

DOI: doi.org/10.21009/0305020606

PENGATURAN ARAH AZIMUTH DAN SUDUT TILT PANEL PHOTOVOLTAIC UNTUK OPTIMALISASI RADIASI MATAHARI, STUDI KASUS: BANDUNG – JAWA BARAT

Rudi Darussalam^{*)}, Ahmad Rajani, Kusnadi, Tinton Dwi Atmaja

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI
Komp LIPI Bandung, Jl Cisit 21/154D, Gd 20, Lt 2, Bandung,
Jawa Barat 40135, Indonesia

Email: ^{*)}rudi010@lipi.go.id

Abstrak

Makalah ini membahas tentang pengaturan arah panel (*azimuth angle*) dan sudut kemiringan (*tilt angle*) yang bertujuan untuk mengoptimalkan radiasi matahari yang jatuh pada bidang miring panel photovoltaic. Pengaturan arah azimuth dan sudut tilt yang sesuai dengan karakteristik lokasi pemasangan dapat menghasilkan energi listrik yang optimal. Pengaturan sudut tilt panel photovoltaic divariasikan pada sudut kemiringan 5, 10, 15, 20, 25, dan 30° sedangkan pengaturan arah azimuth divariasikan menghadap ke utara dan ke selatan dengan menggunakan data radiasi matahari yang diperoleh dari *NASA Surface Meteorology and Solar Energy*. Penelitian ini dilakukan di Ciparay, Kabupaten Bandung yang merupakan lokasi laboratorium lapangan pembangkit listrik tenaga hybrid dari energi terbarukan. Dari hasil penelitian diperoleh nilai optimal arah azimuth dan sudut tilt panel photovoltaic dari Oktober s.d Februari adalah menghadap selatan dengan sudut berkisar antara 5 - 10° dan dari bulan Maret s.d September menghadap utara dengan sudut berkisar 5 - 25°, sedangkan untuk tipe panel *fixed panel photovoltaic* adalah menghadap ke utara dengan sudut tilt 10°.

Kata-kata kunci: *photovoltaic, sudut tilt, arah azimuth, energi, radiasi matahari, energi terbarukan, fixed panel photovoltaic*

Abstract

This paper discusses about the setup of photovoltaic panel direction (*azimuth angle*) and angle inclination (*tilt angle*) which aim to optimize the total solar radiation on tilted surface photovoltaic panel. Setting of azimuth angle and tilt angle in accordance with characteristic location of installation can produce optimum electrical energy. Setting of tilt angle panel varied on 5, 10, 15, 20, 25 and 30° and setting of azimuth angle varied on facing north and facing south using solar radiation data from *NASA Surface Meteorology and Solar Energy*. This research was conducted in Ciparay, Kabupaten Bandung which is field laboratory hybrid power generation from renewable energy sources. The results of this study found that the optimal tilt angle and azimuth angle are varied between 5 - 10° during October - February with panel facing the south and between 5 - 25° during March - September with panel facing the north. For fixed panel photovoltaic type, the optimal tilt angle is 10° with panel facing to the north.

Keywords: *photovoltaic, tilt angle, azimuth angle, energy, solar radiation, renewable energy, fixed panel photovoltaic*

1. Pendahuluan

Energi matahari merupakan sumber daya alam yang memegang peranan penting untuk masa depan dikarenakan terus berkurangnya bahan bakar fosil [1]. Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan photovoltaic. Indonesia secara global terletak di garis ekuator dimana sinar

matahari dapat diperoleh sepanjang tahun Sehingga sangat berpotensi untuk pemasangan photovoltaic.

Untuk mendapatkan output photovoltaic yang maksimal, salah satu caranya dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan penyerapan radiasi matahari. Pemasangan posisi panel photovoltaic sangat berpengaruh terhadap penyerapan radiasi matahari. Pengaturan posisi panel photovoltaic dilakukan

dengan cara mengatur arah azimuth dan sudut tilt panel photovoltaic [2]. Cara yang paling efektif adalah dengan menggunakan solar tracking otomatis, dimana arah azimuth dan sudut tilt panel photovoltaic dapat diatur secara otomatis mengikuti pergerakan matahari. Tetapi karena faktor finansial dan perawatan peralatan yang tinggi cara ini kurang banyak peminat. Sehingga user lebih memilih panel photovoltaic yang bisa diatur secara manual selama periode tertentu.

