

Analisa Sudut Kemiringan Panel Surya Menggunakan *Script Python*

Ananda Erinaldo¹ Asnal Efendi² Arfita Yuana Dewi³ Andi M Nur Putra⁴

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat,
Indonesia^{1,2,3,4}

Email: 2020310004.ananda@itp.ac.id¹

Abstrak

Pengguna dapat mengakses analisis ini melalui internet tanpa menjalankan script Python di komputer mereka. Sudut kemiringan yang dinamis pada PV 1 memungkinkan panel menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi lingkungan, menghasilkan efisiensi lebih baik dibandingkan sudut tetap pada PV 2 dan PV 3. Pengembangan metode matematis mempertimbangkan faktor geografis, kondisi cuaca, dan variasi musiman. Data mencakup Latitude dan Longitude untuk menentukan posisi geografis lokasi pengujian. Model akurat menghitung sudut kemiringan panel surya berdasarkan lokasi dan waktu. Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sudut Panel Surya pada Lokasi Geografis Lokasi geografis menentukan sudut datangnya sinar matahari. Letak Kota Padang di garis lintang $00^{\circ}44'00''$ LS - $01^{\circ}08'35''$ LS dan garis bujur $100^{\circ}05'05''$ BT - $100^{\circ}34'09''$ BT. Sudut kemiringan panel surya dalam rata-rata tahunan dari 04 Agustus 2023 hingga 04 Agustus 2024 adalah 37.82 derajat. Hasil sudut kemiringan per hari yang ditentukan oleh program penulis juga digunakan untuk memperoleh sudut maksimal. Antarmuka Pengguna yang Mudah Digunakan Pengembangan aplikasi dengan antarmuka intuitif memungkinkan pengguna menginput parameter lokasi dan menerima rekomendasi sudut kemiringan secara langsung. Pengembangan lebih lanjut dapat melibatkan fitur visualisasi data, otomatisasi laporan, dan peningkatan responsivitas system.

Kata Kunci: Sudut Kemiringan, Panel Surya, Geografis, Aksesibilitas, Efisiensi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Panel surya adalah komponen krusial dalam menghimpun energi ini, dan efisiensinya sangat tergantung pada sudut kemiringan di mana mereka dipasang. Sudut kemiringan, juga dikenal sebagai sudut insiden, mempengaruhi jumlah sinar matahari yang diterima panel, yang pada gilirannya mempengaruhi output energi. Semakin besar intensitas matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan. Daya yang dihasilkan oleh panel surya yang berbanding lurus dengan besarnya intensitas matahari yang diterima panel surya. Semakin besar intensitas matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan [3]. Posisi matahari yang relatif atau berubah-ubah terhadap objek yang berada di bumi dapat dijelaskan dalam beberapa sudut antara lain sudut deklinasi, sudut jam matahari, sudut zenith, dan sudut azimuth matahari sehingga sudut kemiringan panel yang ideal juga tidak statis. hal ini pastinya berpengaruh terhadap energi daya yang dihasilkan panel surya. [4]

Permasalahan utama dari panel surya adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya intensitas matahari serta suhu lingkungan di sekitarnya. Pada kondisi standarnya sistem panel surya yang mempunyai efisiensi sebesar 10% dapat menghasilkan daya sebesar 100 Watt pada saat intensitas matahari yang diterima sebesar 1.000 W/m^2 dan pada suhu sebesar 25°C [5]. Jadi bahwa Posisi matahari yang relatif atau berubah-ubah terhadap objek yang berada di bumi dapat dijelaskan dalam beberapa sudut antara lain sudut deklinasi, sudut jam matahari, sudut zenith, dan sudut azimuth matahari sehingga sudut kemiringan panel yang ideal juga tidak statis. hal ini pastinya berpengaruh terhadap energi daya yang dihasilkan panel surya. [4]. besarnya daya keluaran

yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya intensitas matahari serta suhu lingkungan di sekitarnya. Pada kondisi standarnya sistem panel surya yang mempunyai efisiensi sebesar 10% dapat menghasilkan daya sebesar 100 Watt pada saat intensitas matahari yang diterima sebesar 1.000 W/m dan pada suhu sebesar 25oC [5]. Dalam hal dampak terhadap pembangkitan listrik, studi telah menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam sudut kemiringan dan azimuth dapat memiliki efek signifikan terhadap jumlah listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Misalnya, studi di Arab Saudi menemukan bahwa perubahan sudut kemiringan sebesar 5° dapat menghasilkan peningkatan 3,63% dalam pembangkitan listrik. Demikian pula, studi lain menemukan bahwa perubahan azimuth sebesar 10° dapat menghasilkan peningkatan 2,5% dalam pembangkitan listrik[3].

