada arah *latitude* terhadap garis horizontal, dan sudut azimuth adalah sudut penyimpangan panel surya terhadap garis lintang. Sudut kemiringan dan sudut azimuth panel surya pemasangan tetap sangat mempengaruhi total daya yang dapat dihasilkan panel surya [2]. Penelitian ini mengusulkan optimalisasi sudut permukaan azimuth panel surya pemasangan tahunan dengan metode algoritma genetika (GA) .

Yassir (2017) telah melakukan penelitian tentang sudut kemiringan optimal pemasangan panel surya di Aceh dengan menggunakan metode algoritma genetika. Hasil penelitian menunjukkan pemasangan dengan sudut optimal sebesar 4°-6° menghadap selatan dapat meningkatkan energy yang diterima panel surya .

George (2012) menyelidiki konfigurasi dari panel panel surya berdasarkan sudut kemiringan bulanan dan musiman yang optimal di Kerala India dengan menggunakan metode faktor geografis, metode indeks kejelasan dan metode sudut deklinasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menyesuaikan panel berdasarkan sudut optimum bulanan dapat menghasilkan energi 3 persen lebih besar dari pada optimasi panel berdasarkan sudut musiman [3].

Sebuah studi Handoyo (2013) menunjukkan bahwa pada kolektor panel surya yang dipasang di Surabaya, pada bulan Maret sampai September, sudut kemiringan optimum berkisar dari 0 ° sampai 40 ° ke arah utara, sedangkan pada bulan Oktober sampai Maret, sudut optimum berkisar dari 0 ° sampai 30 ° ke arah selatan [4].

Salah satu teknik untuk menyelesaikan masalah optimalisasi dapat digunakan metode optimasi global heuristic. Penggunaan metode heuristic sudah banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah Optimalisasi, seperti *evolutionary programming* (EP), *differential evolution* (DE), *particle swarm optimization* (PSO), dan Algoritma Genetika (AG) [5].

Pada penelitian ini diusulkan metode algoritma genetika untuk mengoptimalkan arah dan sudut permukaan azimuth pemasangan panel surya. Pengkodean kromosom menggunakan *real coding* dengan fungsi fitness yang melibatkan radiasi langsung (H_B), radiasi diffuse (H_D) dan radiasi pantul (H_R) untuk memperoleh total rata-rata radiasi matahari harian pada permukaan bidang miring (H_T) yang dapat diterima panel surya [6].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Radiasi Matahari

Radiasi matahari rata-rata perbulan dalam satu tahun didapatkan dari website NASA *Surface Meteorologi* dan *Solar Energy* dengan koordinat wilayah Kampus Politeknik Negeri Lhokseumawe 05° 12' LU dan 97° 21' BT[7].

Total rata-rata radiasi matahari harian pada permukaan bidang miring (H_T) yang dapat diterima panel surya dihitung dengan menggunakan model matematika perkiraan potensi energi surya dan kemampuan teknologi surya [2] yaitu dengan mempertimbangkan radiasi langsung (H_B), radiasi diffuse (H_D) dan radiasi pantul (H_R) [8]. Sehingga,

$$H_T = H_B + H_D + H_R \quad (1)$$

Dimana H_B adalah radiasi sinar harian langsung yang diterima pada permukaan miring (KWH/m².hari) dapat dinyatakan sebagai:

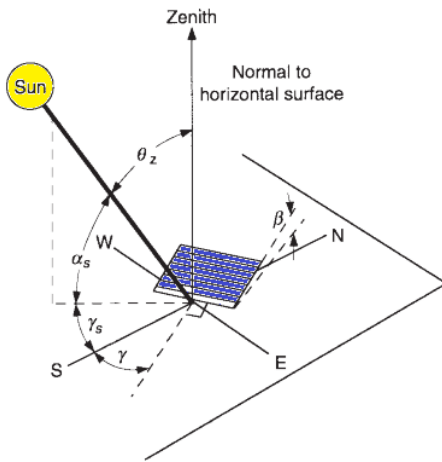
$$H_B = (H_g - H_d) \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (2)$$

dengan:

- H_g : Rata-rata radiasi global bulanan pada permukaan horizontal bumi (kWh/m²/d)
- H_d : Rata-rata radiasi difuse bulanan pada permukaan horizontal bumi (kWh/m²/d)
- θ_z : sudut zenith (°)
- θ : sudut datang (°)

Rata-rata radiasi bulanan pada koordinat 05.18° LU dan 97° BT ditunjukkan pada Tabel 1.

Gambar 1 menunjukkan sudut zenit, sudut datang pada permukaan bidang miring.