Sebuah studi optimalisasi sudut tilt pada solar collector oleh Handoyo [1] melalui penelitiannya di Surabaya menyebutkan bahwa 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. AdityaRachman [3] dalam hasil studinya menginformasikan bahwa konfigurasi teknologi surya dengan penyesuaian sudut panel optimal bulanan di Sulawesi Tenggara dapat meningkatkan energi tahunan yang dihasilkan sebesar 10 persen, dibandingkan dengan metode sudut panel tetap. Sebuah studi oleh Liu Xiangping [4] menunjukkan bahwa penyesuaian kolektor surya berdasarkan sudut kemiringan optimum bulanan dapat memperoleh energi tahunan yang lebih tinggi dari kolektor dengan sudut tetap.

Letak posisi geografi suatu wilayah sangat menentukan untuk optimalisasi arah azimuth dan sudut tilt panel photovoltaic [5]. Sehingga pengaturan arah azimuth dan sudut tilt untuk tiap wilayah berbeda-beda. Kecamatan Ciparay yang ada di wilayah Kabupaten Bandung terletak di koordinat 7° 07' LS 107° 07' BT dijadikan sebagai laboratorium lapangan untuk penelitian photovoltaic. Dari studi-studi sebelumnya belum ada yang melakukan penelitian tentang pengaturan arah azimuth dan sudut tilt yang optimal untuk pemasangan panel photovoltaic di wilayah Bandung.

Makalah ini membahas tentang optimalisasi arah azimuth dan sudut tilt panel photovoltaic di kabupaten Bandung yang bertujuan untuk mengoptimalkan penyerapan radiasi matahari oleh panel photovoltaic.

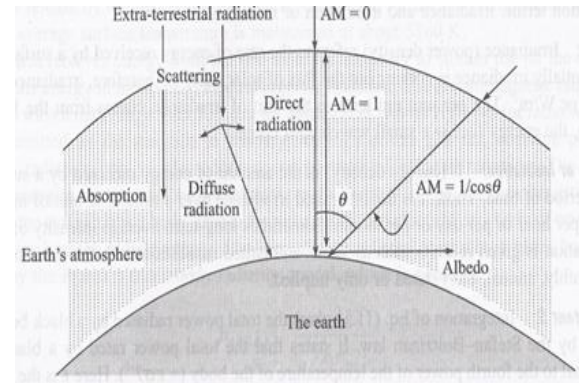
2. Metode Penelitian

Penentuan sudut kemiringan yang optimal pada panel photovoltaic merupakan dasar dari efisiensi pengoperasian alat, karena jika pemasangan sudut kemiringannya tidak tepat maka akan kehilangan potensi energi matahari.

Perhitungan sudut kemiringan yang optimal didasarkan pada radiasi matahari yang jatuh pada permukaan bidang miring. Secara umum perhitungan rata-rata radiasi total pada permukaan bidang miring (H_T) merupakan penjumlahan dari radiasi langsung

(H_B), radiasi difusi (H_D) dan radiasi pantul atau albedo (H_R). Sesuai dengan persamaan :

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



Gambar 1. Interaksi radiasi matahari [6]

2.1. Radiasi langsung

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, perhitungan radiasi total yang jatuh pada bidang miring salah satu komponennya yaitu menghitung radiasi langsung. Radiasi langsung pada permukaan bidang miring dapat ditunjukkan dengan persamaan :

$$H_B = (H_g - H_d)R_b \quad (2)$$

dimana H_g dan H_d adalah radiasi global dan radiasi difusi pada bidang horizontal. Sedangkan R_b adalah rasio radiasi langsung pada bidang miring terhadap bidang horizontal. R_b dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3)$$

dengan θ adalah sudut datang, dimana dihitung dengan persamaan :

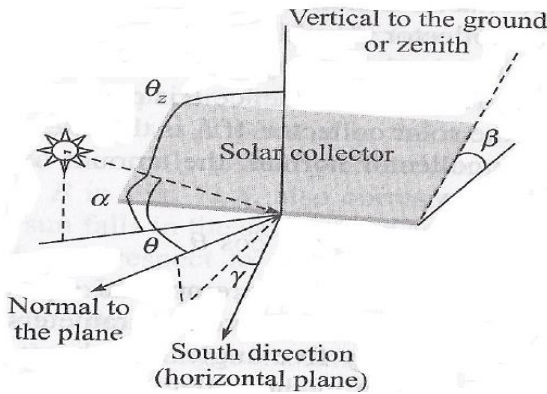
$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \quad (4)$$

dan θ_z adalah sudut azimuth dapat dihitung dengan persamaan :

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (5)$$

dengan ϕ adalah posisi garis lintang, β adalah sudut tilt, γ adalah arah azimuth untuk di bumi belahan selatan dengan 0° menghadap selatan dan 180° menghadap utara [2], ω adalah sudut jam, δ adalah sudut deklinasi. Sudut deklinasi dapat dirumuskan :

