

Monitoring Jarak Jauh Optimasi Daya Panel Surya

Author:

Ardiyan Caesar
Pratama¹
Urip Mudjiono²
Anggara Trisna
Nugraha³

Afiliation:

Politeknik Perkapalan
Negeri Surabaya^{1,2,3}

Corresponding email

ardiyancaesar@student.
ppns.ac.id
urip@ppns.ac.id
anggaranugraha@ppns.
ac.id

Histori Naskah:

Submit: 2026-10-14
Accepted: 2026-10-20
Published: 2026-10-20



This is an Creative Commons
License This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License

Abstrak:

Kinerja panel surya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan suhu operasional yang dapat membatasi daya keluaran sistem fotovoltaik. Penelitian ini bertujuan menganalisis peningkatan kinerja panel surya melalui integrasi lensa Fresnel dan heatsink serta mengembangkan sistem pemantauan jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian dilakukan melalui observasi langsung dengan membandingkan panel surya standar dan panel termodifikasi pada 17 titik pengukuran selama pukul 07.30–15.30 WIB. Sistem pemantauan dirancang menggunakan Arduino Uno, NodeMCU ESP8266, sensor INA219, sensor DHT11, dan platform Blynk untuk memantau tegangan, arus, serta suhu panel secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel termodifikasi menghasilkan tegangan rangkaian terbuka rata-rata sebesar 10,32 V, meningkat 2,45% dibandingkan panel standar sebesar 10,07 V. Arus hubung singkat rata-rata meningkat 10,7%, dari 0,324 A menjadi 0,359 A. Selain itu, suhu rata-rata panel menurun sebesar 7,82 °C, dari 43,38 °C menjadi 35,56 °C. Daya indukatif yang dihitung berdasarkan perkalian tegangan rangkaian terbuka dan arus hubung singkat meningkat sebesar 13,4%, dari 3,30 W menjadi 3,75 W. Temuan ini menunjukkan potensi kombinasi lensa Fresnel dan heatsink dalam meningkatkan keluaran listrik sekaligus mengendalikan suhu panel. Sistem IoT yang dikembangkan juga memungkinkan pemantauan parameter operasional secara jarak jauh. Namun, pengujian lanjutan dengan pengukuran daya aktual, iradiasi matahari, dan pengulangan eksperimen diperlukan untuk memvalidasi peningkatan efisiensi sistem.

Kata kunci: Arduino; Codeigniter; Esp8266; IoT; Panel Surya

Pendahuluan

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia karena intensitas penyinaran matahari yang melimpah sepanjang tahun. Panel surya bekerja berdasarkan efek fotovoltaik pada sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Tipe-n memiliki kelebihan elektron, sedangkan tipe-p memiliki kelebihan *hole*. Ketika foton dari cahaya matahari mengenai sel, energinya mengeksitasi elektron sehingga terbentuk pasangan elektron-*hole*. Medan listrik internal pada sambungan p-n kemudian memisahkan keduanya: elektron bergerak menuju daerah tipe-n dan *hole* menuju daerah tipe-p. Pemisahan muatan ini menimbulkan beda potensial, dan arus listrik mengalir ketika sel dihubungkan ke beban.

Kinerja panel surya sangat dipengaruhi kondisi operasinya. Kenaikan suhu permukaan panel menurunkan efisiensi konversi. Produksi energi turun sekitar 0,33% untuk setiap derajat Celsius di atas kondisi uji standar (STC) (Parthiban & Ponnambalam, 2022). Berbagai teknik pendinginan telah dikembangkan, antara lain pendinginan udara, air, *phase change material*, sirip, *heatsink*, dan nanofluida (Parthiban & Ponnambalam, 2022). Pendekatan lain untuk meningkatkan daya adalah memperbesar iradiasi pada sel

dengan konsentrator seperti lensa Fresnel. Pada sel silikon berkonsentrasi rendah berlensa Fresnel, efisiensi bergantung pada posisi lensa terhadap sel, rasio konsentrasi, daya surya yang datang, dan suhu sel (Dosymbetova et al., 2022). Pengembangan terbaru diarahkan pada konfigurasi lensa yang memperluas sudut penerimaan sinar, sehingga energi untuk pelacakan matahari dapat dihemat (Orynassar et al., 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kedua pendekatan ini masing-masing memiliki kelemahan. Penggunaan lensa Fresnel meningkatkan radiasi yang diterima sel, tetapi suhu panel ikut naik sehingga daya dapat berkurang (Syahbanna dkk., 2018). Pendinginan dengan air efektif menurunkan suhu permukaan panel, tetapi air yang jatuh ke tanah menimbulkan genangan (Syarif dkk., 2021), dan air dalam wadah dapat menjadi panas akibat perambatan panas dari sinar matahari sehingga pendinginannya tidak bekerja (Almanda dkk., 2019).

