

## Pengaruh Sudut $\beta$ dan $\omega$ pada PLTS di PT Indonesia Power

Rinaldo Siahaan<sup>1)\*</sup>, IGB Wijaya Kusuma<sup>2)</sup>, dan IW Bandem Adnyana<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbara, Bali 80362

Email : [rinaldo.siahaan@yahoo.co.id](mailto:rinaldo.siahaan@yahoo.co.id)

<sup>2,3)</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: [wijaya.kusuma88@yahoo.com](mailto:wijaya.kusuma88@yahoo.com), [bandem.aiwa@yahoo.com](mailto:bandem.aiwa@yahoo.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i01.p08>

### Abstrak

Energi surya merupakan energi terbarukan yang jumlahnya tidak terbatas sehingga sangat berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang sangat ramah lingkungan. Salah satu pembangkit energi listrik tenaga surya ada di PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Bali tepatnya di gedung A dan telah dilakukan penelitian pada bulan November sampai bulan Desember dari pukul 08.00 sampai 16.00. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sudut kemiringan panel surya ( $\beta$ ) dan sudut jam ( $\omega$ ) yang tepat sehingga pembangkit listrik tenaga surya menghasilkan efisiensi dan energi yang optimum yang mana akan mengurangi pemakaian energi listrik dan dengan biaya produksi yang lebih murah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sudut jam ( $\omega$ ) panel surya mempengaruhi intensitas dan daya *output* panel surya dicapai lebih cepat 1 jam jika sudut ( $\omega$ ) bernilai  $-15^\circ$  dan sebaliknya. Dan hasil penelitian ini juga menunjukkan sudut kemiringan ( $\beta$ ) panel surya yang paling tepat dibandingkan dengan yang terpasang saat ini adalah  $15^\circ$  menghadap selatan dengan peningkatan intensitas yang diterima panel surya 60,60%, peningkatan daya *output* 81,80% dan peningkatan efisiensi 13,38%.

**Kata kunci:** sudut  $\beta$ , sudut  $\omega$ , panel surya, intensitas, daya keluaran, efisiensi

### Abstract

*Solar energy is an unlimited amount of renewable energy that has the potential to be used as an alternative energy source that is very environmentally friendly. One of the solar power plants in PT Indonesia Power Generation Business Unit Bali precisely in building A and has been conducted research in November to December from 08.00 am to 16.00 pm. This study aims to determine the slope angle of solar panels ( $\beta$ ) and clock angle ( $\omega$ ) that are right so that solar power plants produce optimum efficiency and energy which will reduce electricity consumption and with lower production costs. The results of this study indicate that the clock angle ( $\omega$ ) of solar panels affects the intensity and output power of solar panels achieved 1 hour faster if the angle ( $\omega$ ) is  $-15^\circ$  and vice versa. And the results of this study also show the most appropriate slope angle ( $\beta$ ) of solar panels compared to the one currently installed is  $15^\circ$  south with an increase in intensity received by solar panels 60,60%, increase in output power 81,80% and increase in efficiency 13,38 %*

**Keywords:** Angle  $\beta$ , angle  $\omega$ , solar panel, light intensity, power output, efficiency

## 1. PENDAHULUAN

Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip *photovoltaic*, yakni terbentuknya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu di mana mengeksitasi sebagian elektron pada suatu material ke pita energi. Prinsip ini ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel (Belgia) pada 1894..

Seiring dengan kemajuan teknologi maka kebutuhan energi akan semakin tinggi. Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan yaitu energi matahari. Energi matahari merupakan sumber energi yang paling menjanjikan karena jumlahnya sangat besar dan berkelanjutan (*sustainable*). Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan mampu mengatasi permasalahan kebutuhan energi, setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah lingkungan. Energi matahari yang begitu besar, membuat sel surya menjadi sumber energi alternatif untuk masa depan yang sangat menjanjikan. Letak geografis Indonesia sangat berpotensi menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi alternatif mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari diterima optimal hampir di seluruh wilayah Indonesia sepanjang tahun.

