

PEMANFAATAN REFLEKTOR UNTUK PENINGKATAN DAYA LUARAN PANEL SURYA PADA SISTEM OFF GRID

**Isdawimah, Nuha Nadhiroh[✉], Muchlishah, Dezetty Monika, Arum Kusuma
Wardhany, Ajeng Bening Kusumaningtyas**

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16425

[✉]*e-mail nuha.nadhiroh@elektro.pnj.ac.id*

Abstract

The Government of Indonesia has committed to support the development of solar power plant, while the efficiency of solar panels still around 5-16%. There are several methods to increase the output power of solar panel, but mostly consume a big portion of energy from solar power plant. The objective is to identify an off-grid solar power plant optimization method with smaller power consumption. The proposed optimization method is to add a reflector that can be positioned to direct sunlight so that it always hits the solar panel, so that the solar panel is able to produce electrical power optimally. The position of the reflector can be adjusted automatically based on feedback from the monitoring system. Off Grid solar system consisting of solar panels, batteries, solar charge controller (SCC), inverters, safety against overloads, short circuits and lightning strikes and mounted reflectors that can be adjusted in position, so that a lot of sunlight hits the solar panels so that the solar panel output power increase. In choosing the type of reflector, several things need to be considered, namely weight, refractive index, size, shading effect and the reflector's resistance to wind, impact and shock. Data retrieval is carried out automatically with a monitoring system to measure and store data when testing solar power system without reflectors and with reflectors in various positions. Data retrieval is based on IEC Standard 61724, while data processing is based on IEA-PVPS T2-01, 2000. Installing reflectors on solar panels is proven to increase the output power of solar panels, where aluminum reflectors and flat mirrors produce the greatest output power at an angle of 83°. Flat mirror reflectors produce a greater increase in solar panel output power compared to flat aluminum reflectors

Keywords: *optimization, output power, reflector, solar panel*

Abstrak

Pemerintah melalui berbagai kebijakan mendorong peningkatan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia. Sementara efisiensi panel surya saat ini masih rendah sekitar 5 – 16%. Untuk mendapatkan tingkat efisiensi yang tinggi dibutuhkan panel surya berkualitas tinggi dan biaya investasi juga semakin tinggi. Permasalahan terletak pada pemilihan metode berdasarkan konsumsi daya yang diperlukan untuk optimasi PLTS. Sementara ini metode optimasi yang ada memerlukan daya yang cukup besar (lebih dari 10%). Tujuan penelitian adalah memperoleh metode optimasi PLTS sistem off Grid dengan konsumsi daya kecil. Metode optimasi yang diusulkan adalah dengan menambahkan reflektor yang dapat diatur posisinya untuk mengarahkan cahaya matahari agar selalu mengenai panel surya, sehingga panel surya mampu menghasilkan daya listrik secara optimal. Metode ini dapat menghemat penggunaan daya listrik, karena bobot reflektor jauh lebih ringan daripada panel surya. Pengaturan posisi reflektor dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan feedback dari sistem monitoring. PLTS sistem off Grid yang dibuat terdiri dari panel surya, baterai, MPPT, BCR, inverter, pengaman terhadap beban lebih, hubung singkat dan sambaran petir serta dipasang reflektor yang dapat diatur posisinya, agar banyak cahaya matahari yang mengenai panel surya sehingga daya luaran panel surya meningkat. Dalam memilih jenis reflektor perlu dipertimbangkan beberapa hal, yaitu bobot, indeks bias, ukuran, efek shading serta ketahanan reflektor terhadap angin, benturan dan guncangan. Pengambilan data dilakukan secara otomatis dengan sistem monitoring untuk mengukur dan menyimpan data saat pengujian PLTS tanpa reflektor dan dengan reflektor pada berbagai posisi. Pengambilan data berdasarkan IEC Standard 61724, sedangkan pengolahan data berdasarkan IEA-PVPS T2-01, 2000. Pemasangan reflektor pada panel surya terbukti dapat meningkatkan daya luaran panel surya, dimana reflektor aluminium maupun cermin datar menghasilkan daya luaran terbesar pada posisi sudut 83°. Reflektor cermin datar menghasilkan peningkatan daya luaran panel surya lebih besar dibandingkan dengan reflektor aluminium datar

Kata kunci: *daya luaran, optimasi, panel surya, reflektor*

Pendahuluan

Pada tahun 2000 kebutuhan energi listrik dunia mencapai 7-8 triliun Wh dan diprediksikan tahun 2020 kebutuhan mencapai 14,5 triliun Wh [1]. Pemerintah telah mendukung pengembangan energi terbarukan melalui berbagai kebijakan tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik [2], Penggunaan Sistem Pembangkit Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen [3], dan Pengesahan RUPTL PLN 2019-2028 [4].

