



Tinjauan Singkat Optimalisasi Pemanfaatan Energi Surya pada Sektor Rumah Tangga

Ligan Budi Pratomo¹, Nazaruddin Sinaga²

¹) Magister Energi, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro

²) Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

e-mail: liganbudipratomo@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan energi selalu mengalami peningkatan terutama energi fosil. Melalui Kebijakan Energi Nasional, pemerintah terus berupaya meningkatkan peranan sumber energi baru dan terbarukan sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah salah satu jenis pembangkit energi terbarukan yang mampu mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Komponen utama dari PLTS adalah baterai, panel surya, *charger controller*, dan inverter. Teknologi PLTS sendiri selalu dikembangkan seperti sistem monitoring dan *sun tracking automatic* yang dirancang untuk memperbaiki kinerja sistem. Aplikasi PLTS salah satunya pada sektor rumah tangga. Dimana sektor ini mengkonsumsi 49% energi listrik nasional pada tahun 2018. Jenis pembangkit ini dikategorikan sebagai PLTS atap. Dari data yang ada pengguna PLTS atap pada September 2019 sekitar 1400 pelanggan. Pengembangan pemanfaatan energi surya untuk sektor rumah tangga ini sangat tepat karena membantu tercapai target energi baru dan terbarukan yaitu 23% pada 2025 dan 31% pada 2050 dalam bauran energi nasional.

Kata Kunci: energi surya, energi baru dan terbarukan, plts, listrik rumah tangga

ABSTRACT

Energy use always increases, especially fossil energy. Through the National Energy Policy, the government continues to strive to increase the role of new and renewable energy sources so as to reduce dependence on fossil energy. Solar power generation is a type of renewable energy generator that capable to convert solar energy to electric energy. The main components of solar power generatios are batteries, solar panels, charger controllers, and inverters. Solar power generations technology itself is always being developed, such as automatic monitoring and sun tracking systems designed to improve system performance. One of the applications of solar power generations is in the household sector. In this sector consumes 49% of the national electricity energy in 2018. This type of generator is categorized as a roof solar power generations. Based on existing data, there were 1400 roof solar power generations users in September 2019. The development of solar energy utilization for the household sector is very appropriate because it can help achieve renewable energy about 23% in 2025 and 31% in 2050 in the national energy mix.

Keywords: solar energy, renewable energy, solar power generatios, household electricity

I. PENDAHULUAN

Energi memiliki kontribusi yang sangat besar dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Bertambahnya konsumsi energi setiap saat selalu berbanding lurus dengan laju pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah (Kholiq, 2015). Saat ini krisis energi dunia semakin meningkat, terutama di negara berkembang yang pada umumnya menggantungkan ketersediaan bahan bakar fosil untuk pemenuhan kebutuhan energinya (Xu dkk., 2021). Bahan bakar fosil sendiri jumlahnya terbatas, sementara penggunaannya juga disertai oleh berbagai dampak negatif seperti kerusakan kesehatan manusia, ekosistem, dan lingkungan (Naderi dkk., 2020). Eksplorasi sumber daya energi fosil dan energi baru dan terbarukan perlu dilakukan guna memenuhi permintaan energi yang semakin meningkat. Namun karena sumber daya energi fosil seperti minyak dan gas bumi ketersediaannya semakin sedikit maka pengembangan sumber energi alternatif adalah langkah yang tepat untuk dilakukan saat ini (Kholiq, 2015). Sebagai alternatif yang menjanjikan, sumber daya energi terbarukan semakin populer di seluruh dunia (Ustun dkk., 2020) dan sumber energi terbarukan

memainkan peran penting dalam perspektif yang menarik untuk pasokan energi masa depan (Naderi dkk., 2018). Pemerintah Republik Indonesia telah mengatur pengelolaan energi nasional melalui Kebijakan Energi Nasional sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014. Adapun tujuannya yaitu untuk mengarahkan pengelolaan dan pemanfaatan energi dalam rangka mencapai ketahanan dan kemandirian dalam bidang energi guna mewujudkan keberlanjutan pembangunan. Meningkatnya peranan energi baru dan terbarukan adalah salah satu tujuan atau target dari KEN, dimana pada tahun 2025 kontribusi energi baru dan terbarukan sebesar 23% dan 31% tahun 2050 pada bauran energi nasional.