Jenis sel surya ada berbagai macam yaitu *polycrystalline* dan *monocrystalline*. Monokristal adalah sel surya yang memiliki susunan kristal tunggal dengan efisiensi 14%-17% sedangkan polikristal adalah sel surya yang memiliki susunan kristal acak dengan efisiensi lebih kecil daripada monikristal yaitu 12%-14%. Dari sisi ketahanan terhadap temperatur, tampak bahwa *monocrystalline* dan *polycrystalline* tidak terlalu banyak perbedaan, sekitar 40<sup>0</sup>C. Berdasarkan data, perbedaan *monocrystalline* dan *polycrystalline* ada pada energi gap yang dihasilkan oleh semikonduktor. Nilai energi gap yang dimiliki oleh bahan semikonduktor merupakan salah satu parameter yang menentukan sifat kelistrikan dari suatu bahan. Karakteristik ini yang digunakan untuk mensimulasikan efisiensi dari panel surya.

Dalam rangka ikut mengembangkan energi terbarukan dan membangun pusat studi energi terbarukan (EBT), maka PT Indonesia Power bermaksud untuk membangun PLTS di Unit Bisnis Pembangkitan Pesanggaran. PLTS akan berfungsi selain menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan, juga menjadi sarana studi pemanfaatan energi matahari. Untuk itu akan dibangun dengan beberapa model peralatan solar module dan inverter yang berbeda – beda, untuk proyek riset PLTS sebelum memasuki bisnis PLTS dalam skala yang besar dan berbasis komersial. Energi listrik dari PLTS disalurkan kepemakaian sendiri 400 V dan disalurkan ke distribusi 20 KV. Desain teknis PLTS tanpa *battery* hanya memasok sekitar 50% dari kebutuhan pemakaian sendiri di malam hari. PLTS akan dibangun dengan beberapa model pemasangan tetap dengan arah dan kemiringan sesuai dengan lokasi, pemasangan di atap gedung. Permasalahan yang ada ialah panel surya yang terpasang sekarang mengikuti kemiringan atap gedung. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui sudut kemiringan panel surya yang tepat sesuai lokasi PT Indonesia Power sehingga daya dan efisiensi panel surya maksimal kemudian PLTS diintegrasikan dengan sistem yang ada saat ini.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh perubahan sudut kemiringan panel surya ( $\beta$ ) terhadap intensitas dan daya keluaran panel surya ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan sudut jam ( $\omega$ ) terhadap intensitas dan daya keluaran panel surya ?

Agar dapat mensubsitusi energi listrik pemakaian sendiri sehingga dapat mengurangi pemakaian energi listrik dan dengan biaya produksi yang lebih murah.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini hanya membahas PLTS yang sudah terpasang saat ini.
2. Penelitian ini hanya merancang kebutuhan PLTS dan pengintegrasian sistem dengan pembangkit listrik lainnya yang ada di unit bisnis pembangkit Pesanggaran
3. Penelitian ini hanya melakukan perubahan sudut kemiringan panel surya ( $\beta$ ) dan sudut jam ( $\omega$ )
4. Panel surya yang digunakan ialah panel surya *polycrystalline*

## 2. METODE

### 2.1. Persamaan Penelitian

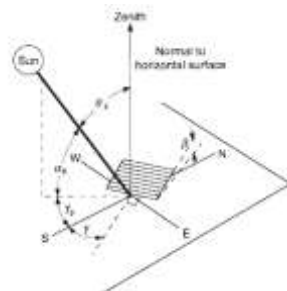
Adapun besarnya iradiansi matahari persatuan luas dalam arah tegak lurus pada radiasi tepat diluar atmosfer bumi adalah (jansen, 1985):

$$G = \sigma \frac{d_s^2 T_s^4}{4R^2} \text{ (W/ m2 )} \quad (1)$$

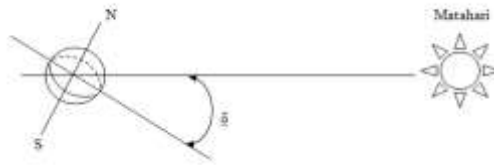
Keterangan :

- G = Iradiansi matahari 1353 W/m<sup>2</sup>
- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}^4$
- $d_s = \text{Diameter matahari } 1,39 \times 10^9 \text{ m}$
- $T_s^4 = \text{Temperatur permukaan matahari } 5762 \text{ K}$
- $R^2 = \text{Jarak matahari ke Bumi } 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

Lokasi dan kemiringan permukaan sangat mempengaruhi besarnya radiasi matahari yang diterima oleh Bumi karena lokasi dan permukaan ini menentukan besarnya sudut datang radiasi pada permukaan tersebut. Adapun sudut – sudut yang dibentuk akibat kemiringan permukaan adalah



**Gambar 1.** Sudut - sudut yang mempengaruhi radiasi matahari (Sumber: Duffie & Beckman, 1974)



**Gambar 2.** Sudut deklinasi matahari (*Sumber : Cooper, 1969*)

Keterangan :

$\phi$  = Sudut lintang,  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ , dengan utara positif.