Di sisi lain, jaringan internet yang kini menjangkau hingga pelosok pedesaan membuka peluang pemantauan panel surya secara jarak jauh dan *real-time*. Sistem berbasis Arduino dengan modul Wi-Fi ESP8266 dan aplikasi Blynk telah digunakan untuk memantau tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya sistem fotovoltaik dari lokasi terpencil (Vinoth Kumar & Sasikala, 2022). Penelitian lain memakai NodeMCU ESP8266 dan sensor INA219, dan selisih antara pembacaan manual dan pembacaan web berada di bawah 2% (Habibie et al., 2024). Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi mikrokontroler, ESP8266, dan sensor INA219 layak dipakai sebagai platform akuisisi data panel surya yang murah.

Namun, penelitian peningkatan kinerja panel dan penelitian pemantauan IoT masih berjalan terpisah. Penelitian peningkatan kinerja umumnya mengukur keluaran secara manual atau dengan *data logger* lokal dan hanya menerapkan satu perlakuan, sehingga kelemahan perlakuan tersebut belum diatasi. Sebaliknya, penelitian pemantauan IoT umumnya hanya memantau panel dalam kondisi normal tanpa membandingkan perlakuan peningkatan daya. Berdasarkan literatur yang ditelaah, belum ditemukan penelitian yang memadukan lensa Fresnel untuk menaikkan radiasi dengan *heatsink* untuk membuang panas pada satu panel, lalu membandingkannya dengan panel standar sambil memantau tegangan, arus, dan suhu secara jarak jauh. *Heatsink* bersifat pasif, tidak memerlukan air sehingga tidak menimbulkan genangan, dan tidak membebani daya panel. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi lensa Fresnel dan *heatsink* pada satu panel yang dipantau secara *real-time* menggunakan Arduino Uno, NodeMCU, sensor INA219 dan DHT11, serta Blynk. Penelitian ini bertujuan menguji peningkatan efisiensi tegangan dan arus panel surya akibat modifikasi tersebut, sekaligus menyediakan sistem pemantauan jarak jauh yang murah dan dapat diterapkan di wilayah pedesaan.

Studi Literatur

Panel Surya dan Efek Fotovoltaik

Panel surya adalah perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik pada sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Foton yang diserap sel membentuk pasangan elektron-hole. Medan listrik internal pada sambungan p-n memisahkan keduanya, sehingga elektron terkumpul di sisi tipe-n dan *holes* di sisi tipe-p. Pemisahan ini menimbulkan beda potensial (tegangan), dan ketika sel dihubungkan ke beban mengalir arus listrik.

Kinerja panel surya dinyatakan melalui tiga besaran utama. Daya keluaran (P) merupakan hasil kali tegangan (V) dan arus (I):

$$P = V \times I$$

Efisiensi (η) adalah perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dan daya cahaya yang diterima panel:

$$\eta = P_{\text{out}} / (G \times A) \times 100\%$$

dengan G adalah iradiasi matahari (W/m^2) dan A adalah luas permukaan panel (m^2). Peningkatan efisiensi akibat suatu perlakuan dihitung dengan membandingkan η panel berperlakuan terhadap η panel kontrol pada kondisi yang sama.

Pengaruh Iradiasi dan Suhu terhadap Kinerja Panel

Arus keluaran panel surya berbanding lurus dengan iradiasi yang diterima, sedangkan tegangan keluarannya menurun ketika suhu sel naik. Akibatnya, daya dan efisiensi panel turun pada suhu tinggi. Hubungan ini umumnya dituliskan sebagai:

$$\eta = \eta_{\text{ref}} [1 - \beta (T_c - T_{\text{ref}})]$$

dengan η_{ref} adalah efisiensi pada kondisi acuan, β adalah koefisien suhu, T_c adalah suhu sel, dan T_{ref} adalah suhu acuan (25°C). Kajian literatur melaporkan bahwa produksi energi turun sekitar 0,33% untuk setiap derajat Celsius di atas kondisi uji standar (Parthiban & Ponnambalam, 2022). Karena itu, pengendalian suhu permukaan panel menjadi bagian penting dalam optimasi daya. Panel surya di daerah tropis seperti Indonesia pun rentan terhadap penurunan kinerja akibat panas.