Pengembangan *script Python* untuk menghitung sudut kemiringan panel surya adalah langkah yang sangat penting untuk mengoptimalkan output energi panel surya dan mengurangi kerugian energi. Proyek ini bertujuan untuk memberikan metode yang komprehensif dan akurat untuk menghitung sudut kemiringan yang optimal, yang dapat memiliki implikasi yang signifikan bagi industri energi surya. Dan pengembangan ini penting untuk dilakukan untuk menentukan sudut panel surya yang optimal yang dapat menghasilkan daya yang maksimal, dengan menganalisis factor-faktor yang mempengaruhi sudut panel surya, mengembangkan metode untuk menentukan sudut panel surya yang optimal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi. Hasil yang penulis harapkan dalam pengembangan ini yaitu *Script Python* yang dapat menghitung sudut kemiringan panel surya dengan akurat berdasarkan parameter yang diinput oleh pengguna, Pemahaman yang komprehensif tentang faktor-faktor yang mempengaruhi sudut kemiringan panel surya dan Alat yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan output energi panel surya dan mengurangi kerugian energi. Analisis sudut kemiringan ini dilakukan menggunakan *script Python*. Dengan *Python*, perhitungan matematis dan visualisasi data dapat dilakukan dengan cepat dan akurat. Namun, penggunaan *script Python* ini terbatas pada pengguna dengan kemampuan pemrograman tertentu, dan aksesibilitasnya menjadi terbatas bagi orang awam. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem berbasis web yang memungkinkan analisis ini dilakukan oleh siapa saja dengan antarmuka yang lebih ramah pengguna.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian Pengembangan *Script Python* Untuk Menghitung Sudut Kemiringan Panel Surya mengadaptasi *script Python* yang ada agar dapat dijalankan di lingkungan web. Untuk memenuhi kebutuhan data pada penelitian yang dilakukan, maka dibutuhkan Untuk mengembangkan *script* yang menghitung sudut kemiringan panel surya, Anda memerlukan beberapa data berikut:

1. Koordinat Geografis: Anda perlu mengetahui lokasi geografis di mana panel surya akan ditempatkan. Data ini mencakup lintang (latitude) dan bujur (longitude) lokasi tersebut.
2. Tanggal dan Waktu: Anda harus menentukan tanggal dan waktu tertentu untuk menghitung sudut kemiringan. Sudut kemiringan panel surya dapat berbeda tergantung pada musim dan waktu dalam setahun.
3. Data Cuaca: Informasi mengenai kondisi cuaca di lokasi tersebut sangat penting. Anda dapat menggunakan data cuaca historis atau memperoleh data cuaca aktual dari sumber seperti NASA.
4. Azimuth: Azimuth adalah sudut horizontal yang mengukur arah matahari relatif terhadap utara. Anda memerlukan data ini untuk menghitung sudut kemiringan panel surya.

5. Tingkat Efisiensi Panel Surya: Efisiensi panel surya dapat bervariasi tergantung pada jenis panel dan mereknya. Data ini membantu menghitung radiasi yang diterima oleh panel.
6. Faktor Kinerja: Beberapa faktor kinerja, seperti kehilangan bayangan dan kehilangan refleksi, juga perlu dipertimbangkan dalam perhitungan.