Dari berbagai sumber energi terbarukan, energi surya dianggap sebagai salah satu yang terbaik (Yagli dkk., 2019). Energi surya memiliki keuntungan seperti fleksibilitas dalam keamanan daya yang dipasang, menerima densitas energi yang tinggi, dan bebas kebisingan (Sohani dan Sayyaadi, 2020). Oleh karena itu, memanfaatkan energi surya untuk aplikasi yang berbeda telah meningkat dengan sangat cepat dimasa yang lalu, dan diperkirakan akan mengalami kemajuan yang lebih besar ditahun ini masa depan (Shahverdian dkk., 2021).

Pembangkit listrik tenaga surya atau yang sering kita sebut PLTS merupakan pembangkit yang mampu merubah atau mengkonversi energi surya menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau photovoltaic. Berdasarkan sumber energinya pembangkit jenis ini tergolong dalam jenis pembangkit energi baru dan terbarukan. Saat ini pembangkit ini sedang dikembangkan di Indonesia, dimana hal tersebut tertuang dalam RUEN. Pengembangan pembangkit ini diperkirakan mencapai 6.500 MW ditahun 2025 (PLN, 2017). Pembangkit listrik tenaga surya ini memiliki fleksibilitas yang tinggi, dimana pembangkit ini dapat dirancang dari skala rumah tangga sampai skala yang lebih besar lagi. Sehingga teknologi dari pembangkit ini mudah diterapkan oleh masyarakat sesuai dengan kebutuhan (Suryana,2016).

Sektor rumah tangga sendiri merupakan salah satu pengguna energi listrik terbesar di Indonesia. Berdasarkan data kajian *Indonesia Energy Outlook* tahun 2019 kebutuhan listrik rumah tangga Indonesia sendiri mencapai 49% pada tahun 2018. Sehingga diharapkan pemanfaatan energi surya untuk sektor rumah tangga ini dapat menciptakan kemandirian energi dan mengurangi ketergantungan terhadap energi primer pada sektor rumah tangga. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian peneliti akan melakukan review pada beberapa penelitian tentang pemanfaatan energi surya, pengembangan teknologi dan aplikasi PLTS pada sektor rumah tangga. Sehingga akan diketahui sejauh mana pemanfaatan dan pengembangan energi surya untuk sektor rumah tangga.

II. METODE

Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode literatur review. Metode literatur review merupakan metode yang sistematis, eksplisit, dan reproduisibel guna mengidentifikasi, evaluasi, dan sintesis terhadap karya hasil pemikiran dan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh praktisi dan peneliti. Tahapan yang dilakukan meliputi: a). mengumpulkan sumber data berupa jurnal, kebijakan terkait, dan sumber pendukung lainnya; b). Membaca naskah secara aktif dan mengevaluasi sumber data; c). Menulis ulasan tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

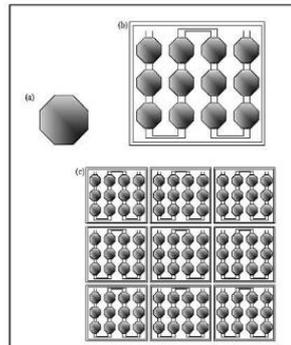
3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah salah satu jenis pembangkit terdistribusi atau *distributed generation*. Sel surya yang digunakan dalam pembangkit ini tersusun dari bahan semikonduktor seperti silikon yang dapat merubah atau mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Pada dasarnya komponen utama dari pembangkit ini adalah panel surya sebagai penghasil energi listrik. Selanjutnya ada inverter yang berfungsi sebagai pengubah atau pengkonversi tegangan arus searah menjadi tegangan arus bolak balik. Kemudian terdapat juga komponen *charger controller* yang berfungsi sebagai media pengatur atau pengendali sistem pengisian energi listrik dari panel surya menuju baterai. Sedangkan baterai sendiri digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik. Saat ini pembangkit tenaga surya dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe *on grid* / terhubung dengan jaringan PLN atau tipe *off grid* / yang tidak terhubung dengan jaringan PLN (ESDM, 2017).