Lensa Fresnel sebagai Konsentrator Cahaya

Lensa Fresnel adalah lensa tipis dengan permukaan bergerigi konsentris yang memfokuskan cahaya dengan bobot dan ketebalan jauh lebih kecil daripada lensa cembung biasa. Pada panel surya, lensa ini berfungsi sebagai konsentrator yang meningkatkan intensitas cahaya pada permukaan sel, sehingga arus dan daya keluaran meningkat. Kinerja sistem konsentrator sangat dipengaruhi jarak lensa terhadap sel. Efisiensi sel silikon berkonsentrasi rendah berlensa Fresnel bergantung pada posisi lensa terhadap sel, rasio konsentrasi, daya surya yang datang, dan suhu sel (Dosymbetova et al., 2022). Penelitian terbaru juga mengembangkan konfigurasi lensa yang memperluas sudut penerimaan sinar, sehingga kebutuhan energi untuk pelacakan matahari berkurang (Orynassar et al., 2024). Kekurangan utama konsentrator adalah kenaikan suhu sel akibat cahaya terkonsentrasi, yang dapat menurunkan efisiensi jika tidak diimbangi pendinginan.

Heatsink

Heatsink adalah logam berdesain khusus (aluminium atau tembaga) yang menyerap panas dari permukaan yang bersentuhan dengan sumber panas dan mendisipasikannya ke udara dengan memperluas bidang perpindahan panas. Sebagai pendingin pasif, *heatsink* tidak memerlukan air maupun daya tambahan.

Sistem Pemantauan Jarak Jauh Berbasis IoT

Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat keras mengirimkan data sensor melalui internet sehingga dapat dipantau dari jarak jauh. Sistem pemantauan dalam penelitian ini terdiri atas empat komponen.

1. **Sensor.** Sensor tegangan dan arus (misalnya modul pembagi tegangan, ACS712, atau INA219) mengukur keluaran panel.
2. **Arduino.** Mikrokontroler yang membaca sensor, mengonversi sinyal analog menjadi digital, dan menghitung daya.

3. **ESP8266.** Modul Wi-Fi yang mengirimkan data ke server melalui jaringan internet.
4. **REST web service.** Arsitektur layanan web berbasis protokol HTTP. Perangkat mengirim data (misalnya dalam format JSON) ke *server* dengan metode POST, lalu antarmuka web mengambilnya dengan metode GET untuk ditampilkan dalam tabel atau grafik. Pendekatan ini membuat data dapat diakses dari perangkat apa pun dan tidak bergantung pada platform pihak ketiga.

Pemantauan berbasis IoT juga berguna untuk mendeteksi gangguan dan mendukung perencanaan perawatan karena data historis tersimpan di basis data (Habibie et al., 2024; Vinoth Kumar & Sasikala, 2022).

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian terdahulu menjadi rujukan sekaligus pedoman penulis dalam melaksanakan penelitian ini. Beberapa penelitian terkait optimasi daya panel surya adalah sebagai berikut.

Syabhanna dkk. (2018) dalam penelitian “Desain Prototype Sel Surya Terkonsentrasi Menggunakan Lensa Fresnel” menunjukkan bahwa lensa Fresnel yang mengonsentrasikan cahaya meningkatkan radiasi yang masuk ke sel surya. Perubahan jarak antara sumber cahaya dan sel surya memengaruhi besar tegangan dan arus yang dihasilkan. Kekurangannya, suhu panel meningkat sehingga daya panel dapat berkurang.

Syarief dkk. (2021) dalam penelitian “Implementasi Pendingin Air pada Sel Surya sebagai Alternatif Peningkatan Efisiensi Sumber Energi Listrik di Pondok Pesantren Mahad Arrahman” menemukan bahwa pendingin air efektif menurunkan suhu permukaan panel sehingga efisiensinya tetap terjaga. Mitra juga mengalami penghematan energi listrik. Namun, air yang mengalir di atas panel dan jatuh ke tanah menimbulkan genangan di sekitar panel.

Almanda dkk. (2019) dalam penelitian “Perbandingan Sistem Pendingin pada Konsentrasi Water Coolant, Air Mineral, dan Air Laut Menggunakan Panel Surya Fleksibel Monocrystalline 20 Wp” membandingkan keluaran daya panel dengan tiga jenis pendingin dalam wadah di bawah panel. Kekurangannya, air dalam wadah menjadi panas karena merambatnya panas dari sinar matahari, sehingga fungsi pendinginannya menurun.