Langkah pertama dalam pemindahan analisis ini adalah mengadaptasi *script Python* yang ada agar dapat dijalankan di lingkungan web. Hal ini melibatkan pemisahan antara logika bisnis (perhitungan sudut kemiringan) dan antarmuka pengguna. *Script Python* diubah menjadi fungsi-fungsi yang dapat dipanggil dari *web server*, dan hasilnya dikirimkan kembali ke pengguna dalam bentuk yang dapat ditampilkan di browser[50]. Desain sistem terdiri dari tiga komponen utama: *frontend*, *backend*, dan *database*. *Frontend* bertanggung jawab untuk menampilkan antarmuka pengguna dan menerima input dari pengguna. *Backend*, yang dibangun menggunakan *framework Flask*, menangani logika perhitungan dan pemrosesan data. Data yang diperlukan, seperti lintang geografis dan waktu, disimpan dalam database sederhana untuk memudahkan akses dan manipulasi[51][52]. Implementasi sistem dimulai dengan menyiapkan environment pengembangan, termasuk menginstal dependensi yang diperlukan seperti Flask, NumPy, dan Pandas. Setelah itu, *script Python* yang telah diadaptasi diintegrasikan ke dalam backend. Frontend dikembangkan menggunakan *HTML*, *CSS*, dan *JavaScript* untuk menciptakan antarmuka yang intuitif dan responsif. Setelah semua komponen terintegrasi, sistem di-*deploy* pada *server web* untuk dapat diakses melalui internet[51].

Pengujian dilakukan dengan dua cara, pengujian fungsional dan pengujian kinerja. Pengujian fungsional memastikan bahwa semua fitur bekerja sesuai dengan yang diharapkan, termasuk perhitungan sudut kemiringan dan visualisasi hasil. Pengujian kinerja dilakukan dengan membandingkan waktu eksekusi dan akurasi hasil antara sistem *Python* asli dan sistem berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem web mampu memberikan hasil yang konsisten dengan sistem *Python*, dengan penambahan waktu pemrosesan yang minimal[53]. Simulasi ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menghitung sudut kemiringan panel surya yang optimal untuk berbagai lokasi, waktu, dan kondisi cuaca tanpa perlu membangun dan pengujian secara fisik[54][55][53].

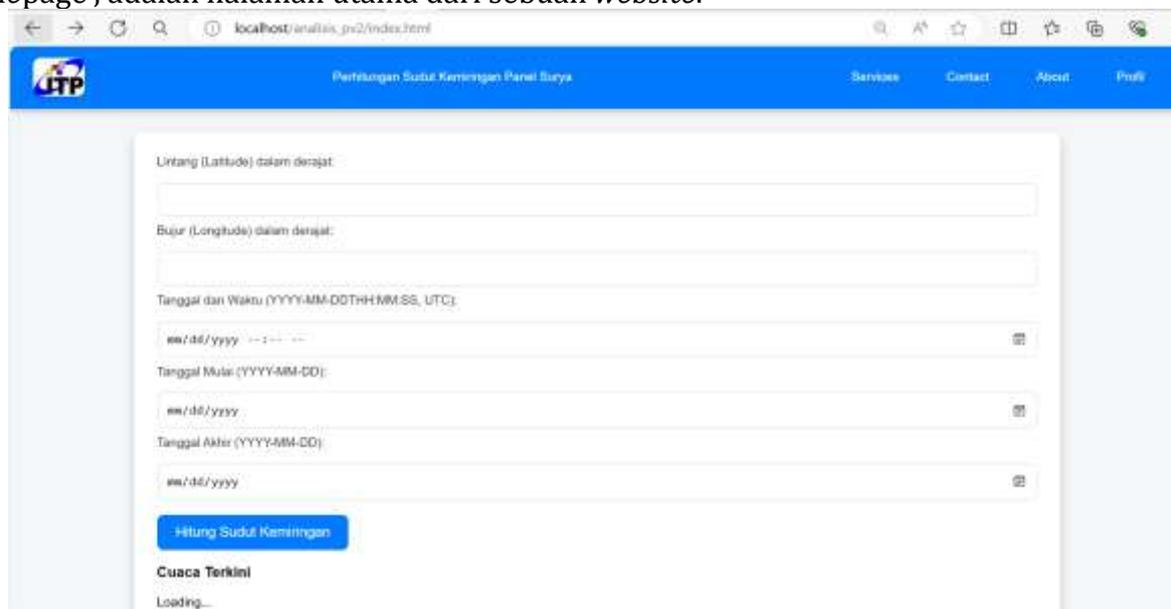
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal pengembangan sistem panel surya, melakukan analisis sudut kemiringan panel surya menggunakan *script Python* yang dirancang khusus untuk menghitung sudut optimal berdasarkan sejumlah parameter penting. *Script* ini mempertimbangkan lintang geografis lokasi pemasangan, tanggal, dan waktu tertentu, sehingga dapat memberikan rekomendasi sudut kemiringan yang paling efektif sesuai dengan posisi matahari di langit. Dengan menggunakan berbagai algoritma matematika, *script* ini memastikan bahwa panel surya menerima jumlah maksimum radiasi matahari, meningkatkan efisiensi dan output energi yang dihasilkan. Meskipun *script* ini sangat efektif, penulis menyadari pentingnya meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan penggunaan, terutama bagi mereka yang tidak terbiasa dengan pemrograman. Oleh karena itu, penulis mengintegrasikan analisis ini ke dalam sistem berbasis web, yang mempertahankan akurasi perhitungan sambil meningkatkan kenyamanan bagi pengguna dari berbagai latar belakang.



