

PENGARUH VARIASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA *MONO-CRYSTALLINE* TERHADAP KELUARAN DAYA DI UNIVERSITAS TIDAR MAGELANG

Jaya Abdurakman¹, Deria Pravitasari², Hery Teguh Setiawan³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

jayaabd123@gmail.com¹, deria.pravitasari@untidar.ac.id², heryteguhsetiawan@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT), di antaranya adalah energi matahari sebagai sumber energi pembangkit listrik. Efisiensi energi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dengan daya masukan yang diterima. Efisiensi rendah berdampak pada keluaran daya listrik modul surya. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan panel surya antara 10°, 11°, 12°, 13°, dan 15° untuk meningkatkan keluaran daya dan efisiensi. Selanjutnya, dilakukan simulasi menggunakan Pvsyst untuk membandingkan hasil energi sebenarnya dengan hasil energi yang disimulasikan. Penelitian pada panel surya monokristalin di Universitas Tidar Magelang menunjukkan hasil yang beragam. Pada sudut kemiringan 10°, diperoleh nilai tertinggi daya dan efisiensi sebesar 664,9 W dan 24,98%. Sedangkan pada sudut kemiringan 15°, diperoleh nilai terendah sebesar 576,66 W dan 12,74%. Perbandingan antara hasil energi simulasi dan energi sebenarnya adalah 482,6 kWh dan 467,74 kWh. Terdapat selisih sebesar 15,6 kWh atau sekitar 3,3%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sudut terbaik pada kemiringan panel surya adalah 10°.

Kata kunci : energi terbarukan, efisiensi, sudut kemiringan panel, simulasi Pvsyst

ABSTRACT

Indonesia has the potential for renewable energy sources (EBT), including solar energy as a source of electricity generation. Energy efficiency can be defined as the ratio between the electrical power produced and the input power received. Low efficiency has an impact on the output power of solar modules. Research was conducted by varying the tilt angle of solar panels between 10°, 11°, 12°, 13°, and 15° to increase the output power and efficiency. Furthermore, simulations were performed using Pvsyst to compare the actual energy results with the simulated energy results. The research on monocrystalline solar panels at Tidar University in Magelang showed diverse results. At a tilt angle of 10°, the highest values for power and efficiency were obtained, which were 664.9 W and 24.98%, respectively. Meanwhile, at a tilt angle of 15°, the lowest values were obtained, which were 576.66 W and 12.74%, respectively. The comparison between the simulated energy results and the actual energy results was 482.6 kWh and 467.74 kWh, respectively. There was a difference of 15.6 kWh or approximately 3.3%. Based on these results, it can be concluded that the optimal angle for solar panel tilt is 10°.

Keywords: renewable energy, efficiency, panel tilt angle, Pvsyst simulation

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat, membutuhkan energi listrik yang sangat tinggi untuk memenuhi kebutuhan manusia dalam berbagai aspek. Sumber energi yang dibutuhkan untuk membuat energi listrik di Indonesia banyak menggunakan energi fosil yang ketersediaannya sangatlah terbatas.

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak potensi energi terbarukan. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi tidak terbatas, menjadikan energi

yang banyak digunakan untuk sumber pembangkit listrik. Intensitas cahaya matahari yang cukup besar karena berada di daerah katulistiwa, Indonesia mendapatkan sekitar 1200 w/m^2 intensitas matahari harian [1].

Penelitian sebelumnya melakukan pengambilan data intensitas cahaya matahari, didapatkan bahwa intensitas cahaya matahari paling besar adalah pukul 13.30 dengan nilai intensitas sebesar 1544,2 w/m^2 , sedangkan pada kondisi mendung intensitas yang

dihasilkan menurun drastis, sebesar 355 w/m^2 [2].

Penelitian lainnya membahas tentang peran temperatur pada panel surya yang menjelaskan bahwa daya keluaran dari PLTS akan mengalami kenaikan ketika menggunakan sistem pendinginan pada panel surya. Kenaikan yang terjadi pada panel surya dengan sistem pendingin memiliki nilai rata-rata efisiensi sebesar 8,49%, sedangkan panel surya tanpa menggunakan sistem pendingin hanya memperoleh nilai rata-rata efisiensi sebesar 7,83% [3].

Penelitian terdahulu membahas tentang keluaran daya sel surya 10 WP tipe *polycrystalline* dengan variasi sudut 10° , 20° , dan 30° menunjukkan bahwa sudut yang paling efisien digunakan adalah variasi sudut 10° karena pemanfaatan intensitas radiasi terbesar hanya pada waktu 10.30 – 14.30 WITA [4].