Pada penelitian internasional, Dosymbetova dkk. (2022) mengkaji sel surya silikon berlensa Fresnel pada konsentrasi rendah dan mengembangkan sistem pendingin untuk mengendalikan suhu sel. Vinoth Kumar & Sasikala (2022) membangun sistem pemantauan fotovoltaik berbasis Arduino, ESP8266, dan aplikasi Blynk, sedangkan Habibie dkk. (2024) membangun pemantauan arus dan tegangan berbasis NodeMCU ESP8266, sensor INA219, dan antarmuka web dengan selisih pengukuran di bawah 2% dibanding pengukuran manual.

Rangkuman penelitian terdahulu menunjukkan bahwa lensa Fresnel menaikkan daya tetapi memanaskan panel, sedangkan pendingin air menjaga efisiensi tetapi menimbulkan genangan atau menjadi panas. Penelitian “Monitoring Jarak Jauh Optimasi Daya Panel Surya” memadukan lensa Fresnel (di atas panel) dan *heatsink* (di bawah panel) untuk mengatasi kelemahan tersebut, dan memantau tegangan, arus, dan suhu panel secara *real-time* melalui Blynk.

Metode Penelitian

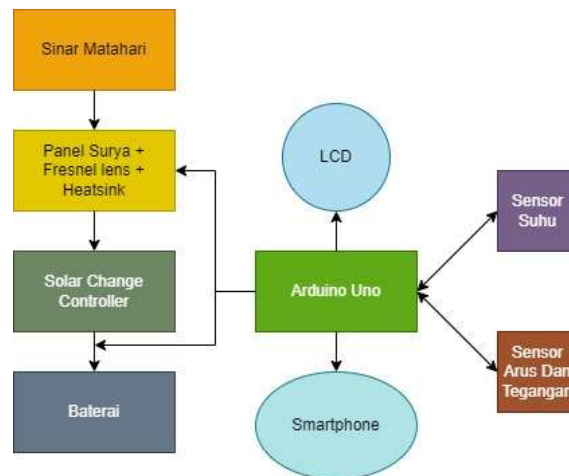
Jenis Penelitian

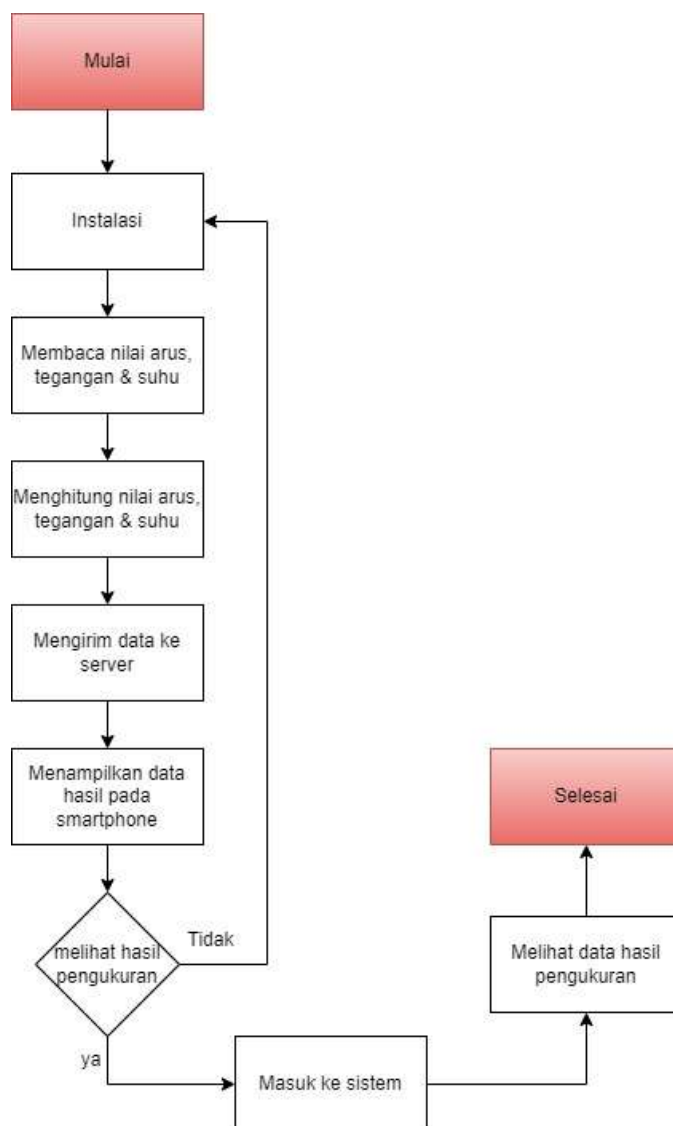
Penelitian ini menggunakan metode *direct observation* (observasi langsung di lapangan). Observasi bertujuan mengambil data peningkatan tegangan dan arus pada beberapa variasi percobaan. Sebelum pengambilan data, dilakukan penyamaan karakteristik modul, yaitu pengukuran arus hubung singkat (I_{sc}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada kedua panel. Tahap ini memastikan kedua panel memiliki karakteristik yang sama, sehingga perbandingan antara panel standar dan panel termodifikasi valid.

