

# Penentuan Sudut Orientasi Optimum untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Universitas Tanjungpura Pontianak

Fitriah Husin<sup>1\*</sup>, Ayong Hiendro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak

\*Corresponding Author : fitriah@ee.untan.ac.id

**Abstract**— Pengembangan energi surya di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan upaya pemerintah dalam mencapai target nol emisi karbon pada tahun 2060. Salah satu langkah strategis dalam mendukung pencapaian tersebut adalah dengan meningkatkan efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini berfokus pada optimalisasi produksi energi listrik di PLTS Universitas Tanjungpura melalui penentuan sudut orientasi panel surya yang paling efektif. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst dengan variasi sudut kemiringan antara 4° hingga 15° serta delapan arah azimuth, yaitu Utara (0°), Timur Laut (-45°), Timur (-90°), Tenggara (-135°), Selatan (180°), Barat Daya (135°), Barat (90°), dan Barat Laut (45°). Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi optimal terdapat pada sudut kemiringan 5° dengan azimuth -45° (menghadap Timur Laut), yang mampu menghasilkan produksi energi listrik tahunan sebesar 2365 MWh. Angka ini lebih tinggi dibandingkan konfigurasi awal pada sudut kemiringan 13° dan azimuth 135° (menghadap Barat Daya), yang hanya mampu menghasilkan 2308 MWh per tahun. Peningkatan produksi energi listrik sebesar 2,5% ini membuktikan bahwa optimasi sudut orientasi panel surya berperan penting dalam memaksimalkan kinerja sistem PLTS. Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi pada pengembangan energi terbarukan, tetapi juga mendukung strategi nasional dalam upaya penurunan emisi karbon dan transisi menuju energi bersih di Indonesia.

**Keywords:** panel surya, sudut kemiringan, azimuth, PVsyst, energi terbarukan.

**Abstrak**— The development of solar energy in Indonesia continues to grow in line with the government's efforts to achieve the net-zero carbon emission target by 2060. One strategic step to support this goal is to improve the efficiency of Solar Power Plants (PLTS). This study focuses on optimizing electricity production at the Universitas Tanjungpura PLTS by determining the most effective orientation angle for the solar panels. Simulations were carried out using PVsyst software with variations in tilt angles ranging from 4° to 15°, as well as eight azimuth directions, namely North (0°), Northeast (-45°), East (-90°), Southeast (-135°), South (180°), Southwest (135°), West (90°), and Northwest (45°). The simulation results show that the optimal configuration is found at a tilt angle of 5° with an azimuth of -45° (facing Northeast), which is capable of producing an annual electricity output of 2365 MWh. This figure is higher compared to the initial configuration with a tilt angle of 13° and an azimuth of 135° (facing Southwest), which only produced 2308 MWh per year. This 2.5% increase in electricity production demonstrates that optimizing the orientation angle of solar panels plays an important role in maximizing PLTS system performance. The findings of this study not only contribute to the development of renewable energy but also support the national strategy for reducing carbon emissions and transitioning to clean energy in Indonesia.

**Keywords:** solar panels, tilt angle, azimuth, PVsyst, renewable energy.

© 2024 Elektron Jurnal Ilmiah

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup tinggi dengan intensitas radiasi rata-rata sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari [1]. Pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik memiliki kecenderungan yang semakin meningkat setiap tahun seiring target pencapaian nol emisi karbon di tahun 2060. Berbagai jenis konstruksi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah diterapkan di Indonesia, seperti: PLTS atap, PLTS tanah, dan PLTS terapung. Ketiga jenis PLTS ini menawarkan solusi yang berbeda-beda tergantung pada kebutuhan energi dan kondisi geografis setempat. Meskipun teknologi PLTS berkembang pesat, optimasi kinerja sistem ini masih menjadi tantangan besar, terutama dalam hal penentuan

sudut kemiringan dan azimuth panel surya yang paling tepat untuk setiap lokasi.