Penelitian selaras juga telah dilakukan menggunakan variasi sudut 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , dan 60° menunjukkan hasil keluaran daya terbesar adalah dengan variasi 10° pada pukul 13.00 WIB dengan daya keluaran sebesar 31,59 Watt. Sedangkan nilai efisiensi pada panel surya tertinggi diperoleh pada variasi 10° pukul 15.00 WIB dengan nilai efisiensi sebesar 15,47% [5].

METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2023 dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Tidar, Kota Magelang. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua unit panel surya *monocrystalilne* yang berfungsi sebagai pengubah energi surya menjadi energi listrik, kemudian ada baterai 12V 100Ah berfungsi sebagai penyimpanan daya yang dihasilkan dari panel surya, kemudian alat inverter MPPT sebagai pengubah arus DC menjadi arus AC dan kabel DC sebagai penghubung antara baterai dan inverter dengan arus besar. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah laptop untuk membuat simulasi Pvsyst, *solar power meter* untuk mengukur intensitas cahaya matahari, *inclinometer* untuk mengukur sudut kemiringan panel surya, dan multimeter untuk mengukur tegangan arus yang masuk dari panel surya ke baterai.

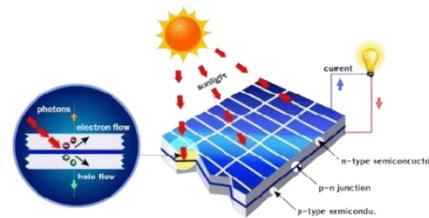
Energi surya

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber

daya dalam bentuk energi lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit listrik selain air, uap, angin, biogas dan energi fosil.

Panel surya

Panel surya merupakan alat yang digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari panel surya adalah dengan menangkap radiasi matahari dan dirubah menjadi arus listrik DC dengan menggunakan kristal *silicon* (Si) yang tipis. Skema prinsip kerja panel surya ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema kerja panel surya

Sel-sel silikon tersebut dipasang dengan posisi seri pada panel yang terbuat dari aluminium dan dilindungi dari kaca atau plastik. Sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 – 1 volt bergantung pada intensitas cahaya dan jenis zat konduktor yang digunakan. Pada penelitian ini, panel surya yang digunakan adalah jenis *monocrystalline*, penampakan dari panel surya jenis *monocrystalline* ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Panel surya *monocrystalline*

Panel surya jenis *monocrystalline* adalah panel surya yang menggunakan satu sel surya *crystalline* dan memiliki tingkat efisiensi paing tinggi hingga mencapai 20%. Daya keluaran akan semakin besar apabila daya input yang masuk semakin besar. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari besaran daya listrik pada sel surya adalah

$$P_{sel} = V_{sel} \times I_{sel}$$

Dimana:

P_{sel} = Daya Panel Surya (W)

V_{sel} = Tegangan sel surya (V)

I_{sel} = Arus sel surya (A)

Efisiensi panel surya

Efisiensi panel surya dihitung sebagai rasio antara daya maksimal yang dihasilkan dan daya insiden P_{in} nilai radiasi adalah 1000 w/m^2 untuk spektrum Am1.5 telah menjadi standar untuk mengukur efisiensi konversi sel surya

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{P_{in}} = \frac{I_{sc}V_{oc}FF}{P_{in}}$$

Dimana:

P_{in} = Daya masukan panel surya (V)

η = Efisiensi panel surya (%)

P_{max} = maximum power (Wp)

Parameter eksternal khas dari sel surya *silicon* kristal seperti yang ditunjukkan adalah I_{sc} 35 mA/cm², V_{oc} hingga 0,65 V dan FF pada kisaran 0,75 hingga 0,85. Efisiensi konversi terletak pada kisaran 17% hingga 18%.

Solar charge controller

Solar charge controller merupakan alat elektronik pada sistem PLTS yang berfungsi sebagai pengatur lalu lintas listrik dari panel surya ke baterai. Apabila baterai sudah penuh maka sistem tersebut akan otomatis menghentikan aliran daya dari modul surya untuk masuk kedala baterai, namaun apabila daya listrik pada baterai tinggal 20% - 30% maka sistem akan otomatis mengisi daya kembali. Pada penelitian ini *solar charge controller* yang digunakan adalah SCC MPPT (*maximum power point tracking*) dimana alat yang berfungsi untuk menelusuri kekuatan maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya dan mengontrol pengisian baterai. Penampakan dari SCC MPPT ditampilkan pada gambar3.