Desain dan Perancangan Sistem

Desain sistem disajikan dalam bentuk diagram blok (Gambar x). Sistem terdiri atas dua panel surya dengan karakteristik sama. Panel pertama adalah panel standar sebagai kontrol. Panel kedua adalah panel termodifikasi, dengan lensa Fresnel di atas permukaan panel untuk memusatkan cahaya dan *heatsink* di bagian bawah panel untuk membuang panas.

Sistem pemantauan jarak jauh berbasis IoT menggunakan dua sensor: INA219 untuk mengukur arus dan tegangan keluaran panel, dan DHT11 untuk mengukur suhu panel. Arduino Uno mengolah data kedua sensor, lalu menampilkannya pada LCD 16×2 dan mengirimkannya ke NodeMCU. NodeMCU meneruskan data melalui internet ke *server* Blynk, yang berfungsi sebagai basis data sekaligus tampilan pemantauan pada *smartphone*.





Gambar 1. Perancangan Sistem

Hasil

Waktu (WIB)	Fresnel Lens		
	Voc (V)	Isc (A)	T (°C)
07:30	9,70	0,20	28,60
08:00	9,94	0,32	30,57
08:30	10,30	0,47	30,57
09:00	10,68	0,37	35,77
09:30	10,48	0,40	39,56
10:00	10,51	0,45	40,51

10:30	10,64	0,43	38,64
11:00	10,67	0,44	38,64
11:30	10,72	0,46	37,99
12:00	10,77	0,48	35,50
12:30	10,68	0,45	37,46
13:00	10,55	0,43	38,56
13:30	10,27	0,35	37,69
14:00	10,43	0,38	36,41
14:30	9,72	0,25	34,56
15:00	9,68	0,15	32,06
15:30	9,69	0,07	31,49

Kondisi Standart

Voc (V)	Isc (A)	T (°C)
9,63	0,09	29,36
9,69	0,22	35,71
10,03	0,36	42,58
10,42	0,39	43,87
10,40	0,42	49,31
10,41	0,46	45,82
10,53	0,43	51,27
10,48	0,42	49,32
10,32	0,39	54,02
9,92	0,38	55,34
10,12	0,44	49,81
10,35	0,41	45,97
10,01	0,34	40,61
10,02	0,29	40,30
9,90	0,27	38,15
9,57	0,13	33,59
9,42	0,07	32,48

Pembahasan

Berdasarkan data pengukuran pukul 07.30-15.30 WIB, nilai Voc dan Isc tetap terukur pada kedua panel meskipun cuaca berawan, tetapi besar keluarannya berbeda. Pendinginan oleh *heatsink* menurunkan suhu panel dan menaikkan tegangan. Arus panel dengan lensa Fresnel meningkat pada kondisi cerah, terutama saat jarak lensa terhadap panel tidak terlalu jauh.

Ringkasan Data

Parameter	Panel standar	Panel Fresnel + <i>heatsink</i>	Selisih
Rata-rata Voc (V)	10,07	10,32	+0,25 V (+2,45%)
Rata-rata Isc (A)	0,324	0,359	+0,035 A (+10,7%)
Rata-rata Voc × Isc (W)	3,30	3,75	+0,44 W (+13,4%)
Rata-rata suhu (°C)	43,38	35,56	-7,82 °C
Suhu maksimum (°C)	55,34 (12:00)	40,51 (10:00)	-14,83 °C

Voc maksimum (V)	10,53 (10:30)	10,77 (12:00)	+0,24 V
Isc maksimum (A)	0,46 (10:00)	0,48 (12:00)	+0,02 A

Perilaku Voc dan Isc pada Kondisi Berawan

Pada kedua panel, Voc bervariasi sempit sedangkan Isc berubah besar. Voc panel Fresnel bergerak antara 9,68 dan 10,77 V (selisih sekitar 10%), sedangkan Isc-nya antara 0,07 dan 0,48 A (lebih dari enam kali lipat). Panel standar menunjukkan pola yang sama. Ini sesuai teori bahwa arus hubung singkat sebanding dengan iradiasi, sedangkan tegangan rangkaian terbuka hanya berubah sedikit terhadap iradiasi. Karena itu Voc tetap terbaca meski cahaya berkurang, sementara Isc yang lebih sensitif terhadap perubahan cahaya.