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan sangat bergantung pada seberapa efisien panel surya dapat menyerap energi sinar matahari. Oleh karena itu, penentuan sudut kemiringan dan azimuth yang optimum menjadi salah satu faktor utama dalam memaksimalkan produksi energi. Sudut kemiringan panel surya, yang merupakan sudut antara permukaan panel dan garis horizontal, serta azimuth, yang menentukan arah hadap panel terhadap matahari, perlu disesuaikan dengan kondisi geografis di setiap wilayah. Di Indonesia, dengan iklim tropis dan variasi intensitas sinar matahari yang stabil sepanjang tahun, penentuan parameter-parameter ini memiliki peran penting dalam

peningkatan efisiensi sistem PLTS. Hal ini menjadi semakin relevan mengingat kondisi geografis Indonesia yang unik, yang mempengaruhi cara penempatan panel surya PLTS.

Penentuan sudut kemiringan dan azimuth yang optimum dilakukan agar meningkatkan penyerapan radiasi matahari oleh panel surya. Untuk wilayah pada belahan bumi selatan, panel surya umumnya dihadapkan ke utara agar sinar matahari dapat diterima sepanjang hari, dan sebaliknya, wilayah yang berada di belahan bumi utara peletakan panel surya dihadapkan ke arah selatan.

Penelitian Setiawan dan Setiawan [2] ini mengidentifikasi sudut kemiringan optimal untuk modul fotovoltaik di tiga kota di Indonesia: Jakarta, Makassar, dan Jayapura, dengan sudut kemiringan masing-masing 11°, 11°, dan 6°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Jayapura menghasilkan energi tahunan tertinggi, mencapai 6.577 kWh, diikuti oleh Makassar dan Jakarta, dengan produksi energi yang lebih rendah masing-masing sebesar 6.437 kWh dan 6.281 kWh. Penelitian Hailu dan Fung [3] dilakukan di Toronto (Canada) didapatkanlah sudut orientasi hingga 15° timur atau barat dari arah selatan dapat dipasang sistem thermal panel surya tanpa mengubah bentuk atap. Penelitian Murat [4] menunjukkan bahwa sistem panel surya berukuran sedang, dimiringkan pada sudut tetap 55°, dapat menyediakan lebih dari 50 persen dari total kebutuhan listrik tahunan untuk rumah-rumah di Utqiagvik Alaska. Penelitian Wisam dkk [5] menentukan sudut kemiringan optimum modul fotovoltaik dan kolektor surya yang dipasang di Baghdad, Irak, dengan menggunakan model matematis. Hasilnya menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimum tahunan adalah 30,6°. Penelitian Mamun dkk [6] menunjukkan bahwa setiap peningkatan sudut kemiringan modul panel surya sebesar 5° menyebabkan penurunan daya output dan efisiensi, dengan sudut kemiringan optimal di Malaysia adalah 15°. Pada sudut ini, modul dapat memaksimalkan penangkapan energi matahari, meningkatkan kinerja secara signifikan. Penelitian Abed [7] dilakukan di Istanbul, yang memiliki iklim mediterania dan menghasilkan data bahwa sudut kemiringan optimum untuk panel fotovoltaik adalah sekitar 30° hingga 35°, dengan orientasi menghadap selatan. Hasil ini penting untuk meningkatkan efisiensi energi sistem fotovoltaik dan membantu perencanaan instalasi panel surya di daerah perkotaan. Penelitian Qiuluan Chen dkk [8] dilakukan di Hainan, China, yang memiliki iklim tropis dengan intensitas sinar matahari tinggi, menjadikannya ideal untuk sistem fotovoltaik. Data menunjukkan sudut kemiringan optimum untuk daya maksimum adalah 9°, dengan sudut 10° juga mendekati optimal.