Gambar 3. SCC MPPT

Radiasi matahari

Radiasi matahari yang mengenai permukaan bidang miring dari tiga komponen, diantaranya radiasi langsung (HB), radiasi tersebar (HD), dan radiasi pantulan (HR). Adapun rumus untuk mencari sudut deklansi (δ) pada panel surya adalah

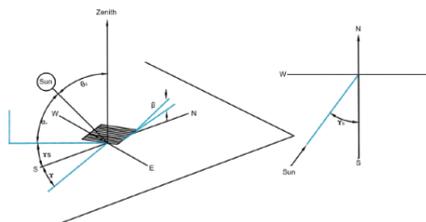
$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(284 + n)\right)$$

Dimana:

δ = sudut deklansi matahari

n = nomor pengambilan data

Skema hubungan sudut terhadap kemiringan panel panel surya ditampilkan pada gambar 4.



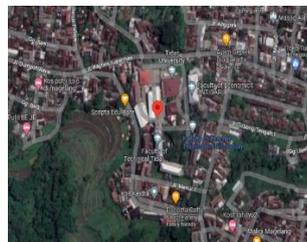
Gambar 4. Skema hubungan antar sudut terhadap kemiringan permukaan

Parameter sudut-sudut yang penting dalam menentukan posisi matahari adalah sebagai berikut:

1. Sudut *latitude* (ϕ) merupakan sudut lintang utara atau selatan dari garis ekuator, yang bernilai positif untuk lintang utara ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$).
2. Sudut deklansi (δ) merupakan sudut posisi matahari ketika berada tepat diatas posisi lokal suatu daerah.
3. Sudut *slope* (β) merupakan sudut kemiringan suatu bidang terhadap garis horizontal ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$).
4. Sudut *azimuth* merupakan sudut deviasi dari proyeksi suatu benda pada bidang horizontal terhadap garis selatan – utara, yang bernilai positif untuk arah ke barat $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Kondisi geografis

penelitian ini dilakukan pada koordinat koordinat -7.4600991351256525 , 110.21666001118565 tepatnya pada kampus Universitas Tidar, Kecamatan Magelang Utara, Kota Magelang. Letak geografis penelitian ini berada disekitar jalan raya dan kawasan banyak aktifitas kendaraan sehingga berpotensi meningkatkan debu yang akan menempel. Penampakan geografis lokasi penelitian akan ditampilkan pada gambar 5.



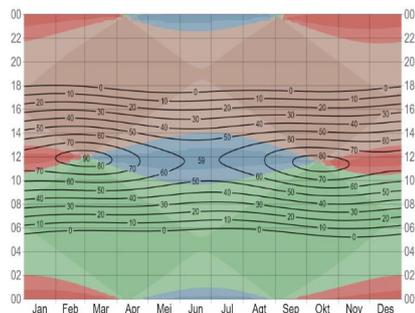
Gambar 5. Lokasi PLTS disekitar jalan dan kawasan kampus UNTIDAR

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpasang berada di *rooftop* Gedung Fakultas Teknik 3, Universitas Tidar, Magelang. Kondisi atap berjenis dak beton. Dengan jenis atap tersebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dipasang menggunakan *mounting Lfeet, Mounting rails, Endclamp, Midclamp*, sehingga panel surya dapat diarahkan menghadap selatan atau utara, dapat diatur sudut kemiringan panel surya. Berdasarkan arah datang matahari pembangkit listrik tenaga surya tidak memiliki potensi *shading*. Gambar 6. menunjukkan kondisi atap pembangkit listrik tenaga surya.



Gambar 6. Lokasi penelitian

Arah elevasi matahari dan *azimuth* sepanjang musim di Kota Magelang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Elevasi matahari dan *azimuth* sepanjang musim di Kota Magelang

Keterangan warna:

- Biru : Utara
- Hijau : Timur
- Merah : Selatan
- Coklat : Barat

Berdasarkan kondisi geografis, lokasi Universitas Tidar Magelang berada di lintang selatan garis khatulistiwa, sehingga pengaturan beberapa variasi sudut

kemiringan panel surya diposisikan mengarah ke utara.