Contohnya pada panel Fresnel pukul 08:30 dan 09:00. Isc turun dari 0,47 A ke 0,37 A, padahal Voc justru naik dari 10,30 V ke 10,68 V. Penurunan arus tanpa penurunan tegangan ini ciri khas perubahan iradiasi sesaat, misalnya akibat awan.

Pengaruh Pendinginan terhadap Tegangan

Suhu panel dengan *heatsink* lebih rendah daripada panel standar pada seluruh 17 titik pengukuran. Selisih terbesar terjadi pukul 12:00, yaitu 35,50 °C berbanding 55,34 °C (selisih 19,84 °C). Pada saat yang sama Voc panel Fresnel 10,77 V, sedangkan panel standar 9,92 V (selisih 0,85 V atau 8,6%). Voc panel Fresnel lebih tinggi pada 16 dari 17 titik. Selisih terbesar Voc muncul bersamaan dengan selisih suhu terbesar, sehingga menguatkan bahwa pendinginan menaikkan tegangan.

Secara rata-rata, penurunan suhu 7,82 °C diikuti kenaikan Voc 0,25 V (2,45%), atau sekitar 0,31% per °C. Angka ini berada pada orde yang sama dengan penurunan produksi energi sekitar 0,33% per °C di atas kondisi uji standar yang dilaporkan Parthiban dan Ponnambalam (2022), meskipun besaran yang dibandingkan berbeda (tegangan di sini, energi di rujukan). Cocokkan juga dengan koefisien suhu Voc pada *datasheet* panel Anda.

Satu-satunya pengecualian terjadi pukul 14:30, ketika Voc panel Fresnel (9,72 V) lebih rendah daripada panel standar (9,90 V). Pada saat itu I_{sc} panel Fresnel juga lebih rendah (0,25 A berbanding 0,27 A). Ini mengindikasikan iradiasi pada panel Fresnel sedang turun sesaat, misalnya akibat bayangan awan atau posisi lensa yang tidak lagi tegak lurus matahari. Penurunan iradiasi itu mengalahkan manfaat pendinginan.

Pengaruh Lensa Fresnel terhadap Arus

Arus panel Fresnel lebih tinggi pada 11 dari 17 titik, sama pada 2 titik, dan lebih rendah pada 4 titik. Peningkatan paling jelas terjadi:

1. **Pagi hari (07:30-08:30):** 0,20 A berbanding 0,09 A, 0,32 A berbanding 0,22 A, dan 0,47 A berbanding 0,36 A.
2. **Tengah hari (11:30-13:00):** arus mencapai puncak 0,48 A pada pukul 12:00 berbanding 0,38 A pada panel standar (+0,10 A atau +26%).

Pada empat titik yang lebih rendah (09:00, 09:30, 10:00, dan 14:30), selisihnya hanya 0,01-0,02 A. Selisih sekecil ini bisa berasal dari bayangan awan sesaat atau posisi lensa yang bergeser terhadap arah matahari, karena lensa bersifat tetap tanpa pelacak. Hasil ini sejalan dengan temuan Dosymbetova dkk. (2022) bahwa efisiensi sel berlensa Fresnel bergantung pada posisi lensa terhadap sel, rasio konsentrasi, daya surya yang

datang, dan suhu sel. Pola ini juga konsisten dengan Syahbanna dkk. (2018), yang menunjukkan bahwa jarak memengaruhi tegangan dan arus.

Dari sisi daya indikatif ($V_{oc} \times I_{sc}$), puncak panel Fresnel 5,17 W (12:00) lebih tinggi daripada puncak panel standar 4,79 W (10:00). Panel standar mencapai puncaknya lebih awal lalu turun ketika suhu mendekati 55 °C, sedangkan panel Fresnel mempertahankan keluaran tinggi sampai tengah hari.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Syahbanna dkk. (2018) melaporkan bahwa lensa Fresnel menaikkan keluaran panel tetapi suhu panel ikut naik sehingga daya dapat berkurang. Pada penelitian ini, kombinasi lensa dan *heatsink* membuat suhu panel termodifikasi tetap lebih rendah daripada panel standar sepanjang pengukuran, sehingga kelemahan tersebut teratasi.

