

Perancangan Sudut Panel Surya Untuk Sistem *Solar Tracker* Di Kabupaten Karawang Menggunakan Metode Simulasi PVsyst

Kaizar Nur Alam^{1*}, Dian Budhi Santoso² & Rani Rahmadewi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang

*Email: kaizar234@gmail.com

ABSTRACT

The use of solar panel systems as solar energy utilization has become an attractive solution in order to reduce the use of fossil energy for electricity conversion raw materials. A solar Tracker system is used to increase the efficiency of solar panels by facing the solar panels to the angle of incidence of sunlight. This research aims to design the optimum angle that will be applied to the solar tracker system at University of Singaperbangsa Karawang. This study uses the simulation method of PVsyst software to analyze the performance of solar panel systems at various variations of tilt angle and azimuth. This research involves two optimum angle variations (5° and 9°), as well as an azimuth direction of 0° (system facing North) that will be applied to a static solar panel system and a solar tracker system. The collected sunlight data was inputted from the Meteororm 8.0 database. The results of this study inform that the solar tracker system (Tilt Angel 5°) gets the most optimal energy compared to the other three systems, with the energy produced amounting to 247.92 kWh / year, and gets the smallest percentage of lost energy which is 7.46%. Following up on this research, it is necessary to combine research methods to determine the exact position of the Tilt Angel and Azimuth, then direct application is needed to compare the accuracy of the data obtained from the simulation.

Keywords: Solar Tracker, PVsyst, Tilt Angel, Azimuth

PENDAHULUAN

Energi Baru dan Terbarukan (EBT) adalah energi dari alam yang tersedia secara berkelanjutan. Sesuai dengan kebijakan pemerintah Indonesia, pada tahun 2025 energi baru dan terbarukan ditargetkan mencapai 23%, serta pada tahun 2050 minimal mencapai 31%. Sebaliknya, ketergantungan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara ditargetkan berkurang sebesar 20% sampai 25% [1]. Salah satu alat yang memanfaatkan energi baru dan terbarukan adalah panel surya. Rata-rata di Indonesia tingkat radiasi matahari mencapai 4,8 kWh/m² /hari. Hal tersebut merupakan tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi dan sebuah potensi besar bagi Indonesia dalam hal pemanfaatan dan pembangkitan energi matahari menjadi energi listrik [2].

Menurut prinsip yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1894, panel surya merupakan alat yang dapat mengonversikan energi dari radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dengan prinsip photovoltaic, yaitu pembentukan energi listrik dari panjang gelombang cahaya tertentu yang mengeksitasi elektron pada material ke pita energi [3]. Penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif pembangkit listrik memiliki keuntungan yaitu tidak menimbulkan polusi udara, polusi suara (kebisingan), pemeliharaan yang relatif murah dan usia perangkat yang awet. Panel surya dapat mengubah radiasi matahari menjadi listrik dengan efisiensi rata-rata antara 9-12% tergantung jenis panel surya yang digunakan [4]. Ada dua jenis panel surya yang paling sering di gunakan yaitu tipe polycrystalline dan monocrystalline, dengan panel tipe monocrystalline yang paling tinggi efisiensi nya, yaitu mencapai 16% [5].

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya, diantaranya lokasi instalasi panel, kondisi lingkungan (suhu), kemiringan sudut permukaan horizontal (Tilt Angel), dan arah panel surya terhadap garis khatulistiwa (Azimut). Beberapa faktor tersebut mempengaruhi radiasi matahari yang mengarah langsung ke permukaan panel, sehingga berpengaruh juga untuk efisiensi dari panel surya [6]. Permasalahan utama dari penggunaan panel surya sebagai sumber energi listrik adalah ketidakstabilan daya yang dihasilkan panel surya karena sangat bergantung pada efisiensi dari faktor eksternal yaitu radiasi sinar matahari yang diterima [7]. Pada penerapan panel surya umumnya pemasangan instalasi masih bersifat statis. Pemasangan kemiringan sudut dan

besar azimuth pada panel surya yang tidak tepat dapat menyebabkan penyerapan radiasi matahari tidak maksimal, karena hal tersebut panel surya perlu dipasang sejajar dengan arah pergerakan dari matahari terhadap lokasi instalasinya [8].