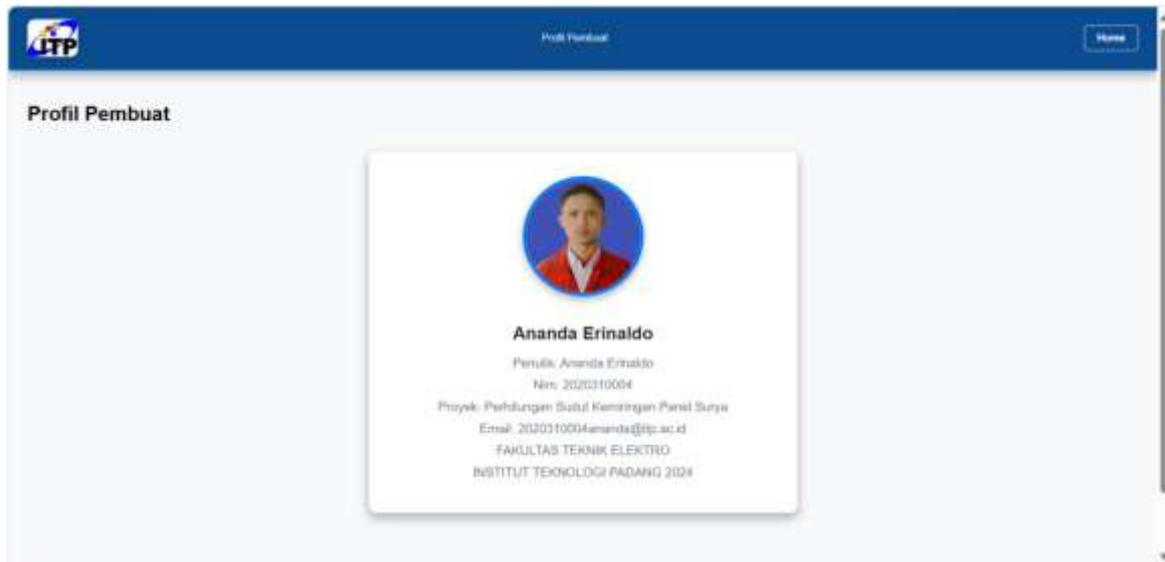
Gambar 1. Grafik Hasil Sudut Kemiringan Panel Surya

Setelah implementasi selesai, sistem berbasis web berhasil menghasilkan visualisasi dan perhitungan sudut kemiringan yang sama akuratnya dengan *script Python* asli. Pengguna dapat dengan mudah memasukkan parameter yang diperlukan melalui antarmuka web, dan hasil perhitungan ditampilkan secara real-time. Sistem web ini menawarkan sejumlah keunggulan signifikan dibandingkan dengan *script Python* yang sebelumnya digunakan untuk menjalankan analisis. Salah satu keunggulan utama adalah peningkatan aksesibilitas. Sistem web ini dapat diakses dari perangkat apa pun yang memiliki browser dan koneksi internet, memungkinkan pengguna untuk menjalankan analisis dari mana saja, kapan saja, tanpa harus bergantung pada perangkat tertentu atau instalasi perangkat lunak khusus. Hal ini sangat berbeda dengan *script Python*, yang biasanya memerlukan pengetahuan teknis untuk dioperasikan dan sering kali harus dijalankan pada lingkungan pemrograman tertentu, yang membatasi fleksibilitas pengguna dalam mengaksesnya. Layar *home* pada web, atau lebih umum disebut sebagai *homepage*, adalah halaman utama dari sebuah *website*.