Ahmadi (2020) menggabungkan pendingin air dan lensa Fresnel, dan melaporkan kenaikan arus 0,11 A, tegangan 1 V, daya 2,03 W, dan efisiensi 3,92%. Selisih maksimum penelitian ini (0,10 A dan 0,85 V) berada pada orde yang sama. Setiawan dan Alwani (2021) melaporkan efisiensi 7,3% untuk lensa Fresnel, 5,5% untuk pendingin semprot air, dan 3,7% untuk panel biasa. Kedua penelitian ini searah dengan hasil di sini bahwa lensa dan pendinginan menaikkan keluaran panel. Perbedaan besaran dipengaruhi jenis panel, rasio konsentrasi lensa, dan metode pendinginan, sehingga angkanya tidak bisa dibandingkan langsung.

Keunggulan penelitian ini terhadap Syarief dkk. (2021) dan Almanda dkk. (2019) ada pada pendinginan pasif: *heatsink* tidak menimbulkan genangan dan tidak bergantung pada air yang dapat menjadi panas. Dari sisi pemantauan, sistem berbasis INA219 dan Blynk ini sejalan dengan Habibie dkk. (2024) dan Vinoth Kumar & Sasikala (2022), dengan tambahan perbandingan dua panel secara simultan.

Data berasal dari satu hari pengukuran dan belum diulang. Pengaruh lensa dan *heatsink* belum dapat dipisahkan karena keduanya dipasang pada panel yang sama. Iradiasi tidak diukur, sehingga efisiensi (η) belum bisa dihitung. Sensor DHT11 memiliki akurasi sekitar ± 2 °C, sehingga selisih suhu besar (misalnya 19,84 °C pada 12:00) tetap meyakinkan, sedangkan selisih kecil di sore hari (misalnya 0,99 °C pada 15:30) tidak bisa diandalkan.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian peningkatan kinerja panel surya menggunakan lensa Fresnel dan *heatsink* yang dipantau secara jarak jauh, panel yang dimodifikasi menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar daripada panel standar. Rata-rata V_{oc} panel termodifikasi mencapai 10,32 V (lebih tinggi 2,45% dari 10,07 V) dan rata-rata I_{sc} mencapai 0,359 A (lebih tinggi 10,7% dari 0,324 A). Kenaikan tegangan berkaitan dengan penurunan suhu panel, dari rata-rata 43,38 °C menjadi 35,56 °C, sedangkan kenaikan arus terutama terjadi pada kondisi cerah ketika lensa Fresnel memusatkan cahaya ke permukaan panel.

Panel yang diberi lensa Fresnel juga menerima iradiasi yang lebih besar, yaitu 4,9% berbanding 4,4% pada panel standar [sesuaikan besaran dan satuannya]. Dari sisi daya keluaran, panel termodifikasi menghasilkan daya indikatif rata-rata ($V_{oc} \times I_{sc}$) sebesar 3,75 W, lebih tinggi 13,4% dari panel standar sebesar 3,30 W. Dengan demikian, kombinasi lensa Fresnel dan *heatsink* terbukti meningkatkan kinerja panel surya, dan sistem pemantauan berbasis Arduino Uno, NodeMCU, sensor INA219 dan DHT11, serta Blynk mampu merekam perbedaan tersebut secara *real-time*. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pengukuran iradiasi langsung, sensor suhu yang lebih akurat, pengulangan pengambilan data pada beberapa hari, dan

variasi jarak lensa.

Ucapan Terimakasih

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah ini. Penulisan karya tulis ilmiah ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Diploma Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Referensi