Berbagai penelitian terkait optimasi perancangan sudut panel surya yang telah dilakukan di Indonesia. Fokus bahasan dari penelitian tersebut yaitu pengaruh kemiringan sudut permukaan horizontal (Tilt Angel) dan arah panel surya terhadap garis khatulistiwa (Azimut) menjadi faktor terpenting dalam memaksimalkan potensi keluaran daya dari panel surya[4]–[8]. Sejalan dengan informasi yang didapat dari penelitian tersebut, penelitian yang menentukan besar dari tilt angel dan arah azimuth untuk penerapan solar tracker belum memberikan informasi yang cukup. Penelitian seperti ini perlu dilakukan karena dapat memberikan informasi tentang peningkatan efisiensi panel surya untuk perancangan solar tracker. Selain itu, informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan yang bisa diteliti lebih lanjut untuk peningkatan efisiensi panel surya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan besar Tilt Angel dan arah awal Solar Tracker terhadap garis khatulistiwa (Azimut).

METODE PENELITIAN

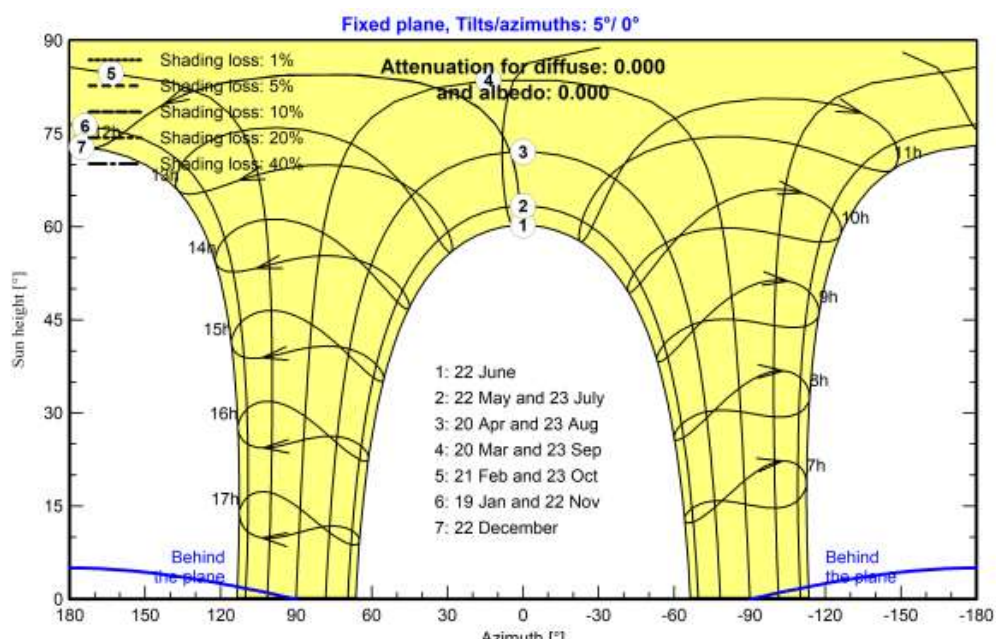
Penelitian ini menggunakan metode penelitian simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software PVsyst. Software PVsyst digunakan untuk melakukan perbandingan analisis data panel surya statis terhadap solar tracker[9]. Variabel yang digunakan adalah pengaruh kemiringan sudut permukaan horizontal (Tilt Angel) dan arah panel surya terhadap garis khatulistiwa (Azimut). Sedangkan validasi data hasil simulasi didapat dari energi yang dihasilkan melalui perbandingan antara besar sudut serta arah yang diinputkan ke panel surya statis dan solar tracker pada software PVsyst.

Data Simulasi

Data yang diperlukan sebagai input untuk simulasi PVsyst yaitu: lokasi acuan simulasi, data irradiance, kemiringan dan arah panel surya, energi yang digunakan per hari, serta spesifikasi komponen sistem PLTS.

1. Lokasi Acuan Simulasi

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi pemasangan sudut dan arah panel surya yang tepat di daerah Universitas Singaperbangsa Karawang (Lintang -06.322926° , Bujur 107.306229°). Jalur pergerakan matahari dari bulan Januari – Desember dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Jalur Matahari pada Lokasi Universitas Singaperbangsa Karawang

2. Data Irradiance

Dalam software PVsyst terdapat tujuh database irradiance yaitu: Meteonorm 8.0, NASA-SSE, PVGIS TMY, NREL, Solcast, dan SolarAnywhere[10]. Pada penelitian ini database yang dipilih untuk pembuatan simulasi yaitu Meteonorm 8.0 karena memiliki data irradiance yang terbaru.