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365}(284 + n)\right) \quad (6)$$



Gambar 2. Tampilan skematik sudut datang cahaya matahari pada panel photovoltaic dan kaitannya dengan Sudut tilt, arah azimuth, sudut zenith [6]

2.2. Radiasi Difusi

Metode untuk memperkirakan rasio difusi radiasi matahari pada permukaan bidang miring terhadap bidang horizontal diklasifikasikan menjadi model isotropik dan model anisotropik. Model isotropik mengasumsikan bahwa intensitas radiasi difusi di langit adalah seragam dikubah langit. Oleh karena itu, radiasi difusi pada permukaan bidang miring tergantung dari pecahan yang terlihat di kubah langit. Model anisotropic mengasumsikan radiasi difusi di wilayah yang mengelilingi matahari (langit dekat piringan matahari) ditambah dan distribusi komponen difusi dari sisa kubah langit. Difusi radiasi pada bidang miring dirumuskan dengan :

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

R_d adalah rasio radiasi flux yang jatuh pada bidang miring terhadap radiasi difusi yang jatuh pada bidang horizontal. Perbedaan nilai parameter R_d untuk pemodelan radiasi difusi [2] adalah sebagai berikut : Model Isotropik diantaranya : Model Badescu [7]

$$R_d = \frac{3 + \cos(2\beta)}{4} \quad (8)$$

Model Tien et al [8]

$$R_d = 1 - \frac{\beta}{180} \quad (9)$$

Model Liu dan Jordan [9]

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (10)$$

Model Anisotropik diantaranya :

Model Reindel et al [10]

$$R_d = \frac{H_b}{H_o} R_b + \left(1 - \frac{H_b}{H_o}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \left(1 + \sqrt{\frac{H_b}{H_g}} \sin^3 \frac{\beta}{2}\right) \quad (11)$$

2.3. Radiasi Pantul

Radiasi pantul pada bidang miring dirumuskan dengan

$$H_R = H_g \cdot \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (12)$$

Dengan ρ adalah *ground albedo* atau faktor pantul tanah. Jadi total radiasi pada permukaan bidang miring dapat dinyatakan :

$$H_T = (H_g - H_b) R_b + H_g \cdot \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) + H_d R_b \quad (13)$$

Data radiasi matahari global, radiasi difusi dan *albedo* pada bidang horizontal diperoleh dari NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Radasi matahari pada bidang horizontal di Ciparay, Kabupaten Bandung [11]

| Bulan | Radiasi global kWh/m ² -hari | Radiasi Difusi kWh/m ² -hari | Albedo |
|-------|---|---|--------|
| Jan | 4,57 | 2,34 | 0,16 |
| Feb | 4,68 | 2,39 | 0,17 |
| Mar | 4,88 | 2,31 | 0,15 |
| Apr | 4,83 | 2,05 | 0,14 |
| Mei | 4,86 | 1,73 | 0,12 |
| Jun | 4,67 | 1,59 | 0,12 |
| Jul | 4,91 | 1,60 | 0,12 |
| Agus | 5,28 | 1,79 | 0,13 |
| Sep | 5,43 | 2,09 | 0,14 |
| Okt | 5,17 | 2,34 | 0,14 |
| Nov | 4,59 | 2,34 | 0,15 |
| Des | 4,83 | 2,31 | 0,15 |

Radiasi total yang jatuh pada bidang miring akan disimulasikan dengan variasi sudut tilt (β) 5, 10, 15, 20, 25 dan 30° dengan variasi arah azimuth menghadap arah utara dan selatan dengan tujuan untuk mendapatkan radiasi matahari yang maksimal pada bidang miring panel photovoltaic.