Universitas Tanjungpura yang berada pada posisi 0,0558° LS memerlukan penyesuaian arah orientasi agar dapat menangkap radiasi matahari secara

optimum. Di dalam penelitian ini, penentuan orientasi peletakan panel surya PLTS Universitas Tanjungpura dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak PVsyst. Berbagai variasi sudut kemiringan dan azimuth

## II. METODE

### A. Model Matematik PLTS

Output daya PLTS dinyatakan sebagai berikut [9]:

$$P_{PV} = P_{PV,STC} f_{PV} f_{temp} \left( \frac{I_T}{I_{T,STC}} \right) \quad (1)$$

dimana  $P_{PV,STC}$  adalah kapasitas terpasang PLTS pada *standard test condition* (STC) (kW),  $f_{PV}$  adalah faktor penurunan daya PLTS (%),  $I_T$  adalah intensitas radiasi matahari ( $\text{kW/m}^2$ ),  $I_{T,STC}$  intensitas radiasi matahari pada kondisi STC ( $\text{kW/m}^2$ ), dan  $f_{temp}$  adalah faktor penurunan daya PLTS akibat kenaikan suhu (tidak berdimensi). Faktor penurunan daya PLTS ditentukan oleh dampak debu pada permukaan panel, pengurangan daya akibat instalasi kabel, bayangan, penuaan, suhu tinggi, atau faktor lain yang dapat menyebabkan output PLTS menyimpang dari yang diharapkan dalam kondisi ideal. Faktor penurunan daya akibat kenaikan suhu dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{temp} = [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (2)$$

dimana  $\alpha_p$  adalah koefisien suhu-harga (%/°C),  $T_c$  adalah suhu sel surya (°C), dan  $T_{c,STC}$  adalah suhu sel surya pada kondisi STC (25°C).

Koefisien suhu-harga menunjukkan seberapa besar penurunan output daya panel surya akibat kenaikan suhu sel surya. Nilai ini negatif karena output daya menurun seiring dengan meningkatnya suhu sel surya. Koefisien suhu-harga bergantung pada jenis panel surya yang digunakan. Koefisien suhu-harga dianggap nol jika pengaruh suhu pada sel surya diabaikan. Suhu sel surya  $T_c$  adalah suhu permukaan sel surya. Pada malam hari, suhunya sama dengan suhu lingkungan, tetapi di bawah sinar matahari penuh, suhu sel surya dapat melebihi suhu lingkungan hingga 30 °C atau lebih. Persamaan untuk suhu sel surya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$T_c = T_a + I_T \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{\eta_c}{0.9} \right) \quad (3)$$

dimana  $T_a$  adalah suhu lingkungan (°C),  $T_{c,NOCT}$  adalah suhu sel surya pada kondisi *nominal operation cell temperature* (NOCT)(°C),  $T_{a,NOCT}$  adalah suhu lingkungan pada kondisi NOCT (20°C),  $I_{T,NOCT}$  adalah intensitas radiasi matahari pada kondisi NOCT (0,8  $\text{kW/m}^2$ ), dan  $\eta_c$  adalah efisiensi konversi listrik oleh panel surya (%).

Jika panel-panel surya PLTS dikendalikan oleh *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), maka panel surya selalu beroperasi pada titik daya maksimum dan nilai efisiensi ( $\eta_c$ ) selalu sama dengan efisiensi pada

titik daya maksimum ( $\eta_{mp}$ ). Penggunaan pelacak matahari dianjurkan untuk meningkatkan kapasitas generasi panel surya. Persamaan untuk suhu sel surya dengan MPPT adalah:

$$T_c = T_a + I_T \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{\eta_{mp}}{0.9} \right) \quad (4)$$

Karena  $\eta_{mp}$  bergantung pada suhu sel  $T_c$ , maka:

$$\eta_{mp} = f_{temp} \eta_{mp,STC} \quad (5)$$

dimana  $\eta_{mp,STC}$  adalah efisiensi panel surya pada titik daya maksimum pada kondisi STC (%). Pabrik panel surya biasanya menyediakan informasi nilai-nilai  $T_{c,NOCT}$ ,  $\alpha_p$ ,  $\eta_{mp,STC}$  sebagai bagian dari produknya.