Baterai

Baterai merupakan komponen PLTS yang digunakan sebagai tempat penyimpanan arus listrik yang dihasilkan dari panel surya. Selain itu, baterai juga digunakan sebagai sumber energi listrik untuk peralatan elektronik. Prinsip kerja baterai yaitu dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik, kandungan kimia yang dihasilkan melalui proses reaksi elektrokimia reaksi oksidasi. Pada penelitian ini menggunakan baterai adalah aki kering 12V 100 Ah yang ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Baterai aki kering

Faktor yang mempengaruhi keluaran daya panel surya

Terdapat beberapa faktor yang akan mempengaruhi keluaran daya pada panel surya serta efisiensi kerja pada panel surya, diantaranya:

- a. Suhu permukaan, pada lokasi pemasangan panel surya yang memiliki suhu lebih dari 25%, maka tingkat efisiensi akan turun sebesar 15%.
- b. Efek kotoran pada panel surya, kotoran ataupun debu yang menutupi panel surya akan menurunkan efisiensi kerja dari panel surya sebesar 5%, apabila permukaan panel surya dibersihkan secara teratur maka panel tersebut akan menghasilkan tegangan listrik yang maksimal.
- c. *shading* ataupun bayangan dari objek lain yang menutupi permukaan panel terhadap sinar matahari seperti bayangan bangunan gedung ataupun pohon, dapat menurunkan efisiensi kerja panel sebesar 5%.
- d. Efisiensi inverter yang mengubah arus DC menjadi arus AC sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat

dignakan untuk memberi daya listrik. Sementara efisiensi inverter masih memiliki kerugian hingga 8% dalam efisiensi panel.

- e. Sistem MPPT, merupakan alat elektronik yang dapat mencari titik maksimum daya pada panel surya dan juga pengontrol pengisian baterai. Apabila tidak menggunakan sistem MPPT maka akan mengalami kerugian sebesar 10%.
- f. Panel surya, usia panel surya mengalami degradasi atau penurunan kemampuan, maka terjadi penurunan efisiensi sebesar 10%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pengujian dengan mengatur beberapa variasi sudut kemiringan panel surya, hal tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap keluaran daya. Hasil hasil pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil tegangan sudut kemiringan panel surya 10°, tegangan terkecil rata-rata dihasilkan sebesar 35,28V dengan sudut kemiringan panel surya 13°. Arus yang dihasilkan dari beberapa variasi sudut kemiringan panel surya yang terbesar rata-rata ialah 18,36 A dengan sudut kemiringan panel surya 10°, hasil arus terkecil rata-rata yaitu 15,8 A dengan sudut kemiringan panel surya 15°.

Intensitas radiasi matahari semakin besar maka yang diterima panel surya maka tegangan, arus dan daya yang dihasilkan akan semakin besar. Pengaturan sudut kemiringan dapat mengetahui sudut kemiringan mana yang paling baik menerima intensitas cahaya matahari. Hasil pengukuran dan perhitungan dari variasi sudut kemiringan panel surya *monocrystalline* berupa keluaran daya, tegangan, dan arus disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran dari beberapa variasi sudut kemiringan panel surya

NO	Jam	Intensitas (W/m²)	Variasi Sudut Kemiringan Panel surya														
			10			11			12			13			15		
			Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)
1	10.00	446,3	36	14	504	36,7	13,5	495,45	37,7	13	490,1	37,2	12	446,4	37,2	11	409,2
2	11.00	490,6	36	16	576	36,6	15	549	37	13,4	495,8	35,8	13	465,4	36,6	13	470,6
3	12.00	522,3	37	16	592	36,9	15,5	571	37,4	14	525,6	35,4	15	531	35,6	14	498,4
4	13.00	1371	35	26	910	33	27	891	34	26,2	890,8	31	28	868	35,7	23	821,1
5	14.00	823,7	37,5	19,8	742,5	36,1	20	722	35,5	20	710	37	19	703	38	18	684
Rata-rata		790,78	36,3	18,36	664,9	35,86	18,2	645,69	36,2	17,32	622,06	35,28	17,4	602,76	36,2	15,8	576,66