3. Kemiringan dan Arah Panel Surya

Pergerakan matahari pada suatu daerah berubah setiap harinya karena rotasi bumi, maka dari itu penentuan arah dan besar sudut kemiringan panel surya harus disesuaikan. Penentuan kemiringan serta arah panel surya disesuaikan dengan posisi garis lintang dan garis bujur di lokasi pemasangan panel. Dengan menginputkan data garis lintang dan garis bujur pada Meteonorm 8.0, penulis membandingkan beberapa posisi yang optimal untuk menentukan besar kemiringan dan arah panel surya statis maupun panel yang menggunakan sistem solar tracker. Data penentuan besar kemiringan sudut (Tilt Angel) dan arah panel terhadap garis khatulistiwa (Azimut) disajikan pada table berikut.

Tabel 1. Sudut dan Arah Panel Surya

| Sistem Panel | Arah (Azimut) | Kemiringan (Tiltl Angel) |
|--------------|---------------|--------------------------|
| Statis | 0° | 5° |
| Statis | 0° | 9° |
| Tracking | 0° | 5° |
| Tracking | 0° | 9° |

4. Energi yang Digunakan Per Hari

Dalam penelitian ini, input data energi yang terpakai per harinya berdasarkan penggunaan listrik kost mahasiswa. Berikut tabel kebutuhan pemakaian listrik selama 24 jam.

5. Spesifikasi Komponen Sistem PLTS

Komponen PLTS yang digunakan pada penelitian ini diambil pada database PVsyst yaitu dengan spesifikasi berikut.

| PV Array Characteristics | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------|
| PV module | | | |
| Manufacturer | GH Solar | | |
| Model | GH200 M131 | | |
| (Original PVsyst database) | | | |
| Unit Nom. Power | 200 Wp | | |
| Number of PV modules | 1 unit | | |
| Nominal (STC) | 200 Wp | | |
| Modules | 1 String x 1 In series | | |
| At operating cond. (50°C) | | | |
| P _{mp} | 180 Wp | | |
| U _{mp} | 36 V | | |
| I _{mp} | 5.1 A | | |
| Controller | | | |
| Manufacturer | Morningstar | | |
| Model | SunSaver MPPT SS-MPPT-15L @12V | | |
| Technology | MPPT converter | | |
| Temp coeff. | -5.0 mW/°C/Elem. | | |
| Converter | | | |
| Maxi and EURO efficiencies | 97.5 / 95.0 % | | |
| Total PV power | | | |
| Nominal (STC) | 0.200 kWp | | |
| Total | 1 modules | | |
| Module area | 1.4 m ² | | |
| Cell area | 1.2 m ² | | |
| Battery | | | |
| Manufacturer | | | Generic |
| Model | | | Open 12V / 100 Ah |
| Technology | | | Lead-acid, vented plates |
| Nb. of units | | | 1 Unit |
| Discharging min. SOC | | | 31.2 % |
| Stored energy | | | 0.8 kWh |
| Battery Pack Characteristics | | | |
| Voltage | | | 12 V |
| Nominal Capacity | | | 100 Ah (C10) |
| Temperature | | | Fixed 20 °C |
| Battery Management control | | | |
| Threshold commands as | | | Battery voltage |
| Charging | | | 13.8 / 12.4 V |
| Corresp. SOC | | | 0.93 / 0.78 |
| Discharging | | | 11.8 / 12.2 V |
| Corresp. SOC | | | 0.29 / 0.61 |

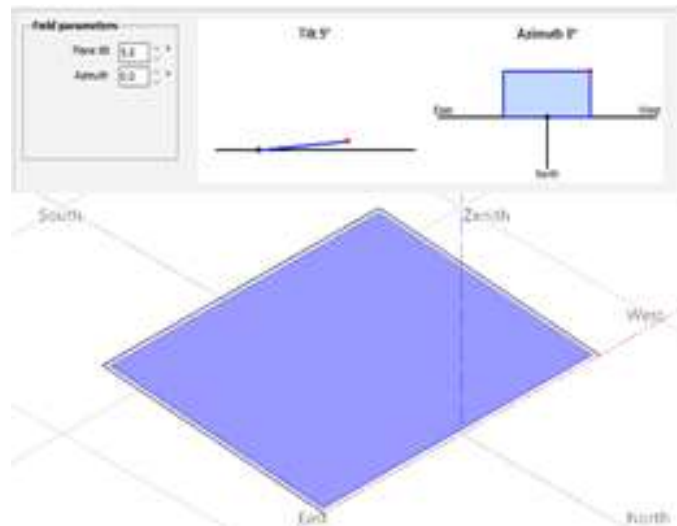
Gambar 2. Spesifikasi Komponen Sistem PLTS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan terhadap panel surya statis dan *solar tracker* yang mengarah ke utara (sudut Azimut 0°). Variasi kemiringan sudut (*Tilt Angel*) panel surya yang digunakan yaitu 5° dan 9° dengan hasil yang diperoleh sebagai berikut.