Gambar 1. Panel Surya
(Sumber: ESDM, 2017)

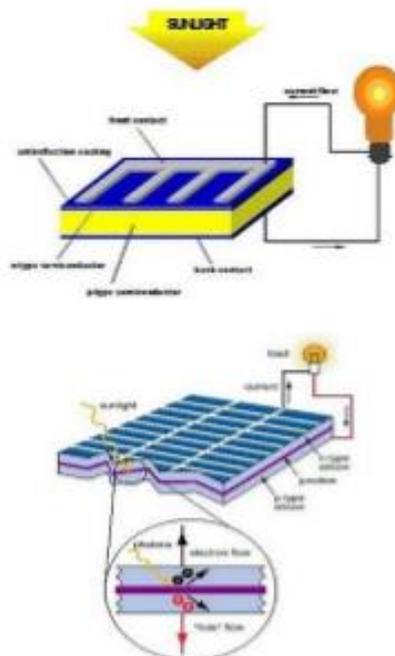
Menurut gambar berikut, sel PV atau sel surya merupakan elemen utama dalam struktur sistem PV yang biasanya berukuran sangat kecil dan menghasilkan daya sekitar 12 W. Untuk meningkatkan daya keluaran sel PV, maka sel surya tersebut dapat dihubungkan secara seri maupun paralel satu dengan lainnya untuk membentuk unit yang lebih besar yang disebut modul. Modul-modul tersebut pada gilirannya menghubungkan satu sama lain dan membuat unit yang lebih besar yang disebut array yang dapat menghasilkan lebih banyak daya dalam kaitannya satu sama lain. Tegangan output dapat ditingkatkan dengan menghubungkan modul atau array secara berurutan. Arus keluaran juga dapat ditingkatkan dengan koneksi paralel sel atau modul (Khalighi dan Onar, 2010).



Gambar 2. Komponen Sistem Photovoltaic; a.) Sel, b.) Modul, dan c.) Array
 (Sumber : Khalighi dan Onar, 2010)

3.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya bekerja dengan prinsip mengubah atau mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Sel surya atau photovoltaic dalam sistem pembangkit ini terbuat dari silikon yang dilapisi bahan kimia khusus. Pada tiap sel surya ini dapat menghasilkan tegangan sekitar 0,5 V. Selain itu sel surya ini merupakan elemen aktif dari bahan semikonduktor dengan ukuran tebal 0,3 mm yang memiliki kutub positif dan kutub negatif sehingga dapat menghasilkan energi listrik dari energi surya (Suprpto dan Juli, 2019). Radiasi matahari sebagian diubah menjadi listrik dan sisanya dihamburkan sebagai panas terakumulasi yang meningkatkan suhu pengoperasian panel PV surya (Ahmad dkk., 2021).



Gambar 3. Diagram Kerja Sel Surya
 (Sumber : Suprpto dan Juli, 2019)

Pada kondisi siang hari dimana energi surya dihasilkan oleh matahari dan cahaya matahari tersebut diterima oleh panel surya, maka elektron pada panel surya bergerak dari kutub negatif menuju kutub positif sehingga energi listrik dihasilkan. Proses ini menghasilkan energi listrik yang berbeda – beda. Saat cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron yang terdapat pada sel surya akan bergerak, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya tersebut

akan menghasilkan energi listrik. Jumlah energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang digunakan pada panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini berupa energi listrik arus searah/*direct current* yang nilai tegangan keluarannya dipengaruhi oleh jumlah sel surya yang dipasang pada panel surya serta banyaknya cahaya matahari yang menyinari panel surya tersebut (Ramadhan dkk., 2016).

Keluaran/*output* energi listrik berupa arus searah dari panel surya ini sudah dapat digunakan langsung ke beban yang memerlukan sumber tegangan DC, tentunya dengan nominal arus yang kecil. Supaya energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan pada malam hari yaitu kondisi saat panel surya tidak berfungsi mengkonversi energi, maka keluaran/*output* dari panel surya ini harus di hubungkan ke media penyimpanan/*storage* seperti baterai. Untuk melakukan penyimpanan energi listrik maka sebuah regulator tegangan, dimana didalam rangkaian tersebut terdapat rangkaian pengatur tegangan untuk pengisi baterai secara otomatis/*automatic charger* (Ramadhan dkk., 2016).

Regulator yang digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya berfungsi untuk mengatur tegangan *output* dari panel surya dan arus yang masuk ke baterai secara otomatis. Selain itu regulator juga memiliki fungsi sebagai penghubung dan pemutus arus dari panel surya ke baterai secara otomatis serta untuk memutuskan aliran arus dari baterai ke beban/*load* bila terjadi *short circuit* atau *overload*. Panel surya pada dasarnya dapat langsung digunakan tanpa rangkaian regulator maupun baterai, namun ini tidak dilakukan karena tidak efektif dan dapat membebani kinerja dari panel surya sehingga dapat menyebabkan kerusakan fatal pada panel surya tersebut (Widodo dkk., 2010).

Mekanisme rangkaian baterai dengan beban yang di suplai adalah dihubungkan secara paralel langsung ke beban. Jika baterai telah terisi penuh, maka untuk melindungi baterai akibat adanya beban lebih/*over load* ataupun hubung singkat pada sistem, maka perlu dipasang rangkaian proteksi. Fungsi sistem proteksi ini untuk melindungi baterai bila terjadi beban lebih atau *over load* dan *short circuit* (Ramadhan dkk., 2016).

Untuk mensuplai beban – beban pada sektor rumah tangga yang memiliki spesifikasi arus bolak balik maka sistem pembangkit ini perlu dilengkapi dengan unit inverter. Unit inverter ini berfungsi untuk merubah arus searah dari output unit baterai maupun output dari panel surya menjadi tegangan arus bolak balik. Bagian penting dari pemilihan unit inverter ini adalah spesifikasi yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi tegangan output dari panel surya dan baterai serta tegangan output yang diperlukan oleh beban. Selain itu unit inverter juga harus memiliki kapasitas *ampere hour* (AH) sesuai dengan kebutuhan beban yang akan disuplai (Ramadhan dkk., 2016).



Gambar 4. Skema Sistem Panel Surya

(Sumber : Haris dan Hendrian, 2019)

3.3. Faktor – Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kinerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Dalam operasinya pembangkit listrik tenaga surya ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu orientasi pemasangan modul surya, sudut kemiringan, tingkat kebersihan modul surya, *shading*, suhu modul surya, dan iridiasi matahari. Faktor – faktor tersebut tentunya mempengaruhi produksi energi listrik yang dihasilkan pembangkit. Seperti sudut kemiringan dari panel surya berpengaruh terhadap efisiensi penyerapan sinar matahari. Karena pada dasarnya setiap lokasi memiliki sudut kemiringan optimal dalam penyerapan iridiasi matahari yang berbeda. Kemudian kotoran atau debu yang terdapat pada modul surya juga dapat mengurangi efisiensi radiasi matahari yang diterima modul surya. Selanjutnya ketika benda-benda disekitar pembangkit menghalangi sinar matahari terhadap modul surya maka akan mengurangi nilai iridiasi matahari yang diserap oleh modul surya tersebut. Kemudian energi listrik yang dihasilkan menurun karena meningkatnya suhu pada panel surya. Penurunan produksi energi akibat pengaruh dari kenaikan suhu sekitar 0,4% setiap 1°C. Serta energi listrik yang dihasilkan modul surya juga dapat menurun sejalan dengan menurunnya iridiasi matahari. (Gunawan dkk., 2019). Selain itu suhu tinggi karena panas yang diserap dari matahari juga berdampak negatif.

Panas