Gambar 1. Sudut Azimuth, sudut zenith, sudut datang, dan sudut kemiringan panel surya

Sudut datang menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta)\sin(\varphi)\cos(\beta) - \\ & \sin(\delta)\cos(\varphi)\sin(\beta)\cos(\gamma) + \\ & \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\beta)\cos(\omega) + \\ & \cos(\delta)\sin(\varphi)\sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\omega) + \\ & \cos(\delta)\sin(\beta)\sin(\gamma)\sin(\omega) \end{aligned} \quad (3)$$

Sudut zenith menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \cos\theta_z = & \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) + \\ & \sin(\varphi)\sin(\delta) \end{aligned} \quad (4)$$

dengan:

- φ : garis lintang (°)
- δ : solar declination (°)
- ω : hour angle (°)
- β : sudut kemiringan panel (°)
- γ : sudut permukaan azimuth (°)

Solar declination berdasarkan persamaan berikut.

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right) \quad (5)$$

H_D dihitung dengan :

$$H_D = (H_g \rho) \left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right) \quad (6)$$

dengan:

ρ : ground albedo

H_R adalah radiasi pantul yang dihitung dengan :

$$H_R = H_d R_d \quad (7)$$

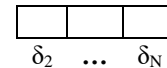
Dimana R_d adalah perbandingan radiasi diffuse harian pada sudut miring terhadap permukaan horizontal

B. Algoritma Genetika

1) Inisialisasi Populasi

Suatu matriks dengan nilai pada setiap elemennya berupa bilangan acak antara 0 dan 1 dibangkitkan. Dalam populasi tersebut, satu baris adalah satu individu, setiap individu terdapat beberapa kromosom yang dikodekan sebagai variabel kontrol yaitu sudut azimuth panel surya selama 12 bulan dalam satu tahun sesuai batasan nilai minimum dan maksimumnya. Gambar 2 menunjukkan struktur kromosom AG yang mewakili seluruh variabel control. Skema pengkodean kromosom yang digunakan dalam penelitian ini adalah *real number encoding* [9].

$$x_i = x_{\min} + (x_{\max} - x_{\min}) \cdot \text{kromosom} \quad (8)$$



Gambar 2. Struktur kromosom AG

2) Nilai Fitness

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performasinya. Fungsi yang digunakan untuk mengukur nilai kecocokan atau derajat optimalitas suatu kromosom disebut dengan *fitness function*. Nilai yang dihasilkan dari fungsi tersebut menandakan seberapa optimal solusi yang diperoleh.

Dalam kasus yang dibahas dalam penelitian ini tujuannya adalah optimum maka fitness adalah nilai paling maksimum. Fungsi tujuannya adalah untuk mencari radiasi total yang mengenai PV paling optimal dengan sudut kemiringan dan sudut azimuth yang tetap dengan batasan-batasan yang terpenuhi sehingga jika semua batasan telah terpenuhi, *fitness* dapat dihitung dari variabel tersebut.

Dengan melibatkan batasan-batasan pertidaksamaan maka fitness ditunjukkan pada persamaan [10].

$$Fitness = \sum_{i=1}^{n_z} H_B + H_D + H_R \quad (9)$$

TABEL I.
RATA-RATA RADIASI BULANAN

Lat 5,18 Lon 97,8	Bulan											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Declination	-20.7	-12.3	-1.8	9.71	18.8	23	21.2	13.7	3.08	-8.45	-18.1	-22.8
Global Radiation	5.39	5.75	5.79	5.64	5.01	4.99	4.9	4.81	4.74	4.67	4.66	4.88
Diffuse Radiation	1.78	1.93	2.13	2.18	2.15	2.06	2.1	2.22	2.29	2.17	1.98	1.82
Albedo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

C. Tahapan Penelitian

Tahap-tahap penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mendapatkan data yang meliputi radiasi global harian, radiasi *diffuse* harian dan data *ground albedo*.
2. Membangkitkan populasi awal.
3. Mendekodekan variable sudut azimuth panel surya (γ) dengan batasan yang ditentukan.
4. $X_i = X_{min} + (X_{max} - X_{min})$ kromosom
5. Evaluasi individu untuk mencari fitness terbaik dengan menghitung total radiasi yang dapat diterima panel surya pada bidang miring (kWh/m²/hari).

$$Fitness = \sum_{i=1}^{n_g} H_B + H_D + H_R$$

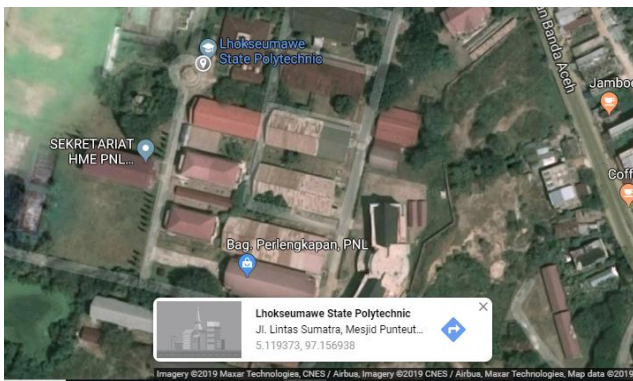
6. Melakukan proses seleksi dengan metode *tournament selection*, elitisme, pindah silang dan mutasi.
7. Ulangi langkah 4 - 5 sampai generasi maksimum.

Tampilkan total radiasi harian, dan sudut azimuth panel surya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Penelitian dilakukan untuk mengetahui sudut azimuth panel surya pemasangan di Lhokseumawe pada 05.12° LU dan 97° BT seperti ditunjukkan Gambar 3. Hasil dari simulasi pada penelitian ini dapat dirinci menjadi beberapa bagian, yaitu hasil simulasi sebelum optimasi sudut azimuth panel surya dan simulasi setelah optimasi tahunan sudut azimuth panel surya. Tabel 1 menunjukkan rata-rata radiasi bulanan..



Gambar 3. Kampus Politenik Negeri hokseumawe (05.12° LU dan 97.15° BT)

1. Sudut azimuth panel sebelum optimasi

Simulasi untuk mengetahui energi matahari yang dapat diterima panel pada sudut azimuth sejajar dengan garis lintang

dengan sudut kemiringan sebesar 10° ke arah selatan. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi sebelum dilakukan optimasi sudut aziuth panel surya.

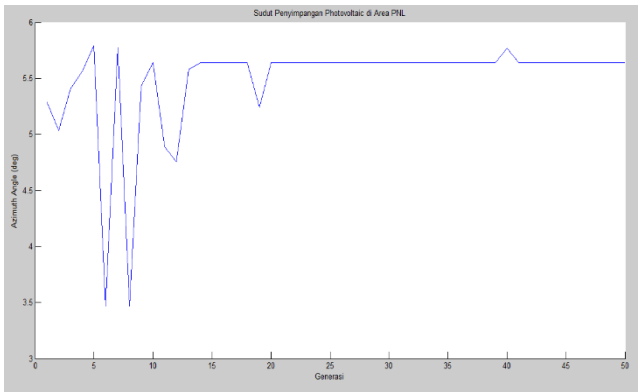
```

===== Total Energi diterima Panel Surya =====
Sudut Penyimpangan Panel = 0.00 deg
1. Radiasi matahari harian bulan Januari = 5.55 kWh/m2/day
2. Radiasi matahari harian bulan Pebruari = 5.85 kWh/m2-day
3. Radiasi matahari harian bulan Maret = 5.81 kWh/m2-day
4. Radiasi matahari harian bulan April = 5.58 kWh/m2-day
5. Radiasi matahari harian bulan Mei = 4.91 kWh/m2-day
6. Radiasi matahari harian bulan Juni = 4.86 kWh/m2-day
7. Radiasi matahari harian bulan Juli = 4.79 kWh/m2/day
8. Radiasi matahari harian bulan Agustus = 4.74 kWh/m2/day
9. Radiasi matahari harian bulan september = 4.72 kWh/m2-day
10. Radiasi matahari harian bulan Oktober = 4.71 kWh/m2-day
11. Radiasi matahari harian bulan November = 4.76 kWh/m2-day
12. Radiasi matahari harian bulan Desember = 5.03 kWh/m2-day
Energi total pertahun = 1864.89 kWh/m2-year
    
```

Gambar 4. Radiasi matahari yang diterima PV sebelum optimasi.

2. Sudut Azimuth Panel Optimal

Optimasi sudut azimuth optimal tahunan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5. Sudut azimuth panel pemasangan tetap adalah sebesar 5,64° menghadap ke arah selatan. Tabel 3 menunjukkan energi yang dapat diterima panel setelah optimasi sudut kemiringan tahunan. Total energi yang dapat diterima panel surya selama setahun adalah sebesar 1,87 MWh/m²/tahun.



Gambar 5. Sudut azimuth panel surya optimal tahunan

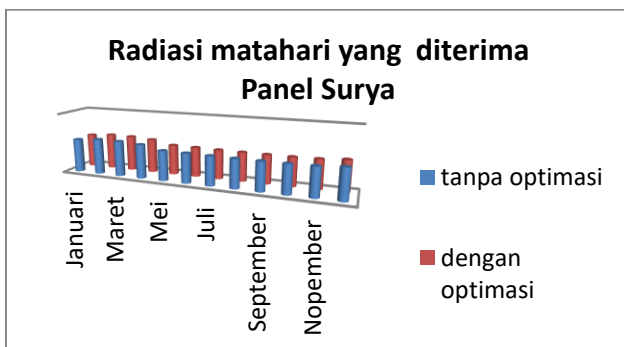
```

===== Total Energi diterima Panel Surya =====
Sudut Penyimpangan Panel = 5.64 deg
1. Radiasi matahari harian bulan Januari = 5.56 kWh/m2/day
2. Radiasi matahari harian bulan Pebruari = 5.86 kWh/m2-day
3. Radiasi matahari harian bulan Maret = 5.82 kWh/m2-day
4. Radiasi matahari harian bulan April = 5.59 kWh/m2-day
5. Radiasi matahari harian bulan Mei = 4.92 kWh/m2-day
6. Radiasi matahari harian bulan Juni = 4.87 kWh/m2-day
7. Radiasi matahari harian bulan Juli = 4.79 kWh/m2/day
8. Radiasi matahari harian bulan Agustus = 4.75 kWh/m2/day
9. Radiasi matahari harian bulan september = 4.73 kWh/m2-day
10. Radiasi matahari harian bulan Oktober = 4.72 kWh/m2-day
11. Radiasi matahari harian bulan November = 4.77 kWh/m2-day
12. Radiasi matahari harian bulan Desember = 5.04 kWh/m2-day
Energi total pertahun = 1867.89 kWh/m2-year
    
```

Gambar 6. Radiasi matahari yang diterima PV setelah optimasi

B. Pembahasan

Simulasi dilakukan menggunakan sudut kemiringan optimal [1] dengan sudut 4-6° menghadap selatan. Simulasi saat menggunakan sudut permukaan azimuth tanpa optimasi menghasilkan energi sebesar 1864,89 kWh/year/m². Sementara simulasi dengan optimasi sudut permukaan azimuth dapat menghasilkan energi sebesar 1867,89 kWh/year/m² dengan sudut azimuth sebesar 6° ke arah timur. Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan peningkatan energi yang diterima panel setelah optimasi sudut azimuth setiap bulannya.



Gambar 7. Perbandingan radiasi matahari yang diterima panel dengan optimasi dan tanpa optimasi sudut permukaan azimuth

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini metode algoritma genetika diusulkan untuk mendapatkan sudut permukaan azimuth paling optimal panel surya pemasangan tetap periode tahunan untuk kawasan Politeknik Negeri Lhokseumawe. Simulasi optimasi sudut permukaan azimuth yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan pemasangan panel tanpa optimasi. Peningkatan energi yang dapat diterima panel sebesar 3 kWh/year/m². Sudut permukaan azimuth optimal untuk pemasangan kawasan Lhokseumawe yang diusulkan sebesar 5,64 derajat ke arah timur.

NOMENCLATURE

- φ : garis lintang (°)
- δ : solar declination (°)
- ω : hour angle (°)
- β : sudut kemiringan panel (°)
- γ : sudut permukaan azimuth (°)

ACKNOWLEDGMENT

Kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi sehingga terlaksananya penelitian ini. Terima kasih kepada Ketua P3M PNL Dr. Saifuddin, dan Dr.. Nelly Safitri serta semua staf di unit P3M PNL. Terima kasih juga kepada Ketua Jurusan Teknik Elektro dan semua staf pada Jurusan Teknik Elektro. Penelitian ini dibiayai dengan dana DIPA PNL tahun 2019.

REFERENSI

- [1] Yassir, "Optimizing the Tilt Angle and Direction of Solar Panels in Aceh with Genetic Algorithm Method," vol. 04, no. 12, pp. 56–64, 2017.
- [2] M. Musaruddin, U. Rianse, and A. Rachman, "Halu Oleo University Indonesia towards the green campus through the application of solar energy to support the electricity generation," pp. 151–158, 2015.
- [3] A. G. and R. Anto, "Analytical and experimental analysis of optimal tilt angle of solar photovoltaic systems," 2012 Int. Conf. Green Technol., pp. 234–239, 2012.
- [4] E. A. Handoyo and D. Ichsani, "The Optimal Tilt Angle of a Solar Collector The optimal tilt angle of a solar collector," Phys. Procedia, vol. 32, no. August 2014, pp. 166–175, 2013.
- [5] A. Yassir, U. Zamzami, K. Fauzan, T. Hasannuddin, and Subhan, "Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic: Case Study Sabang-Indonesia," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 536, no. 1, 2019.
- [6] M. Benganem, "Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia," Appl. Energy, vol. 88, no. 4, pp. 1427–1433, 2011.
- [7] P. D. Paul W. Stackhouse, Jr., "NASA Surface meteorology and Solar Energy," 2016, p. 1, 2016.
- [8] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes Solar Engineering. 2013.
- [9] Y. Asnawi, "Voltage Constrained Optimal Power Flow Based Using Genetic Algorithm," J. Kejuruter., vol. 27, pp. 9–14, 2015.
- [10] Suyanto, Algoritma Genetika Dalam Matlab. 2005.