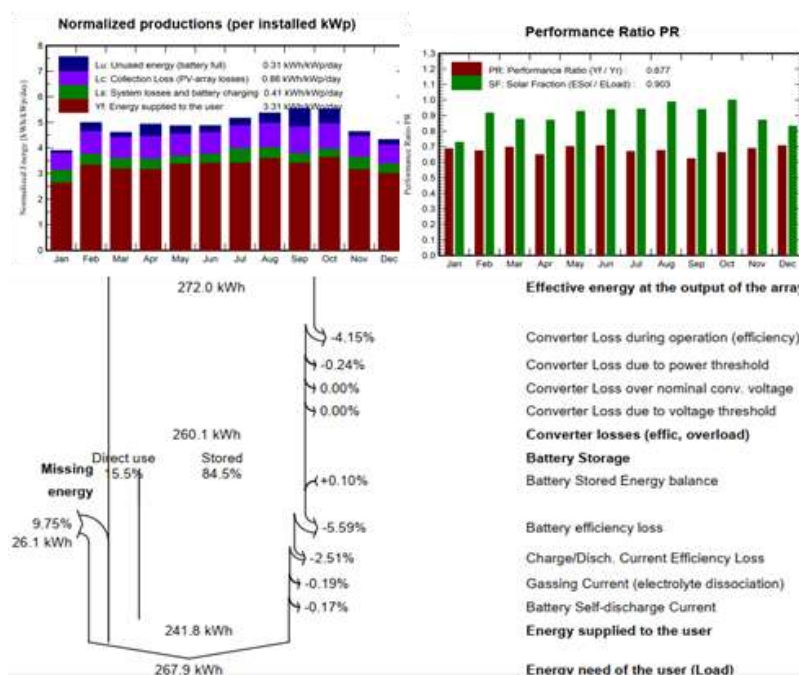
Simulasi Panel Surya Statis (*Tilt Angel* 5°)

Pada percobaan simulasi pertama, dirancang PLTS menggunakan sistem pemasangan panel surya statis dengan *Tilt Angel* 5° yang dapat dilihat dari gambar-gambar berikut.



Gambar 3. Orientasi Arah dan Kemiringan Panel Surya Statis (*Tilt Angel* 5°)

Berdasarkan Gambar 3. Panel surya statis disimulasikan menggunakan *software* PVsyst dengan orientasi mengarah ke utara (Azimut 0°) dan kemiringan sudut terhadap matahari yaitu 5°. Grafik dan diagram yang disajikan Gambar 4. Menunjukkan *main result* dari sistem panel surya dengan parameter sebagai berikut:

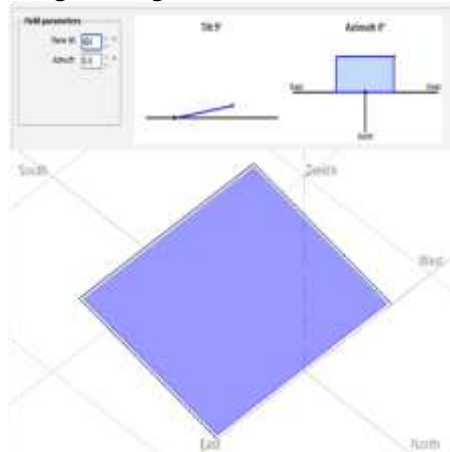


Gambar 4. *Main result* panel Surya Statis (*Tilt Angel* 5°)