$\theta_z$  = Sudut *Zenith*, sudut antara radiasi langsung dengan garis normal bidang horizontal.

$\alpha_s$  = Sudut *Altitude*, sudut antara radiasi langsung dengan bidang horizontal dan bernilai  $90^\circ - \theta_z$

$\omega$  = Sudut jam, bernilai  $0^\circ$  saat jam 12.00, setiap jam bernilai  $15^\circ$ , kearah pagi negatif dan kearah sore positif.

$\delta$  = Sudut deklinasi matahari;  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$

$\beta$  = Sudut kemiringan panel surya terhadap permukaan bumi

$\gamma$  = Sudut *Azimuth* panel,  $0^\circ$  pada selatan, ke timur bernilai negatif, ke barat bernilai positif,  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ .

$\gamma_s$  = Sudut *Azimuth* matahari

Untuk mencari nilai deklinasi matahari adalah sebagai berikut (*Duffie & Beckman, 1974*) :

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

Dimana :

$n$  = hari ke- dari tahun yang bersangkutan

Untuk mencari nilai sudut *Zenith* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (*Duffie & Beckman, 1974*)

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

Untuk mencari nilai sudut jam panel surya ( $\omega$ ) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (*Ambarita, 2011*) :

$$\omega = 15 (\text{STD} - 12) + (\text{ST} - \text{STD}) \left( \frac{15}{60} \right) \quad (4)$$

Untuk mendapatkan nilai *solar time* (ST) :

$$\text{ST} = \text{STD} + 4 (\text{Lst} - \text{Lloc}) + E \quad (5)$$

Untuk mendapatkan nilai E :

$$E = 229,2 (0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (6)$$

Untuk mendapatkan nilai B :

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (7)$$

Keterangan :

STD = *Standart time*

ST = *Solar time*

L<sub>st</sub> = Standart meridian waktu lokal (°)

L<sub>loc</sub> = Derajat bujur lokal, jika bujur timur maka tanda minus (-) didepan angka 4 dan jika bujur barat maka tanda plus (+) didepan angka 4 (°)

E = *Equation of time* (menit)

B = Sudut hari ke - n

Setelah kita mendapatkan nilai intensitas dan daya output, kita perlu menghitung efisiensi dari panel surya, berikut ialah persamaan efisiensi panel surya :

$$\eta = \frac{P_{max} (Watt)}{Intensitas\ cahaya \left(\frac{W}{m^2}\right) \times Luas\ Permukaan\ Panel\ (m^2)} \quad (8)$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (9)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi

P<sub>max</sub> = Daya output maksimum

V<sub>oc</sub> = Tegangan rangkaian terbuka

I<sub>sc</sub> = Arus hubungan singkat

## 2.2 Prosedur Penelitian

### 2.2.1 Alat dan bahan penelitian

o Alat :

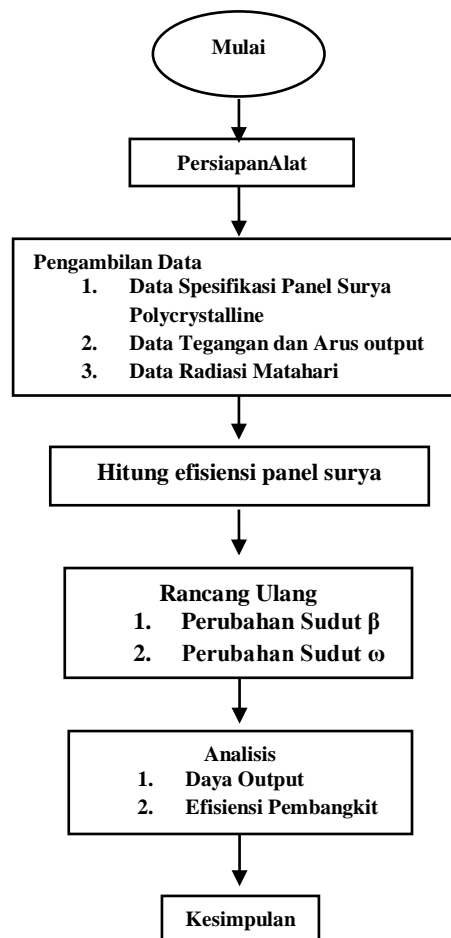
1. Alat ukur intensitas: Solarimeter
2. Alat ukur tegangan dan arus: multimeter

o Bahan :

1. Satu panel surya jenis polycrystalline dengan spesifikasi :

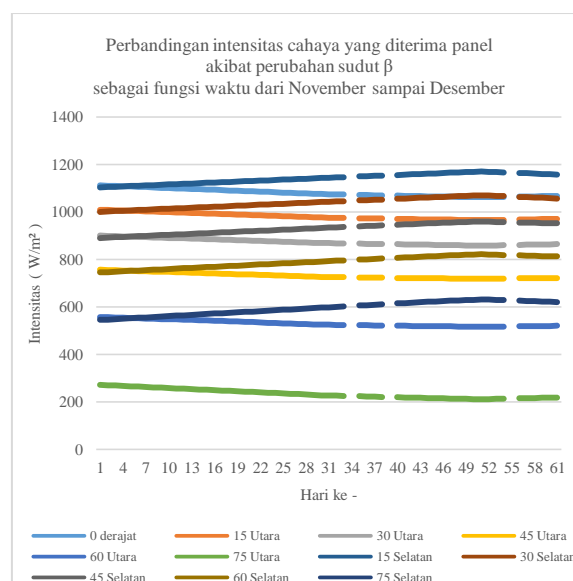
- ◆ V<sub>oc</sub> = 43,2 V
- ◆ I<sub>sc</sub> = 7,73 A
- ◆ NOCT = 48° C
- ◆ Temp. Coefficient of P 0,5%/K
- ◆ Temp. Coefficient of V<sub>oc</sub> -0,125V/K
- ◆ Temp. Coefficient of I<sub>sc</sub> 0,06%/K

## 2.2.2 Diagram Penelitian

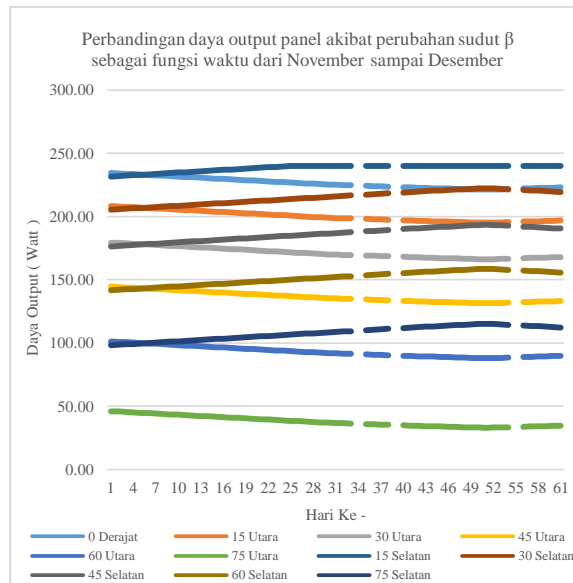


## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

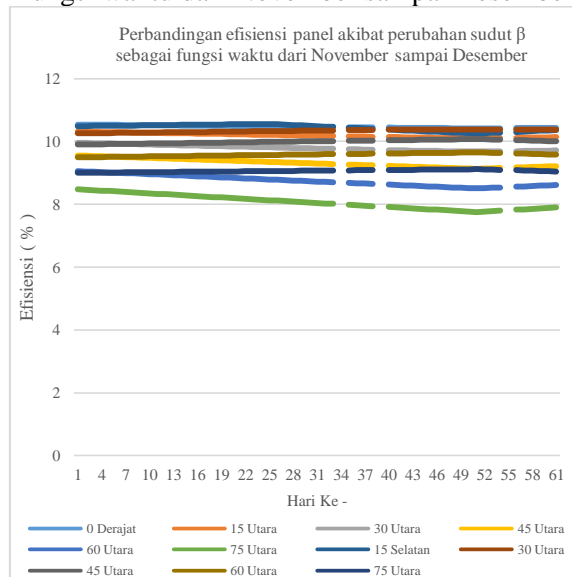
Setelah dilakukan penelitian, berikut ialah grafik perbandingan intensitas, daya output dan efisiensi panel surya selama bulan November sampai Desember



**Gambar 3.** Perbandingan intensitas cahaya yang diterima panel akibat perubahan sudut  $\beta$  sebagai fungsi waktu dari November sampai Desember



**Gambar 4.** Perbandingan daya output yang dihasilkan panel akibat perubahan sudut  $\beta$  sebagai fungsi waktu dari November sampai Desember



**Gambar 5.** Perbandingan efisiensi panel akibat perubahan sudut  $\beta$  sebagai fungsi waktu dari November sampai Desember

Dari grafik intensitas cahaya, daya output dan efisiensi panel surya diatas dapat disimpulkan bahwa sudut  $\beta$  sangat mempengaruhi besarnya intensitas cahaya yang diterima panel surya, daya output dan efisiensi panel surya dimana sudut  $\beta$  yang terbaik pada bulan November dan Desember adalah  $15^\circ$  menghadap Selatan.

Berikut ialah grafik pengaruh sudut  $\omega$   $0^\circ$ ,  $-15^\circ$  dan  $15^\circ$  terhadap intensitas cahaya yang diterima panel surya pada 1 November 2018 dari pukul 10.00 sampai 15.00



**Gambar 6** Pengaruh sudut  $\omega$   $0^\circ$ ,  $-15^\circ$  dan  $15^\circ$  terhadap intensitas cahaya yang diterima panel surya

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa perubahan sudut  $\omega$  setiap  $-15^\circ$  (menghadap pagi) akan mempercepat dicapainya intensitas maksimal yang diterima panel dan perubahan sudut  $\omega$  setiap  $+15^\circ$  (menghadap sore) akan memperlambat dicapainya intensitas maksimal yang diterima panel, dengan catatan panel surya bersifat *fixed* (sudut  $\beta$  dan  $\omega$  tidak diubah – ubah). Setelah dilakukannya penelitian ini, maka perlu dibandingkan hasil peningkatan intensitas cahaya, daya output dan efisiensi panel terhadap 2 sudut  $\beta$  terbaik dengan sudut  $\beta$  yang terpasang di PLTS PT Indonesia Power. Berikut ialah tabel hasil perbandingannya :

Tabel 1. Perbandingan sudut  $\beta$   $0^\circ$ ,  $15^\circ$  selatan dan  $45^\circ$  utara

Peningkatan Intensitas		Peningkatan Daya Output		Peningkatan Efisiensi	
$0^\circ$ dan $45^\circ$	$15^\circ$ dan $45^\circ$	$0^\circ$ dan $45^\circ$	$15^\circ$ dan $45^\circ$	$0^\circ$ dan $45^\circ$	$15^\circ$ dan $45^\circ$
48,63	60,60	67,06	81,80	12,50	13,38

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa sudut  $\beta$  terbaik pada bulan November dan Desember adalah  $15^\circ$  menghadap selatan dengan peningkatan intensitas cahaya, daya output dan efisiensi berturut – turut 60,60%, 81,80%, 13,38%.

#### 4. SIMPULAN

Adapun simpulan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sudut  $\beta$  terbaik pada bulan November dan Desember adalah  $15^\circ$  menghadap Selatan
2. Sudut  $\omega$  terbaik sepanjang hari adalah  $0^\circ$
3. Sudut  $\beta$  dan  $\omega$  sangat mempengaruhi sudut zenith ( $\theta_z$ ) panel surya akibatnya intensitas cahaya yang diterima panel, daya output dan efisiensi panel surya juga terpengaruh

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jhon A. Duffie & William A. Beckman (1974). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Madison
- [2] Jenny Nelson (2003). *The physics of solar cell*
- [3] I. G. B. Wijaya Kusuma (2017). *Kajian Kelayakan Penelitian Pembangunan PLTS 1 MWp di Lokasi PLTGU Pamaran – Kabupaten Buleleng*, Bali
- [4] Ted J. Jansen (1985), *Solar Engineering Technology*
- [5] Tiwari G. N., Tiwari A., & Shyam (2016), *Handbook of Solar Energy*, Singapore