Output daya dari panel surya PLTS, seperti yang dinyatakan dalam [10], bergantung pada faktor penurunan daya yang merupakan fungsi dari suhu lingkungan. Faktor penurunan daya dapat disederhanakan dari persamaan (2) hingga (5) menjadi:

$$f_{temp} = \frac{1 + \alpha_p \left[ T_a + I_T \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) - T_{c,STC} \right]}{1 + \alpha_p I_T \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) \frac{\eta_{mp,STC}}{0.9}} \quad (6)$$

## B. Model Intensitas Radiasi Sinar Matahari

Intensitas radiasi matahari yang menyinari permukaan miring dapat dimodelkan dengan menyertakan nilai-nilai intensitas radiasi matahari langsung, intensitas radiasi matahari sebar, dan intensitas radiasi matahari pantul. Oleh karena itu, intensitas radiasi matahari total pada permukaan dengan sudut kemiringan tertentu adalah sebagai berikut:

$$I_T = I_B + I_D + I_R \quad (7)$$

dimana  $I_T$  adalah intensitas radiasi matahari pada permukaan miring ( $\text{kW/m}^2$ ),  $I_B$  adalah intensitas radiasi matahari langsung pada permukaan miring ( $\text{kW/m}^2$ ),  $I_D$  adalah intensitas radiasi matahari sebar pada permukaan miring ( $\text{kW/m}^2$ ), dan  $I_R$  adalah intensitas radiasi matahari pantul pada permukaan miring ( $\text{kW/m}^2$ ).

Intensitas radiasi matahari langsung pada permukaan miring adalah tergantung pada sudut datang sinar matahari yang mengenai permukaan panel surya:

$$I_B = (I - I_d) R_b \quad (8)$$

dimana  $I$  adalah intensitas radiasi matahari global pada permukaan horizontal ( $\text{kW/m}^2$ ), dan  $I_d$  adalah intensitas radiasi matahari sebar pada permukaan horizontal ( $\text{kW/m}^2$ ). Sedangkan rasio ( $R_b$ ) ditentukan oleh:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (9)$$

Sudut datang ( $\theta$ ) dapat diperkirakan dengan menggunakan hubungan:

$$\cos \theta = \cos(\varphi + \beta) \cos \delta \sin \omega_s' + \omega_s' \sin(\varphi + \beta) \sin \delta \quad (10)$$

Untuk mendapatkan radiasi matahari maksimum, sudut zenith ( $\theta_z$ ) untuk wilayah di belahan bumi selatan selalu menghadap ke arah khatulistiwa dengan  $\gamma = 180^\circ$ .

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \varphi \sin \delta \quad (11)$$

Sudut deklinasi matahari ( $\delta$ ) adalah posisi matahari pada tengah hari terhadap garis khatulistiwa. Nilai sudut deklinasi matahari berada diantara  $-23,45^\circ$  dan  $23,45^\circ$ . Deklinasi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$\delta = 23.45 \frac{\pi}{180} \sin \left( 2\pi \frac{284+n}{365} \right) \quad (12)$$

di mana  $n$  adalah hari dalam setahun (1 hingga 365), misalnya, untuk tanggal 1 Januari  $n = 1$ , dan untuk tanggal 31 Desember  $n = 365$ . Sudut matahari terbenam pada permukaan horizontal ( $\omega_s$ ) dan sudut matahari terbenam pada permukaan miring ( $\omega_s'$ ) adalah:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (13)$$

$$\omega_s = \text{MIN} \left[ \cos^{-1}(-\tan(\varphi + \beta) \tan \delta) \right] \quad (14)$$

Intensitas radiasi matahari sebar pada permukaan miring ( $I_D$ ) didefinisikan dengan menggunakan rasio radiasi matahari sebar pada permukaan miring terhadap intensitas radiasi matahari sebar pada permukaan horizontal:

$$I_D = I_d R_d \quad (15)$$

Rasio radiasi matahari sebar pada permukaan miring ( $R_d$ ) terhadap radiasi matahari sebar pada permukaan horizontal yang diberikan oleh model anisotropik Reindl [12] adalah sebagai berikut:

$$R_d = \frac{I_b}{I_0} R_b + \left( 1 - \frac{I_b}{I_0} \right) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \times \left( 1 + \sqrt{\frac{I_b}{I}} \sin^3 \frac{\beta}{2} \right) \quad (16)$$