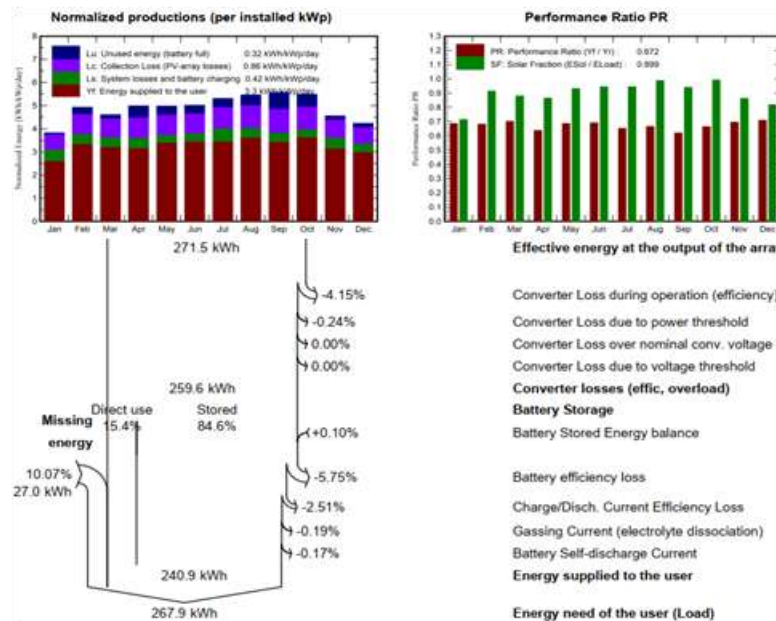
- 1) Lu : Energi yang tidak terpakai sebesar 0.31 kWh/kWp/Hari
- 2) Lc : Rugi-rugi pada PV Array sebesar 0.86 kWh/kWp/Hari
- 3) Ls : Rugi-rugi Pada Sistem PLTS sebesar 0.41 kWh/kWp/Hari
- 4) Yf : Energi yang disuplai ke pengguna sebesar 3.31 kWh/kWp/Hari
- 5) Performance Ratio (hasil energi sebenarnya / hasil perhitungan energi) sebesar 67.7%
- 6) Solar Fraction (energi yang terpakai / kebutuhan beban) sebesar 90.3%
- 7) Missing Energy 9.75% atau 26.1 kWh/Tahun.

Simulasi Panel Surya Statis (Tilt Angel 9°)

Pada simulasi ke-2, dirancang PLTS menggunakan sistem pemasangan panel surya statis dengan Tilt Angel 9° yang dapat dilihat dari gambar-gambar berikut.



Gambar 5. Orientasi Arah dan Kemiringan Panel Surya Statis (Tilt Angel 9°)



Gambar 6. Main result panel Surya Statis (Tilt Angel 9°)

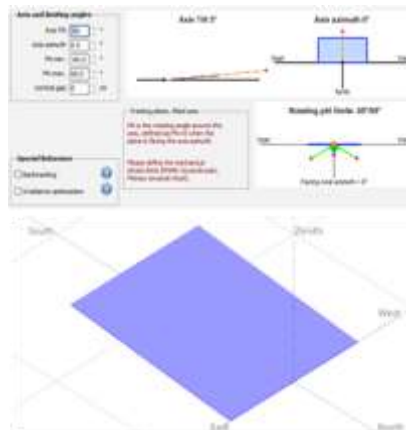
Berdasarkan Gambar 5. Panel surya statis disimulasikan menggunakan software PVsyst dengan orientasi mengarah ke utara (Azimut 0°) dan kemiringan sudut terhadap matahari yaitu 9°. Grafik dan diagram yang disajikan Gambar 6. Menunjukkan main result dari sistem panel surya dengan parameter sebagai berikut:

- 1) Lu : Energi yang tidak terpakai sebesar 0.32 kWh/kWp/Hari
- 2) Lc : Rugi-rugi pada PV Array sebesar 0.86 kWh/kWp/Hari

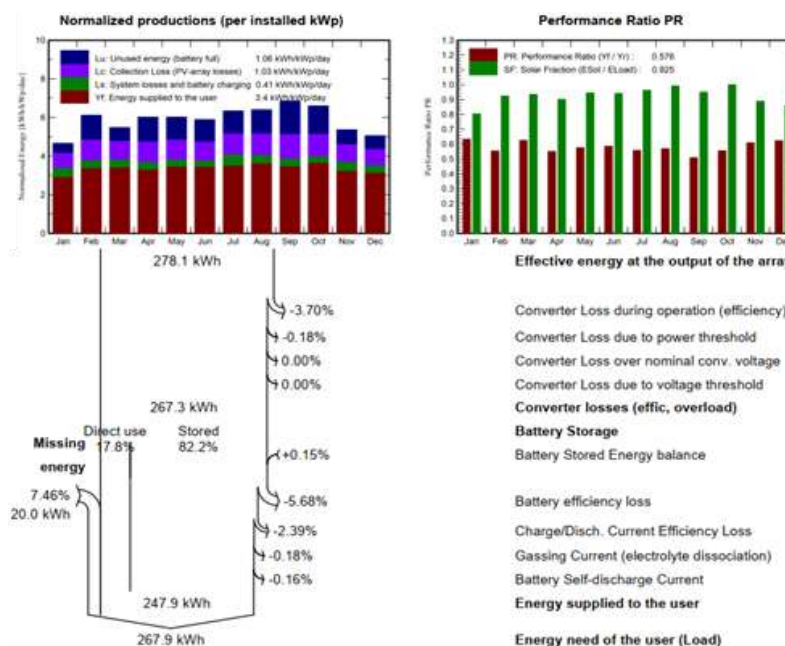
- 3) L_s : Rugi-rugi Pada Sistem PLTS sebesar 0.42 kWh/kWp/Hari
- 4) Y_f : Energi yang disuplai ke pengguna sebesar 3.3 kWh/kWp/Hari
- 5) *Performance Ratio* (hasil energi sebenarnya / hasil perhitungan energi) sebesar 67.2%
- 6) *Solar Fraction* (energi yang terpakai / kebutuhan beban) sebesar 89.9%
- 7) *Missing Energy* 10.7% atau 27 kWh/Tahun.

Simulasi Solar Tracker (Tilt Angel 5°)

Pada simulasi ke-3, dirancang PLTS menggunakan sistem *Solar Tracker* dengan *Tilt Angel* 5° dan rotasi panel dari Timur ke Barat (*Rotating Phi*) sebesar -60°/60°. Berikut gambar simulasinya.



Gambar 7. Orientasi Arah, *Tilt Angel* 5°, *Rotating Phi* -60°/60°



Gambar 8. Main result Solar Tracker (*Tilt Angel* 5°)

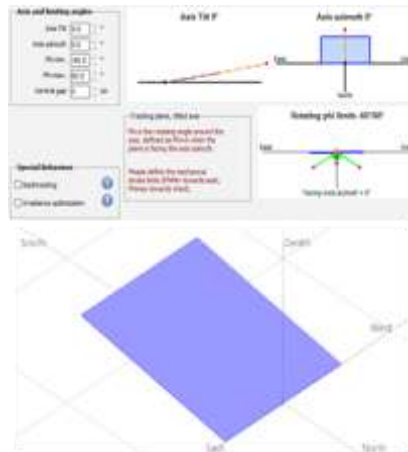
Berdasarkan Gambar 7. *Solar Tracker* disimulasikan menggunakan *software* PVsyst dengan orientasi mengarah ke utara (Azimut 0°), *Tilt Angel* 5°, serta *Rotating Phi* sebesar -60°/60°. Grafik yang disajikan

- 1) L_u : Energi yang tidak terpakai sebesar 1,06 kWh/kWp/Hari
- 2) L_c : Rugi-rugi pada PV Array sebesar 1,03 kWh/kWp/Hari
- 3) L_s : Rugi-rugi Pada Sistem PLTS sebesar 0.41 kWh/kWp/Hari

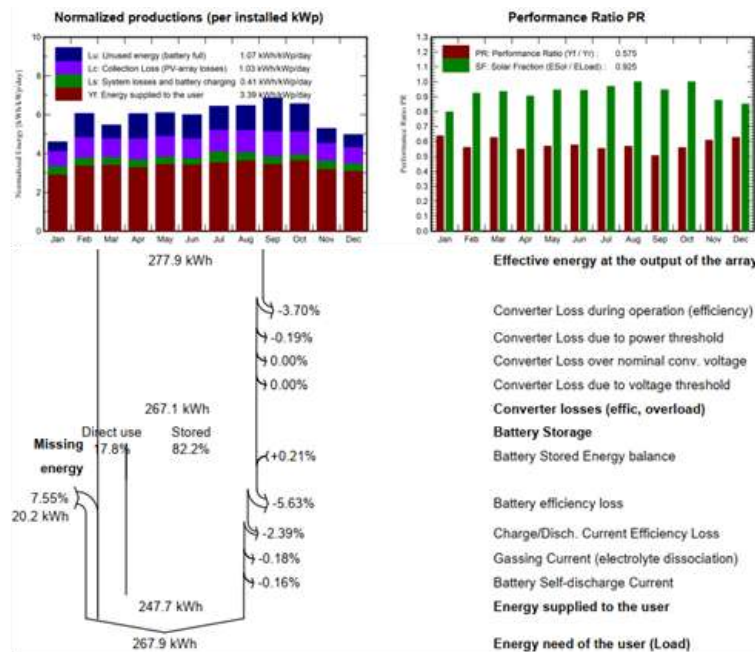
- 4) Y_f : Energi yang disuplai ke pengguna sebesar 3.4 kWh/kWp/Hari
- 5) *Performance Ratio* (hasil energi sebenarnya / hasil perhitungan energi) sebesar 57.6%
- 6) *Solar Fraction* (energi yang terpakai / kebutuhan beban) sebesar 92.5%
- 7) *Missing Energy* 7.46% atau 20 kWh/Tahun.

Simulasi Solar Tracker (Tilt Angel 9°)

Pada simulasi ke-4, dirancang PLTS menggunakan sistem *Solar Tracker* dengan *Tilt Angel* 9° dan rotasi panel dari Timur ke Barat (*Rotating Phi*) sebesar -60°/60°. Berikut gambar simulasinya.



Gambar 9. Orientasi Arah, *Tilt Angel* 9°, *Rotating Phi* -60°/60°



Gambar 10. *Main result Solar Tracker (Tilt Angel 9°)*

Berdasarkan Gambar 9. Panel surya disimulasikan menggunakan sistem *Solar Tracker* pada *software* PVsyst dengan orientasi mengarah ke utara (Azimut 0°), *Tilt Angel* 9°, serta *Rotating Phi* sebesar -60°/60°. Grafik yang disajikan Gambar 10. Menunjukkan *main result* dari sistem *Solar Tracker* dengan parameter sebagai berikut.

- 1) Lu : Energi yang tidak terpakai sebesar 1,07 kWh/kWp/Hari
- 2) Lc : Rugi-rugi pada PV Array sebesar 1,03 kWh/kWp/Hari

- 3) L_s : Rugi-rugi Pada Sistem PLTS sebesar 0.41 kWh/kWp/Hari
- 4) Y_f : Energi yang disuplai ke pengguna sebesar 3.39 kWh/kWp/Hari
- 5) *Performance Ratio* (hasil energi sebenarnya / hasil perhitungan energi) sebesar 57.5%
- 6) *Solar Fraction* (energi yang terpakai / kebutuhan beban) sebesar 92.5%
- 7) *Missing Energy* 7.55% atau 20.2 kWh/Tahun.

Energi yang Didapat Dari Masing-masing Sistem Panel Surya

Pada bagian ini disajikan perbandingan energi yang didapat oleh empat sistem pemasangan panel surya dengan orientasi Azimut 0° , serta variasi *Tilt Angel* 5° dan 9° . Data yang akan disajikan berguna sebagai validasi dari variabel yang sudah ditentukan. Perbandingan data akan disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 3. Total Beban (E_{Load}) dan Energi yang Disalurkan ke Pengguna (E_{User})

| Bulan | Panel Surya Statis (<i>Tilt Angel</i> 5°) | | Panel Surya Statis (<i>Tilt Angel</i> 9°) | | <i>Solar Tracker</i> (<i>Tilt Angel</i> 5°) | | <i>Solar Tracker</i> (<i>Tilt Angel</i> 9°) | |
|------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| | E_{Load} kWh | E_{User} kWh | E_{Load} kWh | E_{User} kWh | E_{Load} kWh | E_{User} kWh | E_{Load} kWh | E_{User} kWh |
| Januari | 22.75 | 16.58 | 22.75 | 16.26 | 22.75 | 18.30 | 22.75 | 18.17 |
| Februari | 20.55 | 18.83 | 20.55 | 18.78 | 20.55 | 18.99 | 20.55 | 18.99 |
| Maret | 22.75 | 19.95 | 22.75 | 20.02 | 22.75 | 21.26 | 22.75 | 21.26 |
| April | 22.02 | 19.18 | 22.02 | 19.05 | 22.02 | 19.86 | 22.02 | 19.91 |
| Mei | 22.75 | 21.12 | 22.75 | 21.18 | 22.75 | 21.49 | 22.75 | 21.51 |
| Juni | 22.02 | 20.67 | 22.02 | 20.80 | 22.02 | 20.73 | 22.02 | 20.76 |
| Juli | 22.75 | 21.43 | 22.75 | 21.47 | 22.75 | 21.91 | 22.75 | 22.08 |
| Agustus | 22.75 | 22.50 | 22.75 | 22.50 | 22.75 | 22.58 | 22.75 | 22.75 |
| September | 22.02 | 20.68 | 22.02 | 20.69 | 22.02 | 20.91 | 22.02 | 20.84 |
| Oktober | 22.75 | 22.75 | 22.75 | 22.58 | 22.75 | 22.75 | 22.75 | 22.75 |
| November | 22.02 | 19.17 | 22.02 | 19.00 | 22.02 | 19.58 | 22.02 | 19.31 |
| Desember | 22.75 | 18.95 | 22.75 | 18.61 | 22.75 | 19.56 | 22.75 | 19.36 |
| Satu Tahun | 267.91 | 241.80 | 267.91 | 240.94 | 267.91 | 247.92 | 267.91 | 247.69 |