Secara geografis, wilayah Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa pada 11°LS - 6°LU dan 95°BT - 141°BB . Letak geografis Indonesia di ekuator menyebabkan Indonesia adalah daerah surplus sinar matahari karena mendapat sinar matahari sepanjang tahun. Kawasan barat Indonesia memiliki distribusi penyinaran $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan 10%, sementara kawasan timur Indonesia berpotensi penyinaran $5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 9% [5]. Hal ini perlu dimanfaatkan dengan baik dengan percepatan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di berbagai daerah.

Kelemahan PLTS adalah efisiensinya masih rendah. Metode optimasi PLTS telah dilakukan, antara lain dengan menggerakkan panel surya mengikuti arah datangnya sinar matahari, optimasi menggunakan MPPT (Maximum Power Point Tracking). Beberapa metode yang digunakan untuk algoritma MPPT pada PV adalah metode Perturbation and Observation (P&O), metode Incremental Conductance (INC), dan metode Constant Voltage Tracking (CVT). Metode P&O dapat men-track MPP pada array PV dengan tepat saat kondisi cuaca konstan [6]. Pada saat kondisi cuaca berubah cepat, metode ini gagal untuk

men-track MPP karena kecepatan respon yang lambat. Metode ini diperbaiki dengan metode INC, tetapi kecepatan menemukan MPP berkurang akibat algoritma kontrol yang rumit [7]. Kedua metode ini menggunakan metode Hill-climbing dan mengkonsumsi daya yang besar [8]. Sedangkan metode CVT menghasilkan respon waktu yang cepat dan hemat biaya dengan rangkaian kontrol yang sederhana [9]. Berdasarkan nilai ekonomis dan efisiensi MPPT, maka dipilih metode CVT. Pemakaian MPPT ditinjau dari aspek ekonomi, yaitu mensuplai daya ke beban dengan biaya terendah tergantung pada daya yang dihasilkan PV, harga listrik jala-jala dan kurva beban [10].

Permasalahan terletak pada pemilihan metode berdasarkan konsumsi daya yang diperlukan untuk optimasi PLTS. Sementara ini metode optimasi yang ada memerlukan daya yang cukup besar (lebih dari 10%). Metode yang dipilih adalah optimasi dengan konsumsi daya sekecil mungkin, sehingga tidak mempengaruhi pasokan daya PLTS ke beban dan tidak menurunkan efisiensi PLTS.

Tujuan penelitian adalah memperoleh metode optimasi dengan konsumsi daya kecil untuk PLTS sistem on Grid. Metode optimasi yang diusulkan adalah dengan menambahkan reflektor yang dapat diatur posisinya untuk mengarahkan cahaya matahari agar selalu mengenai panel surya, sehingga panel surya mampu menghasilkan daya listrik secara optimal. Metode ini dapat menghemat penggunaan daya listrik, karena rangkaian control menggerakkan reflektor yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan panel surya.

Urgensi penelitian terkait dengan tuntutan terhadap efisiensi panel surya yang saat ini masih rendah sekitar 5 – 16%. Untuk mendapatkan tingkat

efisiensi yang tinggi dibutuhkan panel surya berkualitas tinggi dan biaya investasi juga semakin tinggi. Sementara ini metode optimasi yang ada mengkonsumsi daya listrik yang besar, sehingga malah menurunkan efisiensi panel surya. Selain itu adanya desakan dari pemerintah melalui berbagai kebijakan untuk meningkatkan pembangunan PLTS di Indonesia.

Metode Penelitian

Metode optimasi daya listrik yang dihasilkan PLTS sistem on Grid melalui pengubahan posisi reflektor secara manual maupun secara otomatis. Fungsi reflektor untuk mengarahkan cahaya matahari agar senantiasa mengenai panel surya, sehingga panel surya mampu menghasilkan daya listrik secara optimal. Biasanya optimasi dilakukan dengan mengubah posisi panel surya, dimana panel surya dengan daya 10Wp-100Wp memiliki berat 2kg-8kg, sehingga memerlukan daya listrik besar bila panel surya tersebut digerakkan secara otomatis menggunakan motor listrik. Metode yang diusulkan dapat menghemat penggunaan daya listrik, karena rangkaian control menggerakkan reflektor yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan panel surya.

Penelitian yang telah dilaksanakan terkait dengan PLTS adalah menganalisis PLTS terkoneksi dengan jaringan DC mikro [11], studi kelayakan PLTS di desa terpencil Jawa Barat [12], efek switching frekuensi tinggi inverter terhadap kWh meter [13], meningkatkan kinerja kWh meter pada PLTS on Grid [14], Pemodelan kWh Meter untuk Inverter Switching Tinggi [15], optimasi galat pada sistem monitoring online [16] dan PLTS portabel mengikuti datangnya sinar matahari [17], dan peningkatan efisiensi panel surya melalui inovasi cover laminasi.

Daya terpasang pada panel surya sebesar:

$$P_{PV} = V_{VP} I_{PV} (W_p) \quad (1)$$

Jumlah susunan modul panel surya (N) yang terpasang adalah:

$$N = J_{string} J_{seri} \quad (2)$$

Perbandingan kinerja panel surya tanpa reflektor dan sudut reflektor yang berbeda menunjukkan bahwa setengah dari efisiensi matahari meningkat ketika sudut reflektor disesuaikan. Kinerja panel surya kristalino-kristal meningkat menggunakan konsentrator dan reflektor [18], faktor-faktor seperti awan, angin dan fluktuasi cahaya mempengaruhi output daya PV. Pengaturan reflektor menunjukkan peningkatan kinerja listrik sel surya dan memberikan intensitas yang baik [19]. Pengaturan posisi reflektor didasarkan pada persamaan berikut:

$$P_i = IV \quad (3)$$

bila $\theta = \theta_{ref}$

$$\text{maka: } P_i - P_{ref} = 0 \quad (4)$$

Untuk array modul bifacial tiga dimensi, peletakan elemen reflektif di antara baris sesuai untuk mencapai konsentrasi cahaya rendah [20]. Kinerja DBR dan WP dioptimalkan sebanding dengan Ag backreflector dengan peningkatan efisiensi WP backreflector sebesar 0,34% [21]. Rata-rata rasio intensitas sinar matahari dengan sudut elevasi matahari untuk panel surya tanpa reflektor, reflektor tipe pesawat, dan reflektor melengkung masing-masing adalah 1:1.20:1.23 [22] dengan menggunakan lapisan tipis Aluminium (0,016mm-0,024mm) [23]. Model matematika digunakan untuk mengetahui pengaturan reflektor terbaik guna meningkatkan insolasi matahari pada silicon modul surya [24].

Untuk memperoleh data kinerja PLTS on Grid diperlukan suatu perangkat yang

dapat menangani pengambilan data secara cepat, mengingat perubahan cahaya matahari sangat fluktuatif, yaitu dengan sistem akuisisi data untuk mengakuisisi sinyal sensor analog menjadi sinyal digital dan mengirim ke sistem pengendali. Salah satu program aplikasi yang sering digunakan untuk sistem akuisisi data adalah piranti lunak LabVIEW. Pengukuran kelistrikan pada PLTS on Grid untuk memantau parameter suhu lingkungan, radiasi matahari, harmonik, tegangan, frekuensi dan faktor daya mengacu pada standar IEEE Std 929-2000 [25].

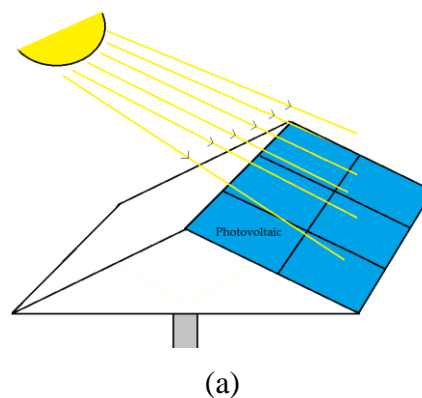
Pengembangan sistem akuisisi data menggunakan piranti lunak LabVIEW dipasang pada sistem PV tersambung jala-jala pada bangunan terpadu (BIPV). Penelitian ini mengembangkan metode pengumpulan data di lokasi pemasangan PV guna mengevaluasi kinerja sistem PV tersambung jala-jala [26]. Salah satu protokol yang tepat untuk mengimplementasikan IoT pada monitoring jarak jauh adalah menggunakan protokol komunikasi data MQTT. Dengan platform Blynk dan memakai mikrokontroler proses pemantauan tegangan, arus, suhu dan intensitas cahaya pada PLTS menjadi mudah tanpa perlu mengunjungi lokasi Pembangkit yang sangat jauh.

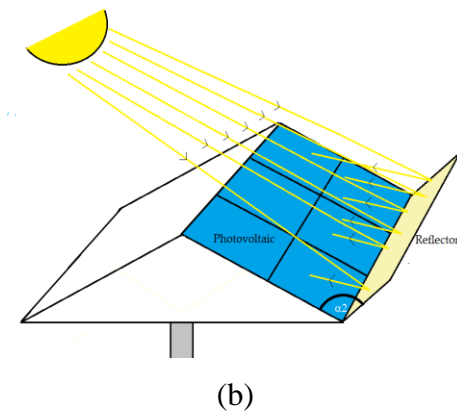
Dalam sistem off grid tidak ada jaringan jala-jala sebagai cadangan sumber energi listrik. Sistem ini sepenuhnya bergantung pada kemampuan panel surya menghasilkan energi dan kemampuan baterai menyimpan energi. Sistem ini paling banyak digunakan di lokasi terpencil, dimana tidak ada akses ke jaringan jala-jala. Sedangkan pada sistem on grid, energi yang dihasilkan panel surya digunakan secara lokal dan kelebihan dayanya akan dijual ke jala-jala. Bila daya kurang (malam hari), maka beban memperoleh pasokan daya dari

jala-jala, jadi jala-jala berfungsi sebagai backup.

PLTS sistem *off grid* yang dibuat terdiri dari panel surya (PV), baterai untuk menampung arus DC yang dihasilkan PV, MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang terintegrasi dengan SCC (*Solar Charge Controller*) untuk mengatur arus yang masuk ke baterai, inverter untuk mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC yang akan disalurkan ke beban serta pengaman terhadap beban lebih, hubung singkat dan sambaran petir.

PLTS sistem *off grid* ini dilengkapi dengan reflektor yang dapat diatur posisinya, agar banyak cahaya matahari yang mengarah/mengenai panel surya sehingga daya luaran panel surya meningkat. Berdasarkan pertimbangan indeks bias dan bobot, maka dipilih cermin datar dan lembaran datar aluminium sebagai bahan reflektor. Pengambilan data dilakukan secara otomatis dengan sistem monitoring untuk mengukur dan menyimpan data saat pengujian PLTS tanpa reflektor dan dengan reflektor pada berbagai posisi (Gambar 1).





Gambar 1. Perolehan cahaya matahari pada panel surya; (a) tanpa reflektor dan (b) dengan reflektor Tahapan penelitian dimulai dengan merancang PLTS sistem off grid, yaitu menentukan kapasitas PV, MPPT pada SCC, baterai, inverter dan pengaman yang diperlukan untuk melayani beban berdasarkan profil beban, jumlah beban, iradiasi matahari dan lokasi. Lalu merancang reflektor untuk menentukan jenis bahan, bentuk, ukuran. Pengaturan posisi reflektor disesuaikan dengan peningkatan daya luaran yang ditargetkan.

Untuk pengambilan data dirancang sistem monitoring dan *data logger* yang bertugas mengumpulkan data untuk ditransmisikan ke PC dengan bus ethernet. Data di PC diproses oleh piranti lunak LabVIEW dan ditampilkan secara real time dalam PC dan dapat diakses melalui internet.

Tahapan selanjutnya adalah realisasi PLTS sistem *off grid* dan pengujian pengaturan posisi reflektor sesuai dengan peningkatan daya luaran yang ditargetkan (Gambar 2). Pengambilan data berdasarkan IEC Standard 61724, sedangkan pengolahan data berdasarkan IEA-PVPS T2-01, 2000. Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh posisi reflektor terbaik agar memperoleh daya luaran optimum serta membandingkan

daya luaran panel surya tanpa reflektor dan dengan berbagai jenis reflektor.

Tahapan penelitian dimulai dengan merancang PLTS sistem off grid, yaitu menentukan kapasitas PV, MPPT, BCR, baterai, inverter dan pengaman yang diperlukan untuk melayani beban berdasarkan profil beban, jumlah beban, iradiasi matahari dan lokasi. Lalu merancang reflektor untuk menentukan jenis bahan, bentuk, ukuran. Pengaturan posisi reflektor disesuaikan dengan peningkatan daya luaran yang ditargetkan.

Untuk pengambilan data dirancang sistem monitoring dan data logger yang bertugas mengumpulkan data untuk ditransmisikan ke PC dengan bus ethernet. Data di PC diproses oleh piranti lunak LabVIEW dan ditampilkan secara real time dalam PC dan dapat diakses melalui internet.

Tahapan selanjutnya adalah realisasi PLTS sistem *off grid* dan pengujian pengaturan posisi reflektor sesuai dengan peningkatan daya luaran yang ditargetkan (Gambar 2). Pengambilan data berdasarkan IEC Standard 61724, sedangkan pengolahan data berdasarkan IEA-PVPS T2-01, 2000. Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh posisi reflektor terbaik agar memperoleh daya luaran optimum serta membandingkan daya luaran panel surya tanpa reflektor dan dengan berbagai jenis reflektor.

Hasil dan Pembahasan

PLTS sistem *off grid* lengkap dengan reflektor dan sistem monitoring diuji untuk memperoleh posisi reflektor terbaik agar daya luaran panel surya optimum (Gambar 3), serta memperoleh daya luaran panel surya tanpa reflektor

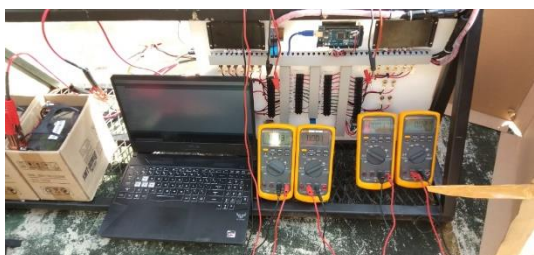
dan dengan berbagai jenis reflektor (Gambar 4).



Gambar 3. Pengujian pengaturan posisi reflektor untuk memperoleh daya luaran optimum



Gambar 4. Pengujian panel surya tanpa reflektor dan dengan berbagai jenis reflektor

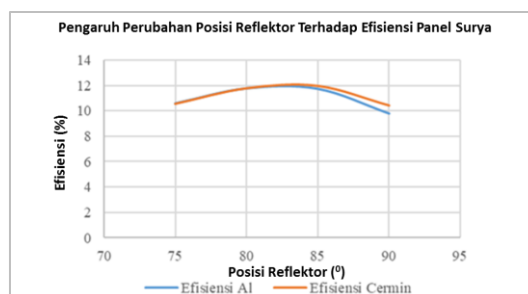


Gambar 5. Proses pengambilan data pengujian

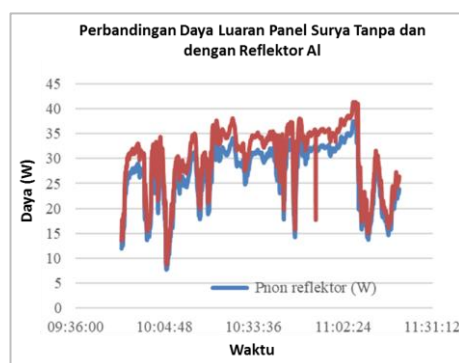
Berdasarkan hasil pengujian yang terekam (Gambar 5) dapat dinyatakan, bahwa daya luaran panel surya tertinggi saat posisi reflektor pada sudut 83° , baik untuk reflektor aluminium datar maupun cermin datar (Gambar 6). Oleh karena itu,

reflektor diposisikan pada sudut tersebut untuk pengujian selanjutnya.

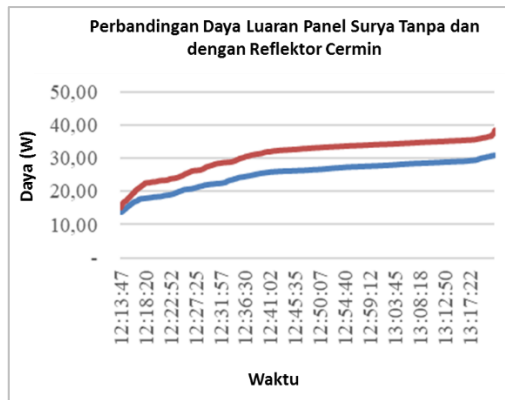
Analisa selanjutnya adalah membandingkan daya luaran panel surya tanpa reflektor dan dengan reflektor. Berdasarkan data logger diperoleh peningkatan daya luaran panel surya saat dipasang reflektor aluminium datar (Gambar 7) dan saat dipasang reflektor cermin datar (Gambar 8). Peningkatannya cukup signifikan, yaitu berkisar 4,2%-14,5% untuk reflektor aluminium (Gambar 9), dan 10%-26,7% untuk reflektor cermin datar (Gambar 10).



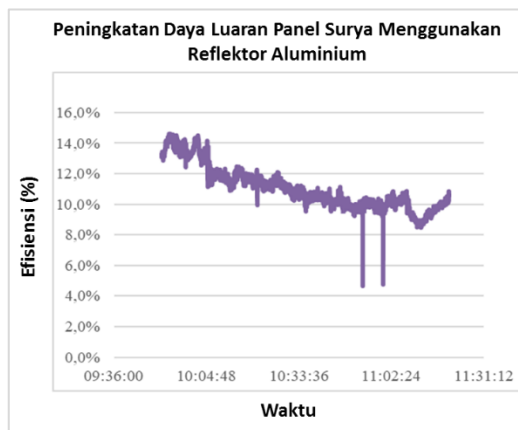
Gambar 6 Grafik Pengaruh Perubahan Posisi Reflektor Terhadap Efisiensi Panel Surya



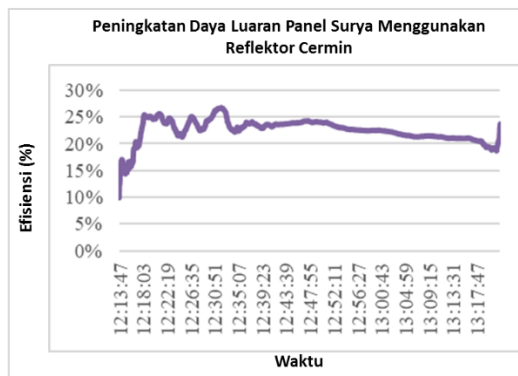
Gambar 7. Perbandingan Daya Luar Panel Surya Tanpa dan dengan Reflektor Aluminium



Gambar 8. Perbandingan Daya Luaran Panel Surya Tanpa dan dengan Reflektor Cermin Datar



Gambar 9 Grafik Peningkatan Daya Luaran Panel Surya Menggunakan Reflektor Aluminium



Gambar 10. Grafik Peningkatan Daya Luaran Panel Surya Menggunakan Reflektor Cermin Datar

KESIMPULAN

Pemasangan reflektor pada panel surya terbukti dapat meningkatkan daya luaran panel surya, dimana reflektor aluminium maupun cermin datar menghasilkan daya

luaran terbesar pada posisi sudut 83° . Reflektor cermin datar menghasilkan peningkatan daya luaran panel surya lebih besar dibandingkan dengan reflektor aluminium datar. Dalam memilih jenis reflektor perlu dipertimbangkan beberapa hal, antara lain berat (bobot), indeks bias, ukuran, efek shading serta ketahanan reflektor terhadap angin, benturan dan guncangan. Tindak lanjut penelitian yang akan dilakukan adalah penerapan pemasangan reflektor pada sistem on-grid.

Ucapan Terima kasih

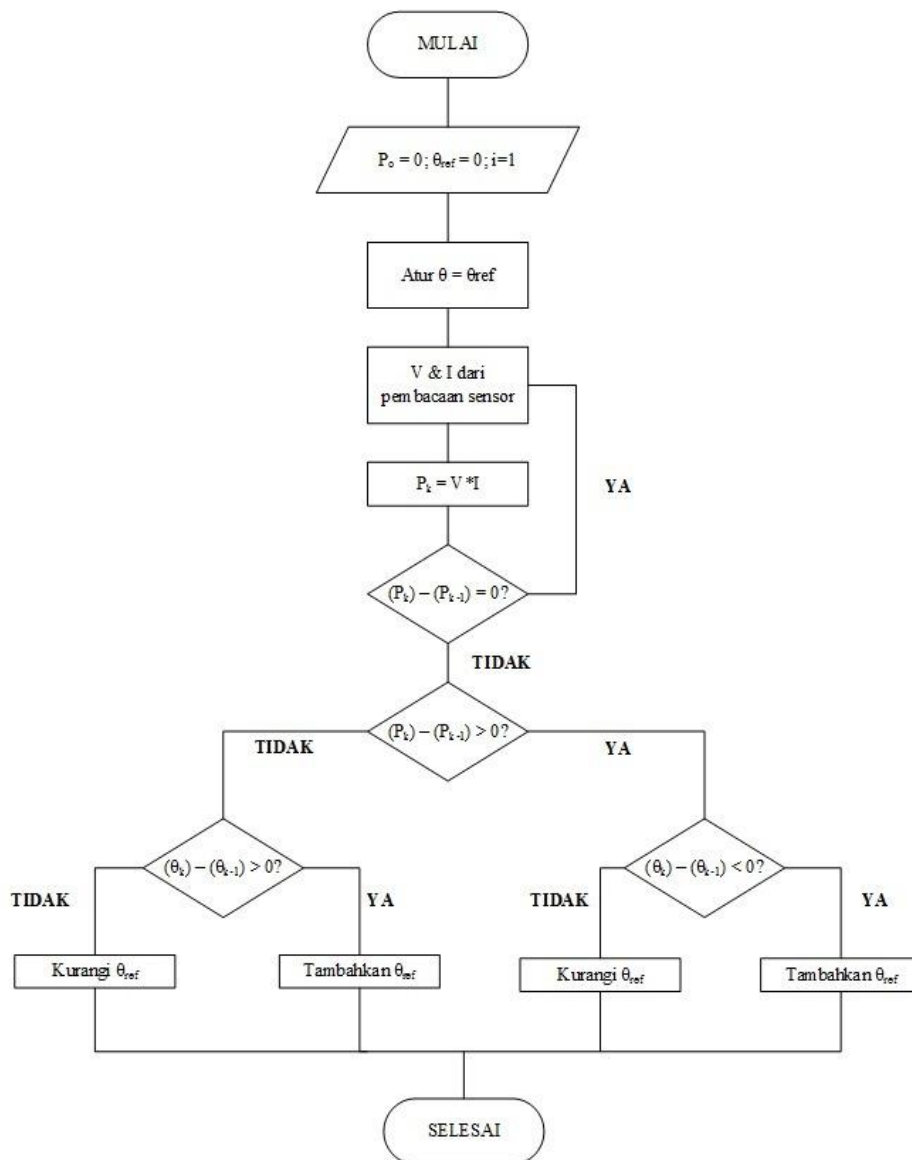
Terimakasih kepada Kemenristekdikbud Dirjen Vokasi dan UP2M Politeknik Negeri Jakarta yang telah memfasilitasi dan membiayai penelitian skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] S. M. Alfaridzi, A. Nugroho, and E. W. Sinuraya, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Menggunakan Software ETAP V.12.6. di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro," *Transient*, vol. 9, no. 2, pp. 143–147, 2020.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Permen ESDM Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*. Indonesia, 2017.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Permen ESDM Nomor 48 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. Indonesia, 2018.
- [4] PT PLN (Persero), *Rencana Usaha*

- Peyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028*. Indonesia, 2019.
- [5] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi," in *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 169–180.
- [6] R. Alik and A. Jusoh, "An enhanced P&O checking algorithm MPPT for high tracking efficiency of partially shaded PV module," *Sol. Energy*, vol. 163, pp. 570–580, 2018.
- [7] M. Al-Dhaifallah, A. M. Nassef, H. Rezk, and K. S. Nisar, "Optimal parameter design of fractional order control based INC-MPPT for PV system," *Sol. Energy*, vol. 159, pp. 650–664, 2018.
- [8] M. Lasheen and M. Abdel-Salam, "Maximum power point tracking using Hill Climbing and ANFIS techniques for PV applications: A review and a novel hybrid approach," *Energy Convers. Manag.*, vol. 171, pp. 1002–1019, 2018.
- [9] X. Meng, M. Leng, H. Zhang, and T. Xu, "MPPT control strategy based on CVT and variable step hysteresis comparison method," in *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2017, pp. 3252–3257.
- [10] L. Gao, R. A. Dougal, S. Liu, and A. P. Iotova, "Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 5, pp. 1548–1556, 2009.
- [11] Isdawimah, U. B. Sudiby, and E. A. Setiawan, "Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah," *Poli-Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2010.
- [12] Isdawimah, "Feasibility of Photovoltaic Power System for Remote Villages in West Java," in *The 12th International Conference on Quality in Research (QiR)*, 2011.
- [13] R. Setiabudy and R. Gunawan, "The Effect of High Switching Frequency on Inverter Against Measurements of kWh-Meter," *IPTEK J. Proceeding Ser.*, vol. 1, pp. 2354–6026, 2014.
- [14] Isdawimah, R. Setiabudy, and R. Gunawan, "Improving kWh-meter performance at pv on grid system by multiplying the number of sampling signal," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 71, no. 2, pp. 302–309, 2015.
- [15] Ismujiyanto and Isdawimah, "Desain akuisisi data kualitas daya listrik," *POLITEKNOLOGI*, vol. 15, no. 2, pp. 147–153, 2016.
- [16] I. Isdawimah, "Error Optimization in Electrical Power Quality Monitoring Data," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol. Vol 19 No 1 MarchDO* - *10.31940/logic.v19i1.1214*, Mar. 2019.
- [17] Isdawimah, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portabel," *IDD000052704*, 2018.
- [18] Y. S. Lim, C. K. Lo, S. Y. Kee, H. T. Ewe, and A. R. Faidz, "Design and evaluation of passive concentrator and reflector systems for bifacial solar panel on a highly cloudy region – A case study in Malaysia," *Renew. Energy*, vol. 63, pp. 415–425, 2014.
- [19] Y. K. Chauhan, M. Ieee, and K. Sultanpur, "Performance Improvement of Solar Photo-Voltaic Panel with Various Types of Reflectors," *2018 Int. Conf. Power Energy, Environ. Intell. Control*, pp. 232–238, 2018.

- [20] H. Nussbaumer *et al.*, “Application of Shaped Reflectors to Increase the Energy Harvest of Bifacial PV Systems - Analyzed with a Miniaturized Test Array,” in *2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2017, pp. 1077–1080.
- [21] A. Ingenito *et al.*, “Optimized Metal-Free Back Reflectors for High-Efficiency Open Rear c-Si Solar Cells,” *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 6, no. 1, pp. 34–40, 2016.
- [22] J. S. Choi, J. H. Kim, and C. T. Rim, “Incidence solar power analysis of PV panels with curved reflectors,” in *2017 IEEE 18th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, 2017, pp. 1–6.
- [23] K. R. Narahari, S. Mishra, V. Hegde, K. A. Kumar, C. Prabhu, and N. Chaulagain, “Enhanced radiation trapping technique using low-cost aluminium flat plate reflector a performance analysis on solar PV modules,” in *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2017, pp. 416–420.
- [24] D. T. P. Wijesuriya, K. D. S. H. Wickramathilaka, L. S. Wijesinghe, D. M. Vithana, and H. Y. R. Perera, “Placing reflectors for reducing payback period of solar PV for smart buildings,” in *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2017, pp. 480–485.
- [25] IEEE, “IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems,” *IEEE Std 929-2000*, pp. i-, 2000.
- [26] X. Zou and L. Bian, “Development of a data acquisition system for grid-connected photovoltaic systems,” in *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2011, pp. 5227–5230.



Gambar 2. Digram Alir pengaturan posisi reflektor