Intensitas radiasi matahari langsung pada permukaan horizontal dan radiasi matahari pantul pada permukaan miring adalah:

$$I_b = I - I_d \quad (17)$$

Intensitas radiasi matahari pantul pada permukaan miring ( $I_R$ ) ditulis sebagai:

$$I_R = \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) I \quad (18)$$

di mana  $\rho_g$  didefinisikan sebagai konstanta reflektansi tanah yang bergantung pada lokasi geografis.

Total intensitas radiasi matahari pada permukaan miring adalah:

$$I_T = \left(1 + \frac{I_d}{I_0}\right) I_b R_b + H_d \left(1 - \frac{I_b}{I_0}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \times \left(1 + \sqrt{\frac{I_b}{I}} \sin^3 \frac{\beta}{2}\right) + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) I \quad (19)$$

### C. Perangkat Lunak PVsyst

PVsyst adalah perangkat lunak simulasi yang dirancang untuk analisis sistem PLTS. Perangkat lunak ini banyak digunakan oleh para insinyur, peneliti, dan profesional dalam perancangan, pemodelan, dan analisis kinerja sistem PLTS. PVsyst sangat populer dalam industri energi surya karena memberikan gambaran yang komprehensif tentang bagaimana sistem PLTS akan berfungsi dalam kondisi dunia nyata.

PVsyst memungkinkan pengguna untuk merancang berbagai jenis sistem PLTS, termasuk sistem on-grid (terhubung ke jaringan), off-grid (mandiri), dan sistem hybrid. Perangkat lunak ini melakukan simulasi kinerja berdasarkan parameter desain, data cuaca, dan lokasi geografis untuk memperkirakan produksi energi dan efisiensi sistem PLTS. Selain itu, PVsyst juga dilengkapi dengan basis data cuaca dari berbagai wilayah, yang mempengaruhi kinerja sistem PV, seperti intensitas radiasi matahari dan suhu. Dalam perancangan sistem PLTS, PVsyst dapat memodelkan berbagai jenis kerugian yang mempengaruhi efisiensi sistem PLTS, seperti bayangan, resistansi kabel, degradasi modul, dan faktor lain yang berhubungan dengan pemasangan dan lingkungan. Perangkat lunak memiliki kemampuan untuk melakukan analisis kinerja, perkiraan produksi energi, dan indikator efisiensi untuk membantu pengguna membuat keputusan yang tepat.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Universitas Tanjungpura Pontianak ( $0^{\circ}3'37.49''\text{LU}$   $109^{\circ}20'34.63''\text{BT}$ ) terdiri dari 2800 panel @ 540 Wp. Kapasitas total PLTS tersebut adalah sebesar 1,51 MWp dan menempati area seluas  $10.594 \text{ m}^2$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

### A. Sistem PLTS pada PVsyst

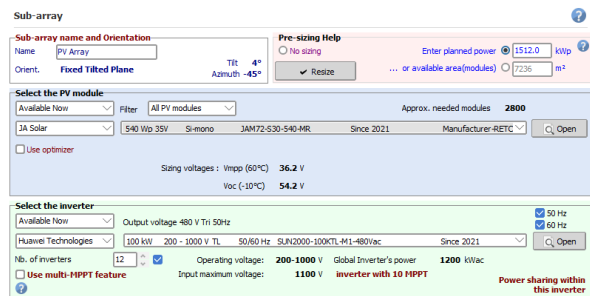
Data sistem PLTS yang diinput pada PVsyst mencakup informasi komprehensif mengenai panel surya, inverter, dan komponen terkait lainnya. Spesifikasi teknis yang harus diketahui meliputi efisiensi panel, karakteristik termal, tegangan maksimum, arus maksimum, serta parameter penting lainnya, seperti: konfigurasi panel surya, sudut kemiringan, azimuth, yang semuanya berkontribusi

signifikan terhadap hasil rancangan PLTS secara keseluruhan.