Dari Tabel 3. Kebutuhan beban yang dipakai oleh pengguna dari masing-masing sistem PLTS dengan panel surya mono-200Wp sebesar 267.91 kWh/Tahun. Sedangkan energi yang dihasilkan dari keempat sistem berbeda-beda. Sistem yang paling besar menghasilkan energi pada panel surya mono-200Wp adalah *Solar Tracker (Tilt Angel 5°)*, dengan energi yang dihasilkan sebesar 247.92 kWh/Tahun. Sementara itu untuk sistem yang menghasilkan energi paling sedikit dalam satu tahun yaitu sistem panel surya statis (*Tilt Angel 9°*), dengan energi yang dihasilkan sebesar 240.94 kWh/Tahun.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, dibuat analisis perancangan PLTS dengan variasi kemiringan sudut terhadap matahari sebesar 5° dan 9° serta besar Azimut 0° . Penentuan arah dan besar *Tilt Angel* ini

diterapkan pada sistem panel surya statis dan Solar Tracker menggunakan simulasi PVsyst. Berdasarkan analisis unjuk kerja dari keempat sistem yang disimulasikan, dapat disimpulkan bahwa penentuan arah Azimut, Tilt Angel, dan pergerakan rotasi panel surya sangat menentukan tingkat efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS. Dalam penelitian ini, sistem panel surya dengan Solar Tracker (Tilt Angel 5°) menjadi penghasil energi yang paling optimal, dengan energi yang dihasilkan oleh sistem sebesar 247.92 kWh/Tahun.

Disini dapat dilihat bahwa penentuan sudut yang terlalu besar dapat menurunkan efisiensi dari panel surya, hal ini dapat terjadi karena radiasi matahari datang dari sudut yang lebih rendah. Oleh karena itu, simulasi dengan software PVsyst dilakukan untuk menganalisis sistem pemasangan panel surya yang tepat sebelum diterapkan pada sistem sebenarnya. Dengan hasil simulasi pemasangan sistem solar tracker (Tilt Angel 5°) menjadi yang paling optimal di daerah Universitas Singaperbangsa Karawang (Lintang -06.322926°, Bujur 107.306229°).

Saran

untuk benar-benar menentukan posisi Azimut dan Tilt Angel yang tepat di suatu daerah tertentu. Pengembangan metode bisa dilakukan dengan menggabungkan simulasi PVsyst dengan perhitungan regresi kuadratik atau metode lain yang didukung dengan eksperimen langsung pada sistem panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Pengembangan Energi Baru Dan Energi et al., "OPEN ACCESS." [Online]. Available: <http://riptek.semarangkota.go.id>
- [2] M. Alvin Ridho and B. Winardi dan Agung Nugroho, "ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY 6.43."
- [3] R. Siahaan, I. W. Kusuma, and I. B. Adnyana, "Pengaruh Sudut B dan W pada PLTS di PT Indonesia Power," *Jurnal METTEK*, vol. 6, no. 1, p. 62, Apr. 2020, doi: 10.24843/mettek.2020.v06.i01.p08.
- [4] R. Pido, R. Hidayat Boli, M. Rifal, W. Rauf, N. Shanti Dera, and R. Rianto Day, "ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP OPTIMASI DAYA PANEL SURYA," vol. 10, no. 2, pp. 234–240, 2022, doi: 10.37971/radial.v10i2.287.
- [5] A. Dyah Afriyani et al., "Analisis Pengaruh Posisi Panel Surya terhadap Daya yang dihasilkan di PT Lentera Bumi Nusantara," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 176–183, 2019, [Online]. Available: <http://semnas.mesin.pnj.ac.id>
- [6] T. M. Azis Pandria and E. Mawardi, "Penentuan Sudut Kemiringan Optimum Berdasarkan Energi Keluaran Panel Surya," *Serambi Engineering*, vol. VI, no. 1, 2021.
- [7] S. Tamimi, W. Indrasari, and B. H. Iswanto, "OPTIMASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA PADA PROTOTYPE SISTEM PENJEJAK MATAHARI AKTIF," *Universitas Negeri Jakarta*, 2016, pp. SNF2016-CIP-53-SNF2016-CIP-56. doi: 10.21009/0305020111.
- [8] N. Pramesti Sartono et al., "Pengaruh Perbedaan Posisi Sudut Kemiringan Panel Surya 120 Watt Peak Terhadap Peningkatan Efisiensi," 2021. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [9] A. Dani and D. Erivianto, "Studi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Skala Rumah Tangga pada Daerah Bagan Deli Menggunakan PVsyst," *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 3, no. 9, pp. 961–972, Sep. 2022, doi: 10.36418/jist.v3i9.496.
- [10] "Optimasi Sudut Pemasangan Panel Surya Bifasial di Indonesia dengan Metode Simulasi PVsyst," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.30596/rmme.v6i1.121