Gambar 2. Layar Home

Layar kunjungan profil diperlukan sebagai penanda atau seorang yang membuat program atau produk dari kepemilikan *website*. Disebut juga kunjungan profil adalah sebagai tampilan profil pembuat program. Adapun tampilan layar kunjungan dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Kunjungan Profil

Antarmuka pengguna yang lebih intuitif merupakan keunggulan lain dari sistem berbasis web ini. Antarmuka ini dirancang sedemikian rupa sehingga siapapun, bahkan mereka yang tidak memiliki latar belakang dalam pemrograman atau pengetahuan teknis tentang *Python*, dapat dengan mudah melakukan analisis. Pengguna cukup mengikuti langkah-langkah yang disajikan di layar tanpa perlu memahami detail teknis di balik proses analisis tersebut. Antarmuka yang ramah pengguna ini tidak hanya menghemat waktu tetapi juga memperluas jangkauan pengguna yang dapat memanfaatkan sistem ini, termasuk para profesional dari berbagai bidang yang mungkin tidak terbiasa dengan pemrograman. Dilakukan uji eksperimen, pengujian dilakukan pada 3 buah panel surya dengan spesifikasi yang sama:



Gambar 4. Spesifikasi Panel Surya Sunlite

Tabel 1. Keterangan Spesifikasi Panel Surya Sunlite

MODUL TYPE : P-100 W
Pmax : 100 W
Imp : 5.23 A
Vmp : 19.12 V
Isc : 5.60 A

Voc : 22.68 V
Weigh : 8.0 Kg
Dimensions : 1005x668x30 mm

Pengujian Pengujian tanggal 4 Agustus 2024

Tabel 2. Hasil Pengujian tanggal 4 Agustus 2024

PV	Sudut °	Jam 9:00		Jam 10:00		Jam 11:00		Jam 12:00	
		V	I	V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	19.99	2.2 A	19.76	2.4	20.01	5.17	19.88	5.55
2	37.82°	19.53	1.9	19.24	2.1	19.44	4.64	19.25	5.7
3	57°	19.38	1.9	19.23	2.1	19.59	5.05	19.47	4.58

PV	Sudut °	Jam 01:00		Jam 02:00		Jam 03:00	
		V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	19.69	5.27	19.75	5	19.54	3.63
2	37.82°	19.10	5.55	19.34	5.01	18.85	2.79
3	57°	19.28	3.85	19.46	3.31	19.05	1.74

Tabel di atas menunjukkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dari tiga sistem fotovoltaik (PV) pada sudut yang berbeda dalam rentang waktu dari pukul 09:00 hingga 15:00 pada tanggal 4 Agustus 2024. Setiap baris mewakili sistem PV dengan sudut yang berbeda, dan setiap kolom menunjukkan pengukuran yang diambil pada jam tertentu.
 Pengujian Pengujian tanggal 18 September 2024

Tabel 3. Hasil Pengujian tanggal 18 September 2024

PV	Sudut °	Jam 01:00		Jam 02:00		Jam 03:00	
		V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	19.45	5.1	19.35	4.54	19.15	3.21
2	37.82°	18.86	4.3	19.2	3.73	19.78	2.98
3	57°	18.68	3.98	18.7	3.34	18.04	1.5

Tabel di atas menunjukkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dari tiga sistem fotovoltaik (PV) pada sudut yang berbeda, diukur setiap jam mulai pukul 09:00 hingga 15:00 pada tanggal 18 September 2024.

