

Disain dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis Iot Terhadap Kinerja Panel Surya

Sahry Ramadhan Abduh^{1✉}, Leonard Lisapaly², Togar Pangaribuan³

¹ Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

^{2,3} Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 03-05-2024

Direvisi : 10-05-2024

Diterima : 14-05-2024

Kata Kunci:

Internet of Things (IoT), kinerja PLTS, sistem monitoring jarak jauh

Keywords :

Internet of Things (IoT), PV performance, remote distance monitoring

Corresponding Author :

Sahry Ramadhan Abduh

Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Jl. Diponegoro 84-86, Jakarta 10430

Email: sahry@cbn.net.id

ABSTRAK

Panel surya adalah komponen utama pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Jenis panel surya atap paling dikenal dan banyak digunakan oleh masyarakat, disamping materialnya murah, juga mudah diperoleh dan produksinya bervariasi, baik lokal maupun dari luar negeri. Untuk mengetahui performansi operasional dan fungsional rangkaian panel surya pada PLTS atap, studi ini memanfaatkan beberapa sensor yang dapat memonitor secara terus menerus beberapa parameter PLTS seperti: arus dan tegangan (I-V), daya listrik (P), serta parameter lingkungan yang terkait dengan PLTS seperti tingkat intensitas radiasi matahari, temperatur, kelembaban, kecepatan angin, serta debu. Sistem monitoring dilakukan dari jarak jauh dengan memanfaatkan konsep Internet of Things (IoT). Rekaman data, saat koneksi internet bermasalah, akan disimpan pada datalogger SD Card. Rancangan ini telah berhasil merekam data yang disebutkan di atas selama beberapa bulan.

ABSTRACT

Solar panels are the main component of solar power plants (PLTS). This type of rooftop solar panel is the most well-known and widely used by the public, besides the material being cheap, it is also easy to obtain and the production varies, both locally and from abroad. To determine the operational and functional performance of solar panel circuits on rooftop PLTS, this study utilizes several sensors that can continuously monitor several PLTS parameters such as: current and voltage (I-V), electrical power (P), as well as environmental parameters related to PLTS such as level of intensity of solar radiation, temperature, humidity, wind speed, and dust. The monitoring system is carried out remotely by utilizing the Internet of Things (IoT) concept. Data recording, when the internet connection has problems, will be saved on the SD Card datalogger. This design has successfully recorded the data mentioned above for several months.

PENDAHULUAN

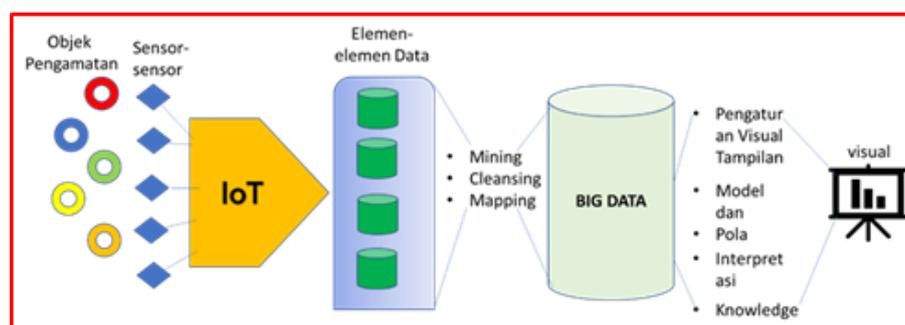
Panel surya adalah komponen utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Untuk menjamin produksi yang baik, setiap PLTS harus bisa dimonitor terus menerus kinerjanya, baik untuk melihat performansi operasional dan fungsional, maupun untuk rutinitas jadwal pemeliharannya [8][10]. Bagi sistem Panel Surya yang berada di remote area, kemampuan monitoring jarak jauh dan mendapatkan informasi sebelumnya (historical), akan sangat membantu saat kinerja sistem menurun atau untuk mencegah sebelum terjadinya gagal produksi, karena tidak berfungsinya sistem. Berdasarkan informasi ini, pemeliharaan preventif rutin dilaksanakan, guna meningkatkan kinerja dan umur sistem, sehingga akan mengurangi biaya operasi secara keseluruhan. Kinerja sebuah panel surya dapat dipengaruhi oleh dua hal. Pertama adalah komponen material Panel Surya itu sendiri. Kondisi ini diukur dengan parameter listrik yang diberikan oleh pabrikan pada spesifikasi teknis, yaitu Kurva Arus dan Tegangan DC (Kurva I-V) yang dihasilkan. Kedua adalah, pengaruh lingkungan di lokasi pemasangan, misalnya di daerah kering dan berdebu, berbeda dengan lokasi yang banyak terhalang oleh lingkungan seperti pohon atau gedung. Dan yang terakhir adalah dari disain dan saat instalasi pemasangannya. Semua ini akan mempengaruhi produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi kinerja PLTS skala kecil antara lain adalah irradiance, temperature panel, dan kelembaban [5]. Pada PLTS skala besar, factor lingkungan yang mempengaruhi antara lain irradiance, temperature array, kecepatan angin, kelembaban, dan tekanan udara. Di daerah tropis seperti Indonesia, debu dapat menjadi faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi kinerja PLTS.

Pada daerah-daerah yang sulit dijangkau seperti *remote area* atau atap gedung bertingkat, sistem monitoring sensor jarak jauh di panel surya (bisa menjadi satu sub-sistem atau terpisah) dapat digunakan untuk memonitor kinerja PLTS yang ada. Fasilitas monitoring sensor jarak jauh ini bisa digunakan untuk melihat kinerja panel surya secara terpusat. Misalnya seberapa besar total produksi daya listrik yang dihasilkan, berapa persentase efisiensinya, dan fitur apa saja yang dapat dimonitor melalui sensor jarak jauh lainnya. Sistem monitoring jarak jauh ini dapat dikembangkan dengan memanfaatkan pesatnya perkembangan dunia internet saat ini sehingga monitoring dapat dilakukan dengan mudah melalui sebuah komputer di kantor atau rumah, bahkan melalui sebuah *smartphone*. Dengan demikian, tujuan dari studi ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem monitoring jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor-sensor yang dapat mengukur parameter-parameter PLTS dan lingkungan dan kemudian dikirimkan melalui internet ke alat monitoring berupa komputer atau *smartphone* [1][2][4][6][7][9][11][12][13][14][15][17]. Data-data tersebut kemudian diolah dengan pemrograman komputer sehingga kinerja PLTS dapat ditafsirkan dari data-data tersebut, atau ditampilkan dalam bentuk kurva yang memperlihatkan kecenderungan kinerja PLTS [3][16].

METODE PENELITIAN

Gambar 1 memperlihatkan diagram alir dari studi ini. Tahapan perancangan dimulai dengan menetapkan obyek pengamatan dan tipe sensor yang akan digunakan untuk obyek pengamatan tersebut.



Gambar 1. Diagram alir studi

Sensor-sensor tersebut kemudian mengukur data secara analog ataupun digital, dan dengan bantuan Internet of Things, data-data tersebut kemudian dikirimkan ke *cloud* untuk nantinya diunduh untuk analisis. Data-data yang diunduh kemudian digali, dibersihkan, dan dipetakan untuk menjadi basis data yang siap digunakan. Pengukuran yang dilakukan oleh sensor dapat dilakukan untuk jangka waktu yang panjang dan dalam selang waktu yang pendek, sehingga data yang dikoleksi dan dikondisikan ini berlimpah (*big data*). Data-data ini kemudian dapat diolah dan ditampilkan untuk diinterpretasikan.

Pelaksanaan studi dimulai dengan studi pustaka, membaca, mengkaji dan mencuplik dari jurnal-jurnal, serta buku-buku referensi yang banyak menginformasikan perkembangan serta perancangan sistem berbasis teknologi IoT, serta pemanfaatan sensor-sensor. Sensor-sensor ini akan mewakili pengamatan terhadap satu atau lebih obyek yang berada pada jarak yang jauh, dimana setiap lokasi memiliki pengaruh alam (*ambient*) dan iklim yang berbeda. Obyek utama yang diamati dari studi kinerja panel surya ini adalah nilai perubahan status nilai kelistrikan seperti arus (Ampere) dan tegangan (Voltage) DC. Arus DC dan tegangan DC, dan output power (Watt DC), akan menjadi indikasi performansi sistem panel surya. Korelasi antara perubahan kondisi cuaca atau iklim, seperti intensitas radiasi matahari, suhu/temperatur, dan kelembaban (*ambient*), akan diamati terhadap perubahan nilai-nilai parameter kelistrikan. Berdasarkan kebutuhan utama pengamatan yang terus menerus seperti diatas, dirancanglah prototipe sistem menggunakan komponen mikrocontoller SBC (Single Board Computer), yang relatif ekonomis dan mudah diperoleh di pasaran. Sensor-sensor mengumpulkan data dan kemudian diupload ke alat IoT ke internet secara online dengan menggunakan sistem 24/7 (24 jam, 7 hari). Dengan memanfaatkan aplikasi *Cloud* data dapat ditampilkan sebagai *time series*, dan informasi ini dapat diakses oleh pengguna awam dengan menggunakan aplikasi di komputer ataupun *smartphone*. Dalam studi ini, pembahasan dibatasi hanya sampai perancangan sistem monitoring jarak jauh dan contoh implementasinya. Analisis data dan hal-hal lainnya tidak dibahas dalam artikel ini.

Tahapan pembuatan sistem monitoring ini terbagi dalam beberapa tahapan utama, yang antara lain mencakup:

1. Kajian pustaka
2. Disain dan perancangan *prototype* sistem.
3. Konstruksi *prototype* sistem dan pengkalibrasian sensor-sensor baik analog maupun digital.
4. Pengambilan, pemindaian dan akuisisi data-data dari sensor-sensor, pengumpulan data *realtime* ke *datalogger*, dan penyimpanan ke *media storage SD Card*.
5. Ekstraksi *raw data*, dari *datalogger* dan menyiapkan (*data preparation*) dan membersihkan data-data (*data cleansing*).
6. Pengaturan media transport IoT dan media yang digunakan broadband Internet untuk diupload secara rutin 24/7 ke aplikasi Cloud Internet.
7. Visualisasi hasil pengukuran untuk proses monitoring
8. Pembuatan Kesimpulan, dan pemberian saran.

Lokasi Studi

Lokasi studi dan uji coba rancangan berada di sebuah kantor yang berada di jalan Jati Padang I, Pasar Minggu, Jakarta Selatan (Latitude : -6.286491351803668°, Longitude: 106.82911244152378°). Fisiknya terletak pada sebuah rumah 3 (tiga) lantai, pada lantai terbuka bagian atas. Perangkat yang sudah dikonstruksi selanjutnya diujicobakan, dan diletakkan pada bagian terbuka / atap, pada lantai 3 (tiga) bangunan tersebut. Panel surya yang digunakan adalah panel surya 50 Wp dengan orientasi penempatan panel surya adalah dengan posisi tetap (*fix*) pada orientasi 30-45 derajat kemiringan, di garis arah Utara selatan. Perlu diketahui, berdasarkan teori arah pemasangan panel di lokasi studi adalah panel menghadap ke arah utara dengan kemiringan 9°. Namun, karena tujuan utama studi ini adalah perancangan sistem monitoring jarak jauh, isu terkait arah pemasangan dan kemiringan panel surya untuk sementara tidak diperhitungkan. Kondisi pemasangan panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi pemasangan panel surya

Disain Sistem Sensor-sensor

Pada studi ini rancangan alat sensor data akusisi untuk memantau kinerja panel surya, mencakup 2 (dua) domain sensor. Yang pertama adalah domain sensor yang akan memantau dan mencatat status perubahan nilai pada parameter kelistrikan panel surya, yaitu :

1. Sensor perubahan output voltage DC, diukur pada output, paralel dengan terminal konfigurasi panel surya.
2. Sensor perubahan output current DC, diukur pada output secara seri terhadap konfigurasi panel surya. Ujung berikut terminal ini, kemudian dihubungkan dengan perangkat Solar Charger Controller (SCC) atau Charger dengan metode deteksi power maksimum atau MPPT.

Sedangkan yang terkait dengan pemantauan iklim atau status lingkungan, adalah:

1. Sensor pengukuran nilai intensitas radiasi energi matahari (Irradiation), dengan alat ukur bernama pyranometer.
2. Sensor pengukuran status temperatur atau suhu outdoor di dekat panel surya, berikut sensor yang mencatat status tekanan udara (Air Pressure).
3. Beberapa sensor lainnya yang masuk domain sensor lingkungan lainnya, seperti untuk mendeteksi tingkat polusi atau debu yang menumpuk di atas permukaan panel surya. Debu atau kotoran ini berpotensi dan berpengaruh menurunkan arus dan tegangan, serta daya yang dihasilkan oleh proses fotovoltaiik pada Panel Surya.

Disain Sistem Akusisi Data (Datalogger)

Peranan datalogger dan sistem monitoring dalam rancangan sistem pemantauan disini menjadi sangat penting karena terkait langsung dengan berbagai aktivitas pengoperasian sistem energi panel surya yang efisien, kuat, dan lancar. Datalogger untuk sistem pemantauan kinerja panel surya, memungkinkan operasi yang tepat dan berkontribusi untuk mengidentifikasi sistem yang tidak berfungsi sebelum kerusakan besar. Dalam studi ini, menjadi pertimbangan untuk menggunakan sistem pemantauan dan pencatat data yang murah, ramah pengguna, andal dan telah dikembangkan dan banyak digunakan terutama untuk sistem kelistrikan pada rumah surya yang berada di daerah pedesaan di negara-negara berkembang. Pencatat data ini adalah sebuah modul elektronik berbasis mikrokontroler ESP-32xx, yang menyimpan semua parameter

pemantauan dalam kartu microSD dan menampilkannya di aplikasi Cloud. Data-data ini dapat diunduh langsung dari halaman web untuk menganalisis dan memverifikasi lebih lanjut kinerja operasional sistem. Prototype perangkat keras pencatat data yang dikembangkan hanya menggunakan 4 (empat) sensor untuk kelembaban, suhu, tegangan, dan penginderaan arus. Aplikasi Android yang sudah dikembangkan digunakan dan diinstalasi kedalam ponsel, agar data-data dapat menampilkan semua parameter real time. Dengan sistem pemantauan mudah dan fleksibel ini, akan lebih efisien menyajikan informasi, kapan saja terutama saat-saat penting bagi pengguna, juga bagi sistem pemeliharaan, guna mengetahui dengan cepat masalah apapun saat pengisian daya baterai dan besar kecilnya beban pemakaian.

Pada studi ini telah dikembangkan dan diimplementasikan perangkat keras yang berasal dari arsitektur akuisisi data jarak jauh sistem fotovoltaik berdasarkan Internet of Things. Biaya keseluruhan untuk pengembangan prototipe pemantauan secara terus menerus oleh cukup ekonomis.

Teknologi IoT dipilih sebagai media komunikasi yang terintegrasi sebagai prototype pengamatan dalam studi ini. Sensor-sensor akan terhubung ke pengolahan dengan konversi Analog ke Digital (ADC), atau dari langsung sensor input yang berbentuk sinyal digital (DI).

IoT akan menyediakan koneksi setiap objek yang dipantau, dan terhubung ke sensor melalui jaringan sensor nirkabel. Beberapa informasi penting lainnya dari kondisi lingkungan akan direkam status sesungguhnya. Karena menggunakan konektivitas jaringan, maka beberapa sensor-sensor ini memungkinkan obyek dikumpulkan berdekatan dan saling bertukar data.

IoT mampu menjangkau berbagai platform sensor dari hanya satu (*single*) *loop sensor*, karena memanfaatkan media konektivitas nirkabel. Diantaranya terdapat modul yang melayani beberapa sinyal wireless sekaligus yang berbasis 2G/3G/4G, GSM, GPRS, RFID, WI-FI, GPS, mikrocontroller, dll.

Disain Sistem Pengiriman Data IoT

Untuk mengambil dan menyimpan data dari sensor ke sistem, menggunakan protokol transfer hypertext (HTTP) dari jaringan lokal hingga ke target cloud di Internet. Pengiriman akan dilakukan berulang-ulang, sesuai interval yang telah ditentukan. Dan akan meng-update semua logdata yang diterima dari semua sensor. Setiap pengguna melalui web, dapat masuk login dengan akun, dan memilih target channel untuk memantau parameter yang beragam dalam sistem untuk mengetahui kinerja sistem atau perangkat jarak jauh. Aplikasi di Cloud ini memungkinkan administrator atau pengguna mem-visualisasi-kan data-data dalam bentuk tabulasi atau representasi grafis. Keuntungan utama dari sistem seperti ini adalah seketika dan realtime, dapat mengetahui informasi terkini kinerja panel surya yang lokasinya berada jarak jauh, sepanjang tersedia akses dan koneksi internet.

Komponen-komponen atau modul yang memungkinkan pengiriman data dari sensor lokasi jarak jauh dalam studi ini adalah:

1. Mikrokontroller utama akuisisi data dan sebagai Datalogger. Misalnya: Arduino Uno Release 3
2. Interface lokal Datalogger ke IoT modul pengiriman
3. Mikrocontroller Support IoT NodeMCU
4. Supply daya dan Backup.

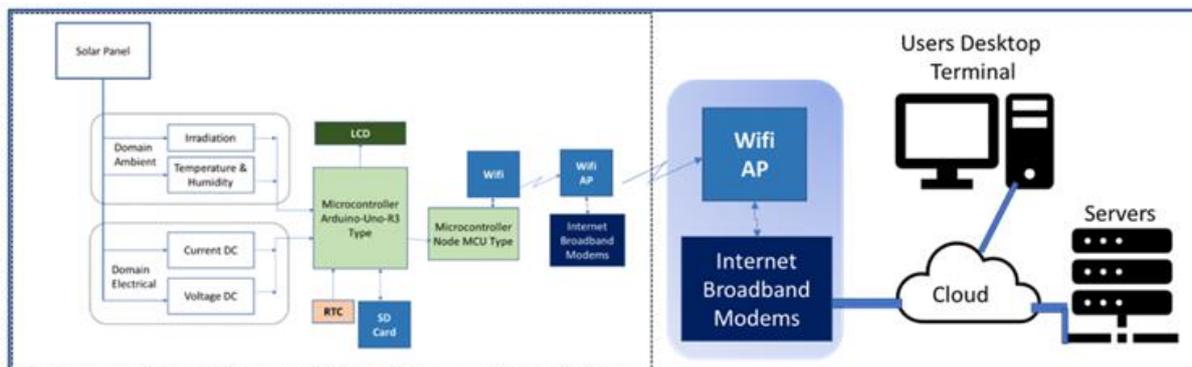
Indikasi Kinerja Deteksi Normal, Anomali, dan Fault

Beberapa modul sebagai Indikasi Kinerja yang digunakan saat loop utama program mikrocontroller melakukan rutin mendeteksi data yang diterima, adalah:

1. Ambient Temperature (Modul pengecekan status sensor input digital AM301)
2. Module Voltage (Modul pengecekan status input analog nilai pembagi tegangan, yang dikonversi menjadi nilai value digital)

3. Module Current (Modul pengecekan status nilai induksi HAL, dari sensor deteksi tegangan, yang dikonversi menjadi value digital)
4. Module Power (Modul dan status perubahannya, yang men-supply daya bagi operasi microcontroller dan sensor-sensor biasanya 3.3 VDC atau 5 VDC).
5. Module Efficiency (%) (perhitungan Internal antara nilai aktual yang diperoleh terhadap perbandingan nilai berdasarkan standard pengukuran atau nilai pada lembar spesifikasi teknis dari pabrik)

Gambar 3 memperlihatkan perancangan sistem monitoring jarak jauh kinerja PLTS secara lengkap mulai dari panel surya sampai sistem *cloud*.



Gambar 3. Perancangan sistem monitoring jarak jauh kinerja PLTS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum proses akuisisi data dimulai, proses kalibrasi dan analisis terhadap sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor yang digunakan memberikan hasil pengukuran yang akurat. Pengujian terhadap sensor dilakukan selama beberapa hari untuk memastikan stabilitas pengukuran.

Gambar 4 memperlihatkan salah satu contoh hasil pengukuran yang dapat diamati melalui sebuah smartphone yang menunjukkan bahwa perancangan sistem monitoring jarak jauh kinerja PLTS telah dapat dilakukan. Sumbu horizontal memperlihatkan waktu dalam jam, menit, dan detik, dengan kata lain memperlihatkan hasil pengukur parameter-parameter secara *realtime*.



Gambar 4. Dashbord IoT Cloud Performance Panel Surya Monocrystalline 50 wp

Sistem monitoring jarak jauh kinerja PLTS ini telah beroperasi selama beberapa bulan dan data yang dihasilkan diproses untuk diinterpretasikan dan akan menjadi publikasi terpisah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan sistem monitoring jarak jauh kinerja PLTS yang telah dibuat dan implementasinya di lapangan, beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut:

1. Studi ini telah berhasil mendisain dan mengimplementasikan sebuah sistem aplikatif *end-to-end* memanfaatkan IoT sebagai fungsi sensor jarak jauh yang mampu meng-akusisi data dari sensor, mendeteksi threshold, dan merekam data lokal di media datalogger SD Card, dan mengirimkan ke aplikasi Cloud di Internet. Aplikasi dapat diakses dari manapun sepanjang terdapat akses jaringan global Internet.
2. Studi ini juga membuktikan mampu membuat *dashboard realtime* dan sistem notifikasi Alarm, yang akan bekerja bilamana batas-batas terlampaui, yang dapat di pantau dari perangkat smartphone seperti Android atau Iphone. Aplikasi Dashboard ini berbentuk info grafik, yang menunjukkan perubahan parameter kelistrikan dan perubahan kondisi cuaca di lokasi sebuah panel surya berada dan sebagai bagian dari PLTS. Studi ini juga mampu menunjukkan korelasi antara dua domain sensor berbeda yang saling berpengaruh satu dan lainnya, terhadap kinerja produksi dan operasional panel surya sistem rooftop PLTS.
3. Dengan berbagai keterbatasan komponen, dan penggunaan sensor-sensor akusisi data kombinasi yang ekonomis dan semi standard pengukuran, secara lengkap dapat menghimpun informasi melalui pemanfaatan IoT. Secara langsung terbukti dapat menunjukkan kepada pengguna atau pengelola layanan panel surya atau PLTS, setiap trending perilaku operasional dalam keadaan normal, saat anomali atau saat darurat ketika dideteksi ada komponen yang mengalami gangguan fungsi kerja dari susunan beberapa farm panel surya ataupun kerusakan pada komponen-komponen eksternal lainnya.

REFERENSI

1. A. Ullah and E. Syahputra, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data Radiasi Matahari Menggunakan Phyranometer Memanfaatkan Sensor Photovoltaic," pp. 18–19, 2017.
2. M. S. Khan, H. Sharma, and A. Haque, "IoT Enabled Real-Time Energy Monitoring for Photovoltaic Systems," in Proceedings of the International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing: Trends, Prespectives and Prospects, COMITCon 2019, 2019, pp. 323–327, doi: 10.1109/COMITCon.2019.8862246.
3. R. W. Andrews, J. S. Stein, C. Hansen, and D. Riley, "Introduction to the open source PV LIB for python Photovoltaic system modelling package," 2014 IEEE 40th Photovolt. Spec. Conf. PVSC 2014, no. June, pp. 170–174, 2014, doi: 10.1109/PVSC.2014.6925501.
4. S. S. Mohammad Hafidz ;, "Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta," Jur. Tek. Elektro, Sekol. Tinggi Tek. PLN, vol. 7, no. JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI-MEI 2015, p. 49, 2015.
5. P. Masyarakat et al., "Management Pasar," Symmetry (Basel)., vol. 7, no. x, p. 200, Jan. 2018, doi: 10.26527/ijarest.150418144713.
6. D. Mittal, B. K. Saxena, and K. V. S. Rao, "Potential of Floating Photovoltaic System for Energy Generation and Reduction of Water Evaporation at Four Different Lakes in Rajasthan."
7. A. R. Jordehi, "Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review," 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.03.049.
8. J. Haney, "PV System Operations and Maintenance Fundamentals Solar America Board for Codes and Standards," no. August, 2013.

9. D. Suryana, "Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya)," *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2016, doi: 10.36048/jtpii.v1i2.1791.
10. V. Raoul, "Review of PV Performance Ratio Development," *IEC 61724*, vol. 44, no. 1, 2010.
11. Z. Abbas, K. Harijan, ... P. S.-S. U., and U. 2017, "Effect of ambient temperature and relative humidity on solar PV system performance: a case study of Quaid-e-Azam Solar Park, Pakistan," *sujo-old.usindh.edu.pk*, doi: 10.26692/sujo/2017.12.0047.
12. F. A. and J. K. Mejia, "Soiling losses for solar photovoltaic systems in California.," *Sol. Energy* 95, pp. 357–363, 2013.
13. A. Karim, "IoT based monitoring and control for energy management system," pp. 65–66, 2018.
14. J. Shodiq et al., "Protipe Sistem Monitoring Parameter PLTS berbasis IoT," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 51–66, 2017.
15. R. S. Popovic, Z. Randjelovic, and D. Manic, "Integrated Hall-effect magnetic sensors," vol. 91, pp. 46–50, 2001.
16. A. H. Shaheer Ansari, Afida Ayob, Molla S. Hossain Lipu , Mohamad Hanif Md Saad, "A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects," in *Sustainability (MDPI)*, 2021.
17. P. de A. Fernández, ... M. F.-I. J. of, and undefined 2021, "An IoT open source platform for photovoltaic plants supervision," Elsevier.