- Afriandi, A. (2017). *Implementasi water cooling system untuk menurunkan temperature losses pada panel surya* [Skripsi, Universitas Tanjungpura].
- Almanda, D., & Piliang, B. P. (2019). Perbandingan sistem pendingin pada konsentrasi water coolant, air mineral, dan air laut menggunakan panel surya fleksibel monocrystalline 20 Wp. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 2(2), 73–82.
- Anhar, A. S., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Desain prototype sel surya terkonsentrasi menggunakan lensa Fresnel. *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 2(3).
- Dosymbetova, G., Mekhilef, S., Saymbetov, A., Nurgaliyev, M., Kapparova, A., Manakov, S., Orynbassar, S., Kuttybay, N., Svanbayev, Y., Yuldoshev, I., Zholamanov, B., & Koshkarbay, N. (2022). Modeling and simulation of silicon solar cells under low concentration conditions. *Energies*, 15(24), Article 9404. <https://doi.org/10.3390/en15249404>
- Febrianto, R., & Nugraha, A. T. (2021). Perancangan battery charger menggunakan energi penggerak mikro hidro berbasis Arduino Uno. Dalam *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 6, No. 1).
- Habibie, B. Y., Supratno, S., & Sugeng. (2024). IoT-based monitoring of solar panel current and voltage. *JMECS (Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems)*, 11(1), 39–45. <https://doi.org/10.25124/jmecs.v11i1.8146>
- Hendriarto, C., et al. (2021). Penggunaan aplikasi Blynk untuk menampilkan data pembacaan sensor dari produk ke smartphone untuk menampilkan data secara realtime pada smart hydroponic indoor garden. *IMDeC*, 235.
- Islamy, Z., & Sudrajad, A. (2014). Studi perencanaan atap panel surya di Hotel The Royale Krakatau Cilegon. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 7(2), 119–224.
- Isyanto, H., et al. (2017). Pendingin untuk peningkatan daya keluaran panel surya. *Prosiding Semnastek*.
- Marausna, G. (2021). Pengujian sistem pendingin panel surya berbentuk tubular cooler dengan solar simulator untuk menguji daya keluaran panel surya. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(1), 10–16.
- Mungkin, M., et al. (2020). Perancangan sistem pemantauan panel surya polycrystalline menggunakan teknologi web Firebase berbasis IoT. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 3(2), 319–327.
- Orynbassar, S., Almen, D., Mekhilef, S., Kapparova, A., Dosymbetova, G., Nurgaliyev, M., Saymbetov,

- A., Ibraimov, M., Kuttybay, N., Yershov, E., Koshkarbay, N., Zholamanov, B., & Bolatbek, A. (2024). Minimum solar tracking system for a Fresnel lens-based LCPV. *Renewable Energy*, 237(Part A), Article 121607. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121607>
- Parthiban, R., & Ponnambalam, P. (2022). An enhancement of the solar panel efficiency: A comprehensive review. *Frontiers in Energy Research*, 10, Article 937155. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.937155>
- Pawawoi, A., & Zulfahmi, Z. (2019). Penambahan sistem pendingin heatsink untuk optimasi penggunaan reflektor pada panel surya. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 8(1), 1–7.
- Putra, M. D. H., & Nugraha, A. T. (2021). Rancang bangun battery charger dengan sistem constant voltage berbasis kontrol PI. Dalam *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 6, No. 1).
- Saputra, M. A., & Azis, M. F. (2014). Inovasi peningkatan efisiensi panel surya berbasis Fresnel solar concentrator dan solar tracker. Dalam *Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional Program Kreativitas Mahasiswa-Karsa Cipta 2014*. Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia.
- Sugiyono, A. (2014). Permasalahan dan kebijakan energi saat ini. Dalam *Prosiding peluncuran buku Outlook Energi Indonesia bersama BPPT dan BKK-P11* (hlm. 9–16).
- Syarief, A., Cahyono, G. R., & Ansyah, P. R. (2021). Implementasi pendingin air pada sel surya sebagai alternatif peningkatan efisiensi sumber energi listrik di Pondok Pesantren Mahad Arrahman. *Jurnal IMPACT: Implementation and Action*, 3(2), 91–98.
- Tarigan, A. D., & Hamdani, H. (2020). Penggunaan sistem pendingin temperatur sebagai peningkatan kinerja panel surya. Dalam *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU* (Vol. 3, No. 1).
- Taufiqurrahman, M., et al. (2021). Kaji eksperimen output energi termoelektrik TEG-SP1848-27145SA dengan sumber panas dari solar parabolic trough. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(1), 13–18.
- Vinoth Kumar, V., & Sasikala, G. (2022). Arduino based smart solar photovoltaic remote monitoring system. *Malaysian Journal of Science*, 41(3), 58–62. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol41no3.8>
- Widiantara, I. B. G., & Sugiarta, N. (2019). Pengaruh penggunaan pendingin air terhadap output panel surya pada sistem tertutup. *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 9(3), 110–115.
- Zaibah, S., & Nugraha, A. T. (2021). Pembangkit energi listrik pico hydro terapung menggunakan underwater turbine untuk mendukung pemenuhan rasio elektrifikasi dan energi listrik di daerah 3T. Dalam *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 6, No. 1).
- Zakariz, N. P., Poetro, J. E., & Nugraha, A. T. (2021). Pengaruh variasi inlet notch terhadap kecepatan dan daya yang dapat terbangkitkan dari generator pada pembangkit listrik tenaga pikohidro. Dalam *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 6, No. 1).