Pengujian Pengujian tanggal 19 September 2024

Tabel 4. Hasil Pengujian tanggal 19 September 2024

PV	Sudut °	Jam 9:00		Jam 10:00		Jam 11:00		Jam 12:00	
		V	I	V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	20.02	5.17	20.04	5.27	20.01	5.17	19.88	5.55
2	37.82°	19.53	5.5	19.24	2.1	19.3	3.95	19.1	5.16
3	57°	19.38	2.9	19.23	2.1	19.59	5.05	19.47	4.5

PV	Sudut °	Jam 01:00		Jam 02:00		Jam 03:00	
		V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	19.69	5.27	19.75	5	19.54	3.63

2	37.82°	19.1	5.56	19.2	4.05	19.4	2.7
3	57°	19.28	3.85	19.37	3.34	18.04	1.5

Tabel ini menampilkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dari tiga sistem fotovoltaik (PV) pada sudut yang berbeda, diukur setiap jam mulai dari pukul 09:00 hingga 15:00 pada tanggal 19 September 2024.

1. Sistem PV 1

- a. Sudut PV disesuaikan setiap jam, dengan tegangan yang stabil berkisar antara 19.54V hingga 20.04V.
- b. Arus (I) berada di tingkat tinggi sepanjang hari, memuncak pada 5.55A pada pukul 12:00 dan tetap cukup tinggi hingga pukul 14:00 dengan 5A. Arus menurun ke 3.63A pada pukul 15:00.
- c. Tegangan tetap cukup konsisten, menunjukkan bahwa penyesuaian sudut yang dinamis mendukung performa optimal sepanjang hari.

2. Sistem PV 2 (Sudut: 37.82°)

- a. Tegangan (V) stabil di antara 19.1V hingga 19.53V.
- b. Arus menunjukkan beberapa fluktuasi: dimulai dengan 5.5A pada pukul 09:00, turun menjadi 2.1A pada pukul 10:00, dan kemudian meningkat lagi menjadi 5.56A pada pukul 13:00. Arus kembali menurun hingga 2.7A pada pukul 15:00.
- c. Sudut ini menunjukkan performa yang bervariasi, dengan kinerja optimal pada siang hari dan penurunan yang signifikan di sore hari.

3. Sistem PV 3 (Sudut: 57°)

- a. Tegangan (V) stabil di antara 18.04V hingga 19.59V.
- b. Arus (I) lebih rendah dibandingkan dengan dua sistem lainnya, dimulai pada 2.9A pada pukul 09:00, memuncak pada 5.05A pada pukul 11:00, dan menurun drastis menjadi 1.5A pada pukul 15:00.
- c. Sistem PV ini menunjukkan performa yang baik di pagi hari dan menjelang tengah hari, tetapi arus dan tegangan menurun tajam setelah siang hari.

PV 1 kembali menunjukkan kinerja yang paling stabil dan efisien sepanjang hari. Arus yang tinggi dan tegangan yang konsisten menunjukkan bahwa penyesuaian sudut secara dinamis sangat efektif dalam memaksimalkan output daya, terutama selama puncak sinar matahari pada siang hari. PV 2 (Sudut 37.82°) menunjukkan kinerja yang bervariasi, dengan performa terbaik terjadi pada siang hari (pukul 13:00), tetapi mengalami fluktuasi signifikan di pagi dan sore hari. PV 3 (Sudut 57°) menunjukkan kinerja yang cukup baik di pagi hingga tengah hari, tetapi penurunan drastis pada sore hari, terutama setelah pukul 14:00, menunjukkan bahwa sudut ini kurang optimal untuk jam-jam sore. Secara keseluruhan, PV 1 dengan sudut yang disesuaikan secara dinamis kembali menjadi sistem yang paling optimal untuk menghasilkan daya sepanjang hari, terutama pada puncak siang hari. PV 2 menunjukkan performa yang cukup baik di siang hari, tetapi lebih bervariasi pada pagi dan sore. PV 3 memiliki performa yang stabil di pagi hari, tetapi kurang efektif di sore hari, menunjukkan bahwa sudut 57° mungkin lebih cocok untuk jam-jam pagi.