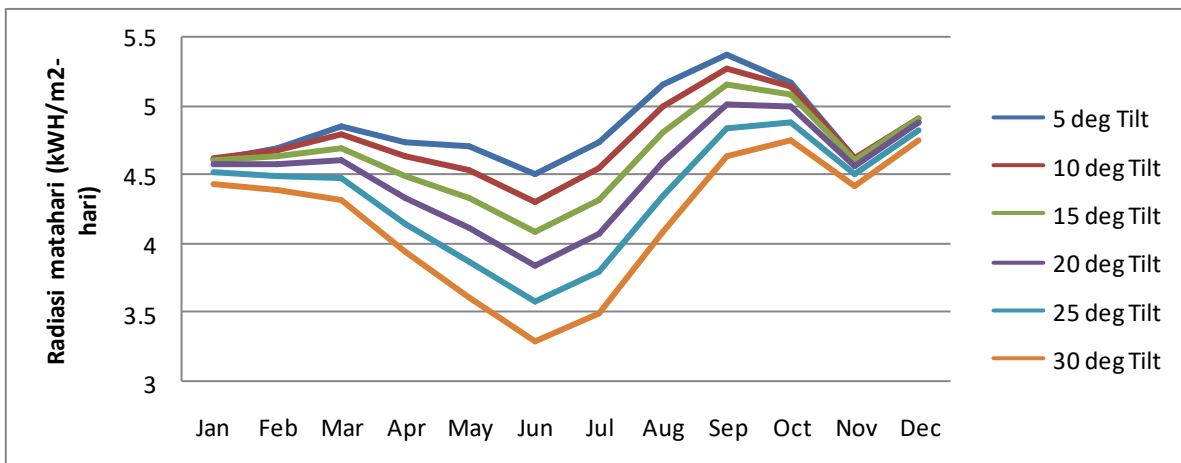
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan radiasi total matahari yang jatuh pada bidang miring selama setahun dimana panel photovoltaic diarahkan menghadap ke selatan dengan variasi sudut tilt 5, 10, 15, 20, 25 dan 30°. Pada grafik tersebut tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara sudut tilt, tetapi radiasi total matahari tertinggi yang jatuh pada bidang miring sepanjang tahun yaitu pada sudut tilt 5° dari bulan Februari s.d. Oktober dan sudut tilt 10° dari November s.d. Januari. Hal ini dikarenakan lokasi pemasangan panel photovoltaic ada disebelah selatan garis ekuator bumi, sehingga dengan panel diarahkan ke sebelah selatan sepanjang tahun maka sudut tilt yang terkecil yang akan mendapatkan radiasi yang

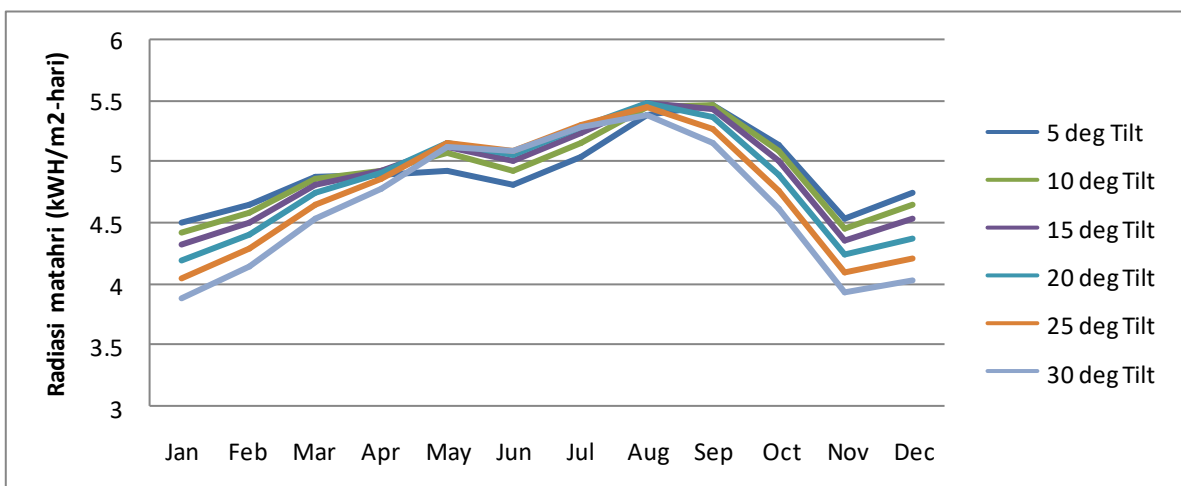
besar sepanjang tahun.

Gambar 4 menunjukkan total radiasi matahari dimana arah azimuth panel diarahkan menghadap utara dengan variasi sudut tilt 5, 10, 15, 20, 25 dan 30°. Pada grafik tersebut menunjukkan dari bulan Januari s.d. Maret radiasi total tertinggi yang jatuh pada bidang miring pada sudut tilt 5°, bulan April pada sudut 15°. Sedangkan bulan Mei pada sudut tilt 20°, bulan Juni s.d. Juli pada sudut 25°, bulan Agustus pada sudut 20°, bulan September pada sudut 10° dan dari bulan Oktober s.d. Desember pada sudut 5°.

Untuk mendapatkan radiasi yang maksimal sepanjang tahun maka arah azimuth dan sudut tilt harus diatur dalam selang periode tertentu. Berdasarkan data grafik dari Gambar 3 dan Gambar 4 untuk panel photovoltaic yang bisa di atur secara manual, maka dapat dibagi pengaturannya dari bulan Januari s.d. Februari arah azimuth panel photovoltaic menghadap selatan dengan sudut tilt 5 - 10° karena posisi matahari terhadap bumi berada di sebelah selatan. Dari bulan Maret s.d April arah azimuth panel photovoltaic menghadap utara dengan sudut tilt 5 - 15° karena terjadi pergeseran posisi matahari dari



Gambar 3. Radiasi matahari pada bidang miring dengan arah azimuth menghadap selatan



Gambar 4. Radiasi matahari pada bidang miring dengan arah azimuth menghadap utara

selatan menuju utara. Sedangkan dari bulan Mei s.d. Agustus arah azimuth panel photovoltaic menghadap utara dengan sudut tilt 20 - 25° dimana posisi matahari berada di sebelah utara bumi. Pada bulan September menghadap utara dengan sudut tilt 10° karena posisi matahari masih berada di utara bumi mulai mendekat ke garis ekuator. Sedangkan pada bulan Oktober s.d Desember panel photovoltaic menghadap selatan dengan sudut tilt 5 dan 10° karena posisi matahari bergeser dari utara bumi kembali ke arah selatan.

Tipe Panel photovoltaic yang tidak bisa di *setting* baik arah azimuth maupun sudut tilt (*fixed panel photovoltaic*) maka berdasarkan data Gambar 3 dan Gambar 4 optimal sudut tilt adalah 10° dengan arah azimuth menghadap utara. Hal ini disebabkan oleh posisi latitude pemasangan panel photovoltaic yang berada di belahan bumi selatan dimana panel photovoltaic diarahkan ke garis ekuator bumi

4. Simpulan

Optimal sudut tilt dan arah azimuth panel photovoltaic di Ciparay, Kabupaten Bandung berdasarkan hasil simulasi dan analisis dapat disimpulkan bahwa pengaturan arah azimuth dan sudut tilt dari bulan Oktober s.d. Februari adalah menghadap ke selatan dengan sudut tilt berkisar 5 - 10° karena pergerakan matahari masih berada di sebelah selatan bumi dan dari bulan Maret s.d. September adalah menghadap utara dengan sudut tilt berkisar 5 - 25° karena pergerakan matahari berada di sebelah utara bumi. Sedangkan untuk tipe *fixed panel photovoltaic* optimal arah azimuth panel menghadap ke arah utara dengan sudut tilt 10°.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala kelompok penelitian konversi dan konservasi energi dan teman-teman di kelompok penelitian energi, pusat penelitian tenaga listrik dan mekatronik - LIPI serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas dukungan dan bimbingannya dalam penulisan karya ilmiah ini.

Daftar Acuan

- [1] E. A. Handoyo, D. Ichسانی, dan Prabowo, "The optimal tilt angle of a solar collector," *Energy Procedia*, vol. 32, pp. 166–175, 2013.
- [2] A. K. Yadav dan S. S. Chandel, "Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2013.
- [3] A. Rachman, "Optimalisasi Teknologi Energi Surya Berbasis Penyesuaian Posisi Panel Bulanan di Sulawesi Tenggara," *J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [4] X. Liu, "Calculation and analysis of optimal tilt angle for PV/T hybrid collector," *Proc. - 2012 Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2012*, pp. 791–795, 2012.
- [5] Y. S. Khoo, A. Nobre, R. Malhotra, D. Yang, R. Ruther, T. Reindl, dan A. G. Aberle, "Optimal orientation and tilt angle for maximizing in-plane solar irradiation for PV applications in Singapore," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 4, no. 2, pp. 647–653, 2014.
- [6] C. S. Solanki, "Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technologies and Applications," p. 512, 2011.
- [7] V. Badescu, "A new kind of cloudy sky model to compute instantaneous values of diffuse and global solar irradiance," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 72, no. 1–2, pp. 127–136, 2002.
- [8] Y. Q. Tian, R. J. Davies-Colley, P. Gong, dan B. W. Thorrold, "Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 109, no. 1, pp. 67–74, 2001.
- [9] B. Liu dan R. Jordan, *Daily insolation on surfaces tilted toward the equator*. Transaction ASHRAE, 1962.
- [10] D. T. Reindl, W. A. Beckman, dan J. A. Duffie, "Evaluation of hourly tilted surface radiation models," *Sol. Energy*, vol. 45, no. 1, pp. 9–17, 1990.
- [11] NASA, "NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables." [Daring]. Tersedia pada: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=288083&lat=-7.07&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sit elev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swvdowncook&p=swv_dwn&p=mxhorizon&p=ret_psh0&step=2&lon=107.7.