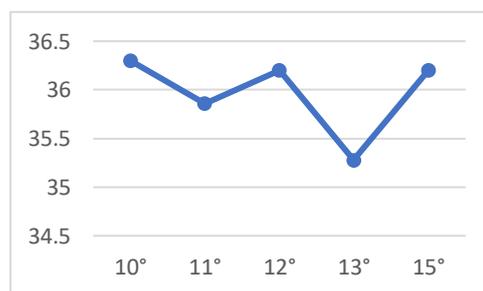
Kemudian hasil perhitungan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya terhadap variasi sudut 10°, 11°, 12°, 13°, dan 15° diperoleh nilai efisiensi rata-rata tertinggi pada sudut kemiringan 10° sebesar 21,28%, sedangkan nilai efisiensi terendah pada variasi sudut 15° sebesar 18,12%. Adapun hasil perhitungan efisiensi keseluruhan variasi sudut kemiringan panel surya disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan efisiensi sudut kemiringan panel surya

Jam	Efisiensi panel surya				
	10°	11°	12°	13°	15°
10.00	24,02%	23,61%	23,37%	21,28%	19,5%
11.00	24,98%	23,8%	21,50%	20,83%	20,4%
12.00	24,11%	23,26%	21,3%	21,63%	20,3%
13.00	14,12%	13,82%	13,81%	13,47%	12,74%
14.00	19,17%	18,64%	18,3%	18,15%	17,66%
Rata-rata	21,28%	20,626	19,656	19,072%	18,12%

Perbandingan tegangan

Niali perbandingan rata-rata perbedaan tegangan yang dihasilkan dari beberapa variasi sudut kemiringan panel surya *monocrystalline* didapatkan hasil pada sudut kemiringan 10° memiliki nilai tegangan paling besar yaitu 36,3 V, sedangkan variasi sudut terendah diperoleh pada variasi 13° dengan nilai tegangan sebesar 35,28V. perbedaan tersebut terjadi karena penerimaan iradiasi terhadap panel surya dengan beberapa variasi sudut kemiringan dan arah mata angin. Nilai perbandingan rata-rata secara keseluruhan akan ditampilkan pada gambar 9.

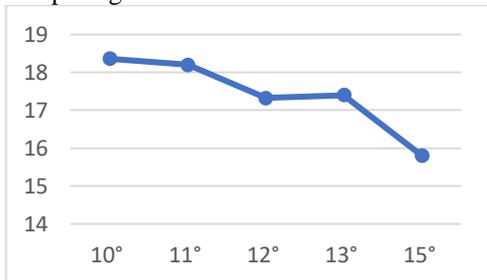


Gambar 9. Perbandingan tegangan setiap sudut kemiringan panel surya

Perbandingan arus

Nilai perbandingan rata-rata kuat arus yang dihasilkan pada panel surya diperoleh hasil sebesar 18,36% pada variasi sudut

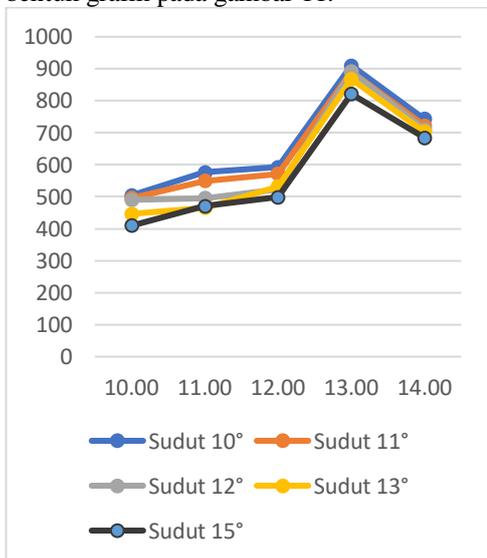
kemiringan 10°, sedangkan pada sudut kemiringan 15° memiliki hasil terendah yaitu sebesar 15,8A. Nilai perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan arus setiap sudut kemiringan panel surya

Perbandingan daya

Perbedaan daya yang dihasilkan pada setiap sudut kemiringan panel surya diperoleh hasil bahwa sudut kemiringan 10° pada pukul 13.00 memperoleh hasil daya paling besar yaitu sebesar 910 W. hal tersebut disebabkan karena arah matahari pada pukul 13.00 memiliki intensitas yang paling maksimal dengan menggunakan sudut 10°. Nilai perbandingan daya yang dihasilkan dari beberapa sudut kemiringan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 11.

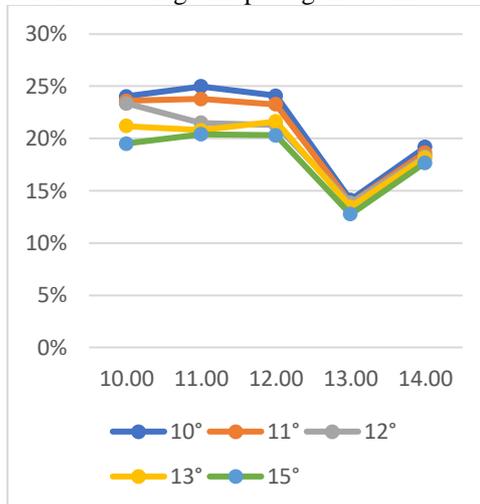


Gambar 11. Perbandingan daya setiap sudut kemiringan panel surya

Perbandingan efisiensi

Nilai efisiensi dari setiap variasi sudut kemiringan yang digunakan diperoleh nilai efisiensi terbesar pada sudut kemiringan 10°

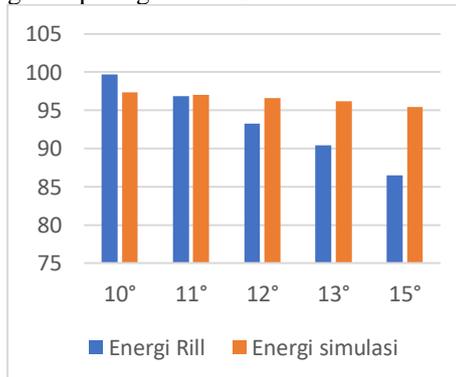
dengan nilai efisiensi sebesar 24,98% pada pukul 11.00 WIB sedangkan nilai efisiensi terkecil adalah dengan sudut kemiringan 15° sebesar 12,74 % pada pukul 13.00. Nilai perbandingan efisiensi tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan efisiensi terhadap sudut kemiringan panel surya

Perbandingan menggunakan simulasi

Perbedaan energi yang dihasilkan pada penelitian secara langsung dan dengan menggunakan simulasi sistem PVSyst diperoleh hasil perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Pada kondisi riil didapatkan hasil energi total sebesar 466,74 kWh sedangkan pada simulasi diperoleh hasil sebesar 482,6 kWh. Selisih yang terjadi sebesar 3,3%, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan database sistem PVSyst 7.2 menggunakan database tahun 2021. Nilai perbandingan metode pengujian tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan hasil energi riil dan simulasi

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian beserta pegujian yang telah dilakukan, penelitian “Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Panel Surya *Monocrystalline* terhadap Keluaran Daya di Universitas Tidar Magelang”, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi sudut kemiringan berpengaruh secara signifikan, hal ini dapat dibuktikan dengan hasil pengukuran tegangan, arus dan efisiensi. Hasil tegangan, arus dan efisiensi tertinggi diperoleh nilai sebesar 36,3 V, 18,36A, 24,98% dengan sudut kemiringan panel surya 10°, hasil tegangan, arus dan efisiensi terendah diperoleh 35,28 V, 15,8 A dan 12,74% dengan sudut kemiringan 15°.
2. Perbandingan hasil energi rill dan hasil energi simulasi dengan total sebesar 467,74 kWh dan 482,6 kWh. Selisih antara total energi rill dengan simulasi sebesar 15,6 kWh atau sekitar 3,3%.
3. Dari hasil tersebut maka sudut yang terbaik pada kemiringan panel surya 10° dengan arah azimuth 0° ke utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasanah, W. A., Koerniawan, T., dan Yuliansyah, “Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem OFF-Grid”, jurnal energi dan kelistrikan, 2655-5042, 10 (2), pp 93-101, 2018.
- [2] Widyawati Putri, S., Marausna, G., dan Eko Prasetyo, E., “Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya”, Teknika STTKD, Jurnal Teknik, Elektronik Engine, (1), pp 29-37. 2022.
- [3] Utami, S., & Daud, A., “Pengaruh Temperatur Panel Surya Terhadap Efisiensi Panel Surya Sistem Monitoring Menggunakan Internet Of Things (*IoT*)”, 10, 2020
- [4] Tira, H. S., Natsir, A., & Rezanul Iqbal, M., “Pengaruh Sudut Surya terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline”, Jurnal Teknik Mesin Vol. 07, Issue 2, 2018.
- [5] Mardani, R., Gusa, R. F., Asmar, A., & Sunanda, W., “Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Unjuk Kerja Panel Surya (Studi di Universitas Bangka Belitung)”. Setrum: Sistem

Kendali Tenaga Elektronika Telekomunikasi Komputer, 11(1), 2022.