Gambar 1. Area PLTS Universitas Tanjungpura

Gambar 2 memperlihatkan konfigurasi panel surya dan inverter yang digunakan dalam sistem PLTS Universitas Tanjungpura. Sistem PLTS tersebut terdiri dari 12 inverter yang terhubung dalam 140 string, serta 70 array di mana setiap array terdiri dari 40 panel surya yang disusun secara seri.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem PLTS Universitas Tanjungpura

### B. Penentuan Sudut Kemiringan

Penentuan sudut kemiringan panel surya optimum dimaksudkan untuk memaksimalkan produksi energi listrik PLTS. Dalam penelitian ini, penentuan sudut kemiringan panel surya dilakukan dari  $0^{\circ}$  hingga  $90^{\circ}$  dengan sudut azimuth menghadap utara ( $0^{\circ}$ ) untuk memperoleh daya listrik terbesar. Tabel 1 menyajikan variasi sudut kemiringan panel surya terhadap energi listrik yang dihasilkan. Sudut kemiringan  $0^{\circ}$  hingga  $3^{\circ}$  dan sudut kemiringan di atas  $15^{\circ}$  tidak dimasukkan ke dalam pilihan karena menghasilkan energi listrik yang rendah. Pada sudut kemiringan  $4^{\circ}$  energi listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTS adalah sebesar 2363 MWh/tahun. Sementara pada sudut kemiringan  $5^{\circ}$  dan  $6^{\circ}$ , energi listrik yang dihasilkan hampir sama, masing-masing sebesar 2362 MWh/tahun. Penurunan produksi energi listrik yang signifikan terjadi pada sudut kemiringan  $10^{\circ}$ , dimana produksi energi listrik

berkurang menjadi 2354 MWh/tahun, dan pada sudut 15°, produksi energi listrik mencapai nilai terendah, yaitu 2333 MWh/tahun. Dari simulasi ini sudut 4° merupakan sudut kemiringan optimum dari PLTS, namun penting dicatat bahwa hasil ini diperoleh dengan azimuth mengarah ke utara (0°). Perubahan arah sudut azimuth dapat mempengaruhi daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTS, sehingga selanjutnya perlu dilakukan penentuan sudut azimuth yang lebih tepat.

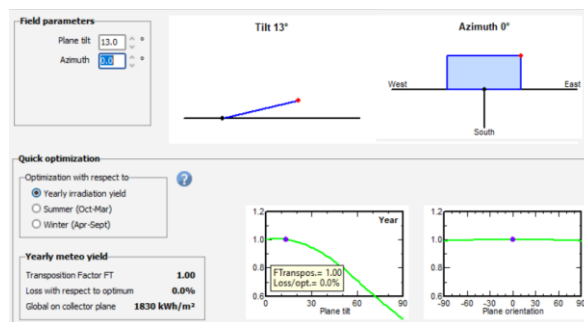
Tabel 1. Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Produksi Energi Listrik PLTS pada Azimuth 0°

Sudut Kemiringan Panel Surya (°)	Produksi Energi Listrik (MWh/tahun)
4°	2363
5°	2362
6°	2362
7°	2361
8°	2359
9°	2357
10°	2354
11°	2351
12°	2347
13°	2343
14°	2338
15°	2333

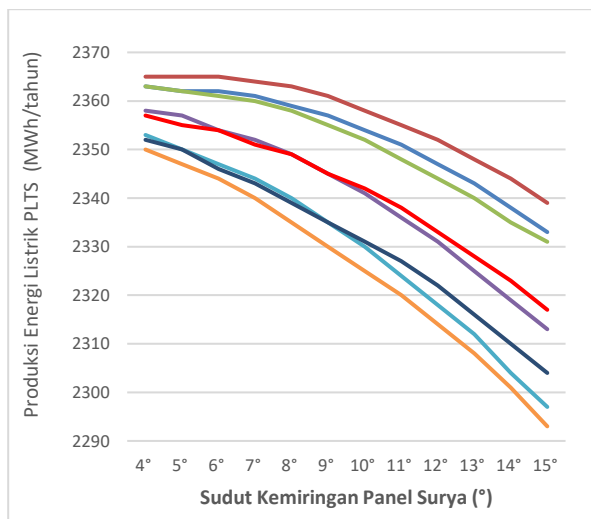
### C. Penentuan Sudut Azimuth

Penentuan sudut azimuth pada PLTS Universitas Tanjungpura adalah untuk mendapatkan nilai optimum efisiensi energi listrik pada panel surya, dimana sudut azimuth yang digunakan adalah 135° yang menandakan bahwa panel-panel surya tersebut menghadap ke arah tenggara. Penentuan ini didasarkan pada analisis lokasi geografis dan pola penyinaran matahari, terutama pada siang hari. Selain itu, aspek teknis dan lingkungan sekitar juga harus diperhatikan, termasuk potensi bayangan dari bangunan atau pohon yang dapat mengurangi paparan sinar matahari.

Pada Gambar 3, terdapat menu panel surya dalam perangkat lunak PVsyst, yang menampilkan pilihan untuk mengatur sudut kemiringan dan sudut azimuth. Penelitian ini menggunakan delapan arah mata angin untuk menganalisis sudut orientasi yang optimum, dengan sudut yang digunakan adalah: Utara sebesar 0°, Timur Laut sebesar -45°, Timur sebesar -90°, Tenggara sebesar -135°, Selatan sebesar 180°, Barat Daya sebesar 135°, Barat sebesar 90°, dan Barat Laut sebesar 45°. Sudut-sudut kemiringan panel surya yang telah diperoleh sebelumnya akan disimulasikan menggunakan delapan nilai sudut untuk mendapatkan konfigurasi sistem PLTS yang optimum.



Gambar 3. Menu Orientasi Panel Surya pada PVsyst  
 Gambar 4 menunjukkan hubungan antara sudut kemiringan panel surya dengan produksi energi listrik PLTS pada berbagai sudut azimuth. Pada sudut azimuth 0°, produksi energi listrik PLTS mencapai 2363 MWh/tahun pada sudut kemiringan 4° dan menurun menjadi 2333 MWh/tahun pada sudut kemiringan 15°. Sementara itu, pada sudut azimuth -45°, produksi energi listrik PLTS mencapai 2365 MWh/tahun pada sudut kemiringan 4° dan menurun menjadi 2339 MWh/tahun pada sudut kemiringan 15°. Pada sudut azimuth -90°, produksi energi listrik PLTS mencapai 2363 MWh/tahun pada sudut kemiringan 4° dan menurun menjadi 2331 MWh/tahun pada sudut kemiringan 15°. Secara umum, sudut kemiringan yang lebih rendah menghasilkan produksi energi listrik yang lebih tinggi pada sudut azimuth yang lebih rendah, sedangkan sudut kemiringan yang lebih tinggi menghasilkan produksi energi listrik yang lebih tinggi pada sudut azimuth yang lebih tinggi. Pada sudut azimuth 180°, produksi energi listrik PLTS mencapai 2353 MWh/tahun pada sudut kemiringan 4° dan menurun menjadi 2297 MWh/tahun pada sudut kemiringan 15°. Hal ini menunjukkan bahwa penting untuk mempertimbangkan sudut azimuth saat menentukan sudut kemiringan panel surya yang optimum. Perbedaan produksi energi listrik PLTS pada berbagai sudut azimuth dan kemiringan panel surya ini dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya, sehingga semakin optimum sudut kemiringan dan azimuth panel surya terhadap matahari, semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diterima, sehingga produksi energi listrik PLTS juga semakin tinggi.



Gambar 4. Sudut Kemiringan Panel Surya dan Azimuth Terhadap Produksi Energi Listrik PLTS  
(Azimuth: 0° , -45° , -90° , -135° , 180° , 135° , 90° , 45° )

#### IV. KESIMPULAN

Penentuan sudut orientasi optimum untuk PLTS di Universitas Tanjungpura Pontianak sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi energi listrik. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst, konfigurasi dengan sudut azimuth sebesar  $-45^\circ$  (Timur Laut) dan sudut kemiringan  $5^\circ$  (Selatan) menghasilkan produksi energi tertinggi sebesar 2365 MWh/tahun. Oleh karena itu, penerapan sudut orientasi panel surya yang optimum dapat meningkatkan efisiensi PLTS dan mendukung pengembangan energi surya yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

#### REFERENSI

- [1] M. A. Ridho, B. Winardi, And A. Nugroho, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software Pvsyst 6.43," *Transient*, Vol. 7, No. 4, 2019, Doi: 10.14710/Transient.7.4.883-890.
- [2] A. Setiawan And E. A. Setiawan, "Optimization Of A Photovoltaic Power Plant In Indonesia With Proper Tilt Angle And Photovoltaic Type Using A System Advisor Model," *Int. J. Technol.*, Vol. 8, No. 3, 2017, Doi: 10.14716/Ijtech.V8i3.8076.
- [3] G. Hailu And A. S. Fung, "Optimum Tilt Angle And Orientation Of Photovoltaic Thermal System For Application In Greater Toronto Area, Canada," *Sustain.*, Vol. 11, No. 22, 2019, Doi: 10.3390/Su11226443.
- [4] K. Wurthmann, "Using Isotropic And Anisotropic Models To Determine Solar Module Tilt To Maximize Incident Energy And Pv Electricity Output On The Alaska North Slope," In *Proceedings Of The International Conference On Offshore Mechanics And Arctic Engineering - Omae*, 2020, Vol. 7, Doi: 10.1115/Omae2020-18103.
- [5] W. A. M. Al-Shohani, A. J. Khaleel, H. J. Dakkama, And A. Q. Ahmed, "Optimum Tilt Angle Of The Photovoltaic Modules In Baghdad, Iraq," *Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika)*, Vol. 58, No. 4, 2022, Doi: 10.3103/S0003701x22040028.
- [6] M. A. A. Mamun, M. M. Islam, M. Hasanuzzaman, And J. Selvaraj, "Effect Of Tilt Angle On The Performance And Electrical Parameters Of A Pv Module: Comparative Indoor And Outdoor Experimental Investigation," *Energy Built Environ.*, Vol. 3, No. 3, 2022, Doi: 10.1016/J.Enbenv.2021.02.001.
- [7] F. Abed, "Calculate The Optimum Slope And Surface Orientation Angles Of Pv Panels In The City Of Istanbul, Türkiye," *Dicle Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, Vol. 12, No. 1, 2023, Doi: 10.55007/Dufed.1111097.
- [8] Q. Chen, Z. Cai, Y. Han, M. Zhang, B. Li, And L. Luo, "Study On The Effect Of Pv Tilt Angle On Power Generation," *J. Phys. Conf. Ser.*, Vol. 2771, No. 1, 2024, Doi: 10.1088/1742-6596/2771/1/012027.
- [9] A. Hiendro, R. Kurnianto, M. Rajagukguk, Y. M. Simanjuntak, And Junaidi, "Techno-Economic Analysis Of Photovoltaic/Wind Hybrid System For Onshore/Remote Area In Indonesia," *Energy*, Vol. 59, 2013, Doi: 10.1016/J.Energy.2013.06.005.
- [10] J. G. Carton And A. G. Olabi, "Wind/Hydrogen Hybrid Systems: Opportunity For Ireland's Wind Resource To Provide Consistent Sustainable Energy Supply," *Energy*, Vol. 35, No. 12, 2010, Doi: 10.1016/J.Energy.2010.09.010.
- [11] J. A. Duffie And W. A. Beckman, *Solar Engineering Of Thermal Processes: Fourth Edition*. 2013.
- [12] D. T. Reindl, W. A. Beckman, And J. A. Duffie, "Evaluation Of Hourly Tilted Surface Radiation Models," *Sol. Energy*, Vol. 45, No. 1, Pp. 9–17, 1990, Doi: 10.1016/0038-092x(90)90061-G.