Pengujian Pengujian tanggal 20 September 2024

Tabel 5. Hasil Pengujian tanggal 20 September 2024

PV	Sudut°	Jam 9:00		Jam 10:00		Jam 11:00		Jam 12:00	
		V	I	V	I	V	I	V	I

1	Menyesuaikan	20.02	5.17	20.04	5.27	20.01	5.17	19.88	5.55
2	37.82°	19.53	5.5	19.24	2.1	19.3	3.95	19.1	5.16
3	57°	19.38	2.9	19.23	2.1	19.59	5.05	19.47	4.5
PV	Sudut °	Jam 01:00		Jam 02:00		Jam 03:00			
		V	I	V	I	V	I		
1	Menyesuaikan	19.69	5.27	19.75	5	19.54	3.63		
2	37.82°	19.1	5.56	19.2	4.05	19.4	2.7		
3	57°	19.28	3.85	19.37	3.34	18.04	1.5		

Tabel ini menampilkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dari tiga sistem fotovoltaik (PV) pada sudut yang berbeda, diukur setiap jam mulai dari pukul 09:00 hingga 15:00 pada tanggal 20 September 2024. PV 1 menunjukkan kinerja paling optimal, dengan kombinasi tegangan yang stabil dan arus tinggi antara pukul 11:00 hingga 14:00. Ini menandakan bahwa penyesuaian sudut dinamis membantu memaksimalkan output daya terutama selama siang hari. PV 2 (Sudut 37.82°) memiliki performa yang cukup baik di siang hari, dengan arus yang memuncak pada pukul 13:00, namun performa menurun di sore hari. PV 3 (Sudut 57°) menunjukkan kinerja yang cukup rendah dibandingkan dua sistem lainnya, terutama setelah pukul 13:00, dengan penurunan arus yang signifikan. PV 1 kembali memberikan hasil paling stabil dan efektif sepanjang hari dengan kinerja terbaik pada tengah hari. PV 2 menunjukkan performa yang optimal di siang hari, meskipun fluktuasi lebih besar terlihat di pagi dan sore hari. PV 3 kurang efisien pada jam-jam sore, dengan arus yang lebih rendah, menunjukkan bahwa sudut 57° tidak ideal untuk menghasilkan daya maksimal sepanjang hari.

Pengujian Pengujian tanggal 21 September 2024

Tabel 6. Hasil Pengujian tanggal 21 September 2024

PV	Sudut °	Jam 9:00		Jam 10:00		Jam 11:00		Jam 12:00	
		V	I	V	I	V	I	V	I
1	Menyesuaikan	20.21	5.7	20.23	5.79	20.01	5.7	19.88	5.5
2	37.82°	19.53	5.7	19.24	2.4	19.3	3.28	19.37	3.34
3	57°	19.4	3.08	19.46	1.9	18.07	1.8	18.7	2.64
PV	Sudut °	Jam 01:00		Jam 02:00		Jam 03:00			
		V	I	V	I	V	I		
1	Menyesuaikan	19.69	5.27	19.75	5	19.54	3.63		
2	37.82°	19.1	5.56	19.2	4.05	19.4	2.7		
3	57°	19.28	3.85	19.37	3.34	18.04	1.5		

Tabel ini menunjukkan pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dari tiga sistem fotovoltaik (PV) pada sudut yang berbeda, diukur setiap jam mulai pukul 09:00 hingga 15:00 pada tanggal 21 September 2024. PV 1 tetap menjadi sistem paling optimal dengan penyesuaian sudut dinamis, yang secara konsisten menghasilkan tegangan dan arus tinggi sepanjang hari. Puncak kinerja terjadi di pagi hingga siang hari, dengan arus tertinggi mencapai 5.79A pada pukul 10:00. PV 2 (Sudut 37.82°) menunjukkan fluktuasi kinerja yang signifikan, dengan arus turun drastis di pagi hari dan kembali meningkat menjelang sore. Ini menunjukkan bahwa sudut ini tidak memberikan kinerja yang stabil sepanjang hari, meskipun tetap menunjukkan puncak performa di beberapa jam. PV 3 (Sudut 57°) memiliki kinerja yang paling rendah, terutama di sore hari. Tegangan dan arus yang lebih rendah menunjukkan bahwa sudut ini tidak ideal untuk

memaksimalkan produksi daya sepanjang hari, terutama setelah siang. PV 1, dengan penyesuaian sudut otomatis, terus menunjukkan performa yang paling efisien dan stabil, terutama pada pagi dan siang hari. PV 2 menunjukkan beberapa fluktuasi dalam kinerjanya, sementara PV 3 menunjukkan kinerja yang kurang optimal, terutama pada jam-jam setelah siang hari. Performa terbaik pada sistem dinamis (PV 1) menegaskan pentingnya penyesuaian sudut untuk mengoptimalkan produksi daya.

KESIMPULAN

Panel surya telah menjadi solusi yang semakin populer dalam menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan. Namun, untuk memastikan efisiensi maksimal, penentuan sudut kemiringan yang tepat sangatlah penting. Studi literatur ini menggabungkan hasil dari beberapa penelitian terkait untuk memberikan panduan praktis dalam menentukan sudut kemiringan yang menghasilkan output energi paling optimal yang dapat di lihat pada Kesimpulan di bawah ini:

1. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa sudut kemiringan yang dinamis pada PV 1 memungkinkan panel untuk menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi lingkungan, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan sudut tetap pada PV 2 dan PV 3. Pengembangan metode matematis yang mempertimbangkan faktor geografis, kondisi cuaca, dan variasi musiman. Data yang dimasukkan mencakup beberapa parameter penting, yaitu *Latitude* (garis lintang) dan *Longitude* (garis bujur), yang menentukan posisi geografis yang tepat dari lokasi pengujian. Selain itu, tanggal dan waktu juga dicatat untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dapat dianalisis berdasarkan konteks temporalnya. Penggunaan data ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan akurat terkait berbagai aspek yang diuji di lokasi tersebut. Model yang akurat untuk menghitung sudut kemiringan panel surya berdasarkan lokasi dan waktu.
2. Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sudut Panel Surya pada Lokasi geografis menentukan sudut datangnya sinar matahari. Sudut datangnya sinar matahari berbeda-beda di setiap lokasi di bumi. Letak geografis Kota Padang yang berada di garis lintang $00^{\circ}44'00''$ LS - $01^{\circ}08'35''$ LS dan garis bujur $100^{\circ}05'05''$ BT – $100^{\circ}34'09''$ BT. Untuk sudut kemiringan panel surya dalam rata rata tahunan 04/Agustus/2023 sampai 04/Agustus/2024 2023 adalah 37.82 derajat. Dan untuk yang lebih maksimal menggunakan hasil sudut kemiringan perhari yang di tentukan oleh program yang penulis ciptakan.
3. Antarmuka Pengguna yang Mudah Digunakan yaitu pengembangan aplikasi atau perangkat lunak dengan antarmuka intuitif. Pengguna dapat menginput parameter lokasi dan menerima rekomendasi sudut kemiringan secara langsung. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa pengembangan lebih lanjut pada sistem ini memiliki potensi besar. Penambahan fitur seperti visualisasi data yang lebih canggih, otomatisasi laporan, dan peningkatan responsivitas sistem dapat lebih meningkatkan pengalaman pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- H. A. W. Kesuma, "Perancangan Sistem Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Smart Classroom," pp. 1–20, 2018.
- H. Assiddiq S, "Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Sel Fotovoltaik (Influence Of Slope Angle On Efficiency Of The Photovoltaic Cell)," *Media Sains Kopertis XI*, vol. 10, no. 2, pp. 162–171, 2017.
- K. Khalilullah, S. Bandri, and A. N. Putra, "Optimasi Sudut Kemiringan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Bersih pada Gedung NZEB," *Ensiklopedia J.*, vol. 5, no. 5, pp. 64–69, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.ensiklopediaku.org>

- N. Lysbetti, E. Ervianto, and R. Amri, "Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Tegangan Keluaran Modul Surya," pp. 237–240, 1876.
- Suhono (Universitas Gadjah Mada), "Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar House System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta," 2019.
- U. Hasdiana, "Monitoring dan Switching Otomatis PLTS Hybrid Listrik PLN Berbasis Internet of Things," *Anal. Biochem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2018, [Online]. Available:
- W. Ye, M. S. Herdem, J. Z. Li, J. Nathwani, and J. Z. Wen, "Formulation and Data-Driven Optimization for Maximizing the Photovoltaic Power with Tilt Angle Adjustment," *Energies*, vol. 15, no. 22, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3390/en15228578.
- Y. Dianti, "Impact Of Solar Panel Tilt Angle And Azimuth Angle On Electricity Generation In Tropical Countries," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–24, 2017, [Online]. Available: <http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf>