

Instalasi PLTS Sebagai Sumber Energi mandiri dan Media Pengajaran EBT Bagi Santri PPPI Al-Ittihad Malang

Nandang Mufti^{1*}, Haidar Ali², Saparullah³, Nurul Lathii Fatul Chamidah⁴, Retno Fitri Wulandari⁵, Nur Asriyani⁶, Ari Priharta⁷, Nasikhudin⁸

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}Universitas Negeri Malang, Indonesia

*nandang.mufti.fmipa@um.ac.id

Info Artikel

Diajukan: 08-11-2022

Diterima: 04/02/2023

Diterbitkan: 01/04/2023

Keywords:

Hybrid; IoT; Energy Independent; PLTU

Kata Kunci:

Hibrid; IoT; Mandiri Energi; PLTS

DOI:

<http://dx.doi.org/10.33474/penadimas.v1i2.18901>



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2023 Nandang Mufti, Haidar Ali, Saparullah, Nurul Lathii Fatul Chamidah, Retno Fitri Wulandari, Nur Asriyani, Ari Priharta, Nasikhudin

Abstract

Dependence on the need for electrical energy on PLN will undoubtedly require a high cost. Energy independence around the PPPI Al-Ittihad hut as a partner can minimize expenses and realize an Islamic life based on information technology and independence in energy. This problem has prompted the Malang State University community service team to install solar panels at PPPI Al-Ittihad based on smart PLTS that can be monitored in real-time. This installation serves as a source of electrical energy to meet the electricity needs of PPPI Al-Ittihad. Community service is carried out by observing, calculating load requirements, making designs, installing solar cell systems, and installing solar panel systems. The electricity generated by the smart PLTS is used for the daily needs of PPPI Al-Ittihad. Besides that, the PLTS could be the renewable energy learning media for students and IoT-based information technology. The installation of PLTS is very useful for PPPI Al-Ittihad, which has a daily power load of 4 kWh to reduce the estimated cost of electricity consumption which previously depended on PLN.

Abstrak

Ketergantungan kebutuhan energi listrik pada PLN tentunya akan membutuhkan biaya yang besar. Kemandirian energi di sekitar pondok PPPI Al-Ittihad sebagai mitra dapat meminimalisir besarnya biaya dan mewujudkan kehidupan Islami yang berbasis teknologi informasi serta merdeka dalam energi. Permasalahan inilah yang mendorong tim pengabdian masyarakat Universitas Negeri Malang membantu mewujudkan kemandirian energi listrik dengan pemasangan panel surya di PPPI Al-Ittihad. Instalasi ini berfungsi sebagai sumber energi listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik PPPI Al-Ittihad. Pengabdian masyarakat yang dilakukan dengan observasi, perhitungan kebutuhan beban, pembuatan desain, pemasangan sistem sel surya dan serah terima system panel surya. Listrik hasil smart PLTS dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari PPPI Al-Ittihad, selain itu instalasi ini juga berpeluang sebagai media pembelajaran santri mengenai energi baru terbarukan (EBT) serta teknologi informasi berbasis IoT. Pemasangan PLTS ini sangat bermanfaat bagi PPPI Al-Ittihad yang memiliki beban daya harian 4 kWh untuk mengurangi estimasi biaya konsumsi listrik yang sebelumnya bergantung pada PLN.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring meningkatnya jumlah populasi masyarakat Indonesia. Selama ini, kebutuhan energi masih mengandalkan minyak bumi. Sedangkan cadangan minyak bumi di dunia semakin menipis, dengan menipisnya minyak bumi beberapa negara di dunia mulai menggeser penggunaan sumber energi tak terbarukan ke sumber energi terbarukan (Hardianto, 2019). Potensi energi terbarukan seperti biomassa, panas bumi, sinar matahari, air, angin, dan ombak laut, hingga saat ini belum banyak dimanfaatkan (Rahman et al., 2022). Padahal potensi energi terbarukan ini sangatlah besar khususnya di Indonesia. Dari sekian banyak sumber energi terbarukan, penggunaan energi matahari (energi surya) merupakan alternatif yang paling potensial untuk diterapkan di wilayah Indonesia.

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang mendapat sinar matahari berlimpah sepanjang tahun. Sehingga pemanfaatan energi surya sebagai Pembangkit

Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat diminati dan mulai dikembangkan di seluruh pelosok tanah air (Scheer, 2013). Sinar matahari (surya) adalah salah satu sumber daya alam yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan tidak dapat habis untuk dikembangkan, oleh karena itu energi surya merupakan energi alternatif yang memiliki prospek yang baik untuk memenuhi kekurangan energi listrik selain itu energi surya yang tersedia juga merupakan energi yang ramah lingkungan. PLTS sendiri terdapat beberapa komponen yang dibutuhkan untuk dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik siap pakai.

Komponen utama yang membangun PLTS adalah sel surya, yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor. Silikon multikristalin adalah bahan yang paling banyak digunakan dalam industri sel surya. Silikon multikristalin dan monokristalin menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi daripada silikon amorf. Energi listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil sehingga membutuhkan beberapa solar sel yang digabungkan menjadi sebuah panel yang disebut panel surya atau solar photovoltaic panel (Pérez-Higueras et al., 2012).

Komponen lainnya adalah inverter yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC yang dihasilkan oleh sel surya menjadi tegangan AC. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang akan diisi oleh tenaga listrik dari sistem sel surya. Pada saat pengosongan, arus searah dari baterai akan diubah menjadi arus bolak-balik oleh inverter untuk kemudian digunakan. Pengoperasian baterai dan inverter perlu dikontrol untuk menjaga baterai agar tidak *overcharged* dan *undercharged* (Alhuwaisheh & Enjeti, 2020). Salah satu sistem yang dapat digunakan adalah sistem hibrid antara sel surya dan listrik Pemerintah (PLN). Sistem hibrid merupakan sistem alternatif yang dapat diterapkan pada rumah beban tinggi. Sistem hibrid memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber utama yang dikombinasikan dengan PLN sebagai sumber energi cadangan (sekunder).

Sistem hibrid adalah penggabungan dua sumber energi. Jika satu sumber energi tidak dapat menghasilkan energi, maka sumber energi lain akan mensuplai energi ke beban (I Ketut Parti, 2021). Dua atau lebih bentuk sumber energi dapat digabungkan untuk membentuk sistem energi hibrid yang saling melengkapi kekurangan di setiap sumber daya (Bhandari et al., 2014). Sistem hibrid memiliki keunggulan dibandingkan sistem yang mengandalkan satu sumber sebagai energi tunggal. Tujuan dikombinasikannya PLTS dengan PLN adalah menjadikan sumber tegangan yang lebih efisien, efektif dan handal agar dapat mensuplai kebutuhan energi listrik pada berbagai sektor kehidupan, seperti sosial, ekonomi, kesehatan, dan pendidikan.

Salah satu lembaga yang banyak terdapat di Indonesia adalah Pesantren atau Pondok pesantren. Pesantren merupakan lembaga pendidikan keagamaan dalam hal ini agama Islam yang tidak hanya mengajarkan materi umum tetapi juga membina akhlak, budi pekerti dan sikap sosial untuk menghasilkan lulusan yang berdaya saing dan berakhlak mulia (Hasanah et al., 2021). Salah satu pondok pesantren yang ada di Jawa Timur yaitu kota Malang adalah PPPI Al-Ittihad.

PPPI (Pendidikan Pondok Pesantren Islam) Al-Ittihad merupakan salah satu pondok pesantren di kabupaten Malang yang memiliki visi mewujudkan insan yang islami dan berwawasan luas yang berkomitmen tinggi terhadap kemaslahatan ummat dan siap menghadapi tantangan global. Santri pondok pesantren ini, selain diarahkan untuk mendalami ilmu agama Islam, juga dibekali dengan pengetahuan teknologi informasi. Fokus utama pesantren adalah menyiapkan sumber daya manusia yang beradab serta berbekal pengetahuan agama islam yang baik serta menguasai teknologi informasi. Selain itu pondok pesantren ini juga fokus dalam mengembangkan pondok berbasis mandiri energi. Sejauh ini pondok pesantren membutuhkan sumber tenaga listrik yang berasal dari PLN untuk menyuplai daya ke server pondok 24 jam tanpa henti.

Ketergantungan kebutuhan energi listrik pada biaya yang besar. Kemandirian PLN tentunya akan membutuhkan energi di sekitar pondok dapat meminimalisir besarnya biaya dan mewujudkan kehidupan islami yang merdeka dalam energi. Penggunaan energi yang efisien dan mengurangi ketergantungan energi pada PLN juga akan membantu mengurangi konsumsi bahan bakar dari minyak bumi. Besarnya penggunaan energi listrik juga harus dipantau setiap saat. Pemantauan ini dapat dilakukan secara *real-time*, dengan menggunakan *internet of things* (IoT). IoT biasa digunakan sebagai monitoring data kelistrikan, seperti mengukur besaran dari listrik.

IoT juga dapat digunakan untuk memaksimalkan daya dari panel surya (Shaw et al., 2020). Sebuah pembangkit listrik membutuhkan monitoring kelistrikan yang *up to date* sehingga dapat melihat hasil pengukuran kelistrikan yang terbaru atau ketika dibutuhkan. Monitoring yang dapat diakses melalui internet berbasis website sangatlah penting agar teknisi tidak harus selalu datang ke lapangan untuk sekedar mencatat hasil pengukuran data kelistrikan. Perekaman data kelistrikan diperlukan untuk memantau perubahan data kelistrikan pada pembangkit listrik, sehingga dapat digunakan untuk kepentingan manajemen distribusi kelistrikan, mengetahui perilaku variabel kelistrikan, dan optimalisasi penggunaan. Permasalahan PPPI Al-Ittihad inilah yang mendorong peneliti melakukan pengabdian untuk mewujudkan kemandirian energi listrik dengan pemasangan panel surya di PPPI Al-Ittihad berbasis smart PLTS yang dapat dipantau secara real-time. Instalasi ini berfungsi sebagai sumber energi listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik PPPI Al-Ittihad.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan pengabdian masyarakat ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kebutuhan PPPI Al-Ittihad (mitra). Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan sebagai berikut.

a. Observasi

Melakukan perizinan kepada mitra tentang program pengabdian masyarakat.

Observasi dilakukan dengan mengunjungi lokasi secara langsung, melakukan wawancara dengan pengelola, menentukan titik yang tepat untuk instalasi berdasarkan jumlah berkas sinar matahari dan kemiringan tanah.

b. Perhitungan kebutuhan beban daya

Beban daya dihitung dari besarnya rata-rata penggunaan daya listrik (kWh) tiap harinya untuk kemudian digunakan sebagai data acuan dalam penentuan besarnya daya sel surya yang akan diinstalasi. Beban daya harian server PPPI Al-Ittihad adalah 4 kWh. Sistem sel surya yang akan dipasang memiliki daya 1,2 kWp sehingga mampu memenuhi kebutuhan listrik server selama 24 jam per harinya.

c. Pembuatan desain perangkat sel surya

Pembuatan desain menyesuaikan posisi perangkat yang telah ditentukan dan jumlah daya yang dibutuhkan. Kemudian dilakukan pengujian awal dengan mengukur efisiensi faktual dari sel surya yang akan dipasang untuk mengetahui besar daya yang dapat dihasilkan tiap panel. Selain itu, komponen pendukung juga diuji untuk memastikan komponen-komponen tersebut berfungsi dengan baik.

d. Pemasangan perangkat sel surya

Seluruh panel dan perangkat pendukung dibawa ke lokasi mitra untuk dilakukan instalasi pada titik yang telah ditentukan pada saat observasi.

e. Serah terima perangkat sel surya

Serah terima perangkat sel surya dilakukan secara simbolis dari tim kepada pihak mitra setelah pemasangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan sel surya di seluruh Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya, seiring dengan target pemerintah oleh Kementerian ESDM pada tahun 2025 mencapai 1.047 MW di seluruh Indonesia. Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya memanfaatkan sel surya dengan biaya yang terjangkau dan tidak menggunakan terlalu banyak tempat, berpotensi menjadi pembangkit listrik alternatif untuk rumah tangga. Dibandingkan listrik pemerintah yang harus dibayar setiap bulan, PLTS hanya mengeluarkan biaya pada awal pemasangan dan tidak lagi dikenakan tarif biaya seperti pada PLN. Energi surya sangatlah berlimpah, tidak dapat habis, tidak menimbulkan polusi, dan tentunya didapatkan secara gratis. Namun, untuk menghasilkan energi dalam skala besar, hemat biaya, dan ramah lingkungan masih menjadi tantangan (Gonçalves et al., 2022).

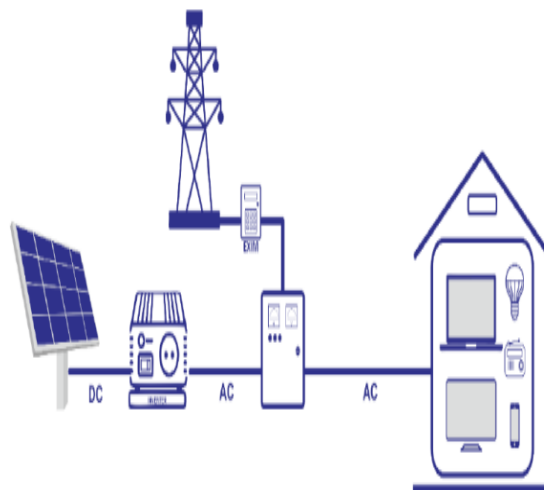
Pemanfaatan PLTS juga sudah banyak diterapkan di Indonesia pada berbagai sektor kehidupan, misalnya pendidikan. PLTS telah membantu masyarakat khususnya PPPI Al-Ittihad sebagai mitra kegiatan pengabdian ini memenuhi kebutuhan energi listrik yang sebelumnya

masih bergantung pada listrik yang bersumber pada PLN, serta membantu santri belajar mengenai energi terbarukan.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya sering juga disebut Sel Surya, atau Solar Photovoltaics, atau Solar Energy. Pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari inverter untuk mengubah arus listrik DC (arus searah) menjadi AC (arus bolak-balik) yang bisa langsung digunakan (Suyanto et al., 2020). Oleh karena itu, meskipun cuaca sedang berawan, jika masih ada cahaya, PLTS tetap mampu menghasilkan listrik. PLTS adalah suatu kesatuan yang kuat (perangkat yang menyediakan daya) dan dapat dirancang untuk memasok kebutuhan listrik kecil hingga signifikan, baik secara mandiri, maupun dengan hibrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain).

Posisi geografis PPPI Al-Ittihad yang terletak di sebelah selatan garis khatulistiwa tentunya juga telah diperhitungkan untuk mendapatkan sinar matahari secara optimal. Intensitas sinar matahari juga secara langsung mempengaruhi kinerja panel surya, semakin tinggi intensitas penyinaran semakin baik kinerja panel surya. Oleh karena itu, untuk memastikan intensitas sinar matahari didapatkan secara maksimum, panel surya dimiringkan sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh secara vertikal pada panel. (Mamun et al., 2022). Sudut kemiringan antara 20°–30° dianggap sebagai posisi yang optimal pada panel surya untuk mendapatkan sinar matahari yang maksimal. Sudut kemiringan sangat berpengaruh pada output yang diperoleh dari panel surya. Sudut kemiringan yang optimal pada panel surya selama musim panas berbeda dari musim hujan. Perbedaan ini mengharuskan posisi kemiringan yang benar benar sesuai agar panel surya dapat digunakan sepanjang tahun (Yunus Khan et al., 2020).

Skema dari sistem hibrid yang digunakan pada pemasangan PLTS di PPPI Al-Ittihad terdiri dari beberapa komponen, seperti solar cell, baterai, converter, dan grid. Desain perangkat sel surya dipasang dengan skema hibrid. Skema hibrid memungkinkan daya listrik yang dihasilkan sel surya menjadi tandem daya listrik dari PLN dengan prioritas daya yang dikonsumsi beban diambil dari daya listrik sel surya. Selain sebagai tandem, skema hibrid juga memungkinkan penyimpanan kelebihan daya yang tidak dibutuhkan beban ke dalam baterai. Secara singkat, perangkat sel surya dibuat dengan menghubungkan panel surya dengan inverter yang kemudian diteruskan pada kotak *switcher* untuk ditandemkan dengan PLN. PLN dalam skema ini hanya sebagai *back-up* PLTS jika dilakukan *maintenance* yang memerlukan pemutusan jalur PLTS maka server sementara disuplai dari sumber PLN. Sedangkan desain yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain PLTS yang dipasang secara hibrid



Gambar 2. Komponen PLTS yang sudah terpasang

Pembangunan sistem PLTS dilakukan oleh mahasiswa dan dibantu beberapa pengurus PPPI Al-Ittihad seperti dilihat pada Gambar 3. Sistem PLTS yang dibangun terdiri dari 8 panel surya 1,2 kWp, MPPT 40A, Inverter PSW 2000 W, 2 baterai 150 Ah, terminal serta jaringan kabel. Delapan panel surya dirangkai secara seri dan baterai dipasang secara paralel sehingga sistem baterai terinstalasi 300 Ah. Tegangan masukan terbaca pada MPPT dari panel surya, kemudian panel surya dan baterai aki dihubungkan pada MPPT serta baterai dihubungkan dengan inverter menghasilkan tegangan keluaran. Keluaran dari inverter dihubungkan ke beban.



Gambar 3. Proses pembangunan sistem PLTS.

Pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh tim dari Universitas Negeri Malang dilakukan secara sistematis dan terprogram. Orientasi pengabdian masyarakat ini sebagai

sumber energi listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik untuk pondok mandiri energi. Panel surya dipasang pada atap atau balkon dengan kemiringan tertentu dan menghadap ke utara karena lokasi berada diselatan khatulistiwa agar mendapatkan penyinaran lebih lama. Berdasarkan kapasitas daya terpasang 8 panel surya 1,2 kWp yaitu 9,6 kWp, dapat diproyeksikan jika dalam 1 hari mendapatkan penyinaran selama 5 jam/hari, maka akan menghasilkan energi listrik sebesar 48 kWh/hari. Energi ini dapat digunakan untuk aktifitas warga PPPI AI-Ittihad seperti kegiatan pembelajaran dan aktifitas sehari-hari selama 24 jam. Ketika sistem PLTS mengalami kendala atau sedang kondisi eror maka PPPI AI-Ittihad tidak akan mengalami pemadaman karena system dipasang secara hibrid dengan PLN. Sehingga segala kegiatan tidak akan mengalami kendala pemadaman listrik dan tentunya akan mengurangi biaya untuk konsumsi listrik dari PLN.

Serah terima *smart* PLTS dilakukan secara simbolis dari tim kepada pihak mitra setelah pemasangan dan pengecekan bahwa sistem siap digunakan serta sedikit pengarahan mengenai perawatan sistem PLTS kepada pengurus PPPI AI-Ittihad yang bertanggung jawab pada *smart* PLTS untuk menunjang penggunaan jangka panjang. *Smart* PLTS yang terpasang di PPPI AI-Ittihad selain bermanfaat sebagai sumber energi listrik juga berpeluang sebagai media pembelajaran santri mengenai energi baru terbarukan (EBT) dan teknologi informasi berbasis IoT. Sehingga para santri selain mendalami ilmu agama Islam, santri juga dibekali dengan pengetahuan teknologi informasi guna mempermudah bersaing di dunia luar dan menyebarkan dakwah lebih luas melalui internet.



Gambar 4. Proses serah terima sistem PLTS secara simbolik.

KESIMPULAN

Pemasangan panel surya di PPPI AI-Ittihad berbasis *smart* PLTS yang dapat dipantau secara *real-time* dengan sistem hibrid yang telah dilakukan tim pengabdian masyarakat dari Universitas Negeri Malang, menghasilkan energi listrik kurang lebih sebesar 48 kWh/hari dengan lama penyinaran selama 5 jam/hari. Listrik hasil *smart* PLTS dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari PPPI AI-Ittihad, selain itu instalasi ini juga berpeluang sebagai media pembelajaran santri mengenai energi baru terbarukan (EBT). Penghematan energi ini sangat bermanfaat bagi PPPI AI-Ittihad untuk mengurangi estimasi biaya konsumsi listrik yang sebelumnya bergantung pada PLN. Untuk menunjang penggunaan listrik pada jangka panjang perlu dilakukan perawatan PLTS seperti penggunaan listrik secara wajar dan tidak melebihi batas estimasi yang ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami haturkan kepada LP2M Universitas Negeri Malang yang telah membantu kegiatan Pengabdian ini secara finansial melalui program Hibah Pengabdian Kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2022.

DAFTAR RUJUKAN

- Alhuwaisheh, F., & Enjeti, P. (2020). A Transformer-less Hybrid PV Inverter with Integrated Battery Energy Storage. *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC, 2020-March*, 1489–1495. <https://doi.org/10.1109/APEC39645.2020.9124113>
- Bhandari, B., Poudel, S. R., Lee, K. T., & Ahn, S. H. (2014). Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 1(2), 157–173. <https://doi.org/10.1007/s40684-014-0021-4>
- Gonçalves, B. F., Sadewasser, S., Salonen, L. M., Lanceros-Méndez, S., & Kolen'ko, Y. V. (2022). Merging solution processing and printing for sustainable fabrication of Cu(In,Ga)Se₂ photovoltaics. *Chemical Engineering Journal*, 442(April). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136188>
- Hardianto, H. (2019). Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review. *International Journal of Environment, Engineering and Education*, 1(3), 1–8. <https://doi.org/10.55151/ijeedu.v1i3.21>
- Hasanah, M., Tsanawiyah, M., Amanatul, U., & Mojokerto, U. (2021). *THE ROLE OF PARENTS IN CHILDREN MEMORIZING THE QUR'AN IN MIDDLE SCHOOL BASED ON THE AMANATUL UMMAH ISLAMIC BOARDING SCHOOL*. 2(2), 139–156.
- I Ketut Parti, I. M. S. (2021). *Modeling a Hybrid System of Solar Power*. 21(2), 117–122.
- Mamun, M. A. A., Islam, M. M., Hasanuzzaman, M., & Selvaraj, J. (2022). Effect of tilt angle on the performance and electrical parameters of a PV module: Comparative indoor and outdoor experimental investigation. *Energy and Built Environment*, 3(3), 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.02.001>
- Pérez-Higueras, P. J., Rodrigo, P., Fernández, E. F., Almonacid, F., & Hontoria, L. (2012). A simplified method for estimating direct normal solar irradiation from global horizontal irradiation useful for CPV applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5529–5534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.041>
- Rahman, A., Farrok, O., & Haque, M. M. (2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161(June), 112279. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>
- Scheer, H. (2013). *The solar economy: Renewable energy for a sustainable global future*.
- Shaw, R. N., Walde, P., & Ghosh, A. (2020). IOT based MPPT for performance improvement of solar PV arrays operating under partial shade dispersion. *PIICON 2020 - 9th IEEE Power India International Conference, May 2021*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PIICON49524.2020.9112952>
- Suyanto, M., Rusianto, T., & Subandi. (2020). Development of a Household Solar Power Plant: System Using Solar Panels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 807(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/807/1/012007>
- Yunus Khan, T. M., Soudagar, M. E. M., Kanchan, M., Afzal, A., Banapurmath, N. R., Akram, N., Mane, S. D., & Shahapurkar, K. (2020). Optimum location and influence of tilt angle on performance of solar PV panels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(1), 511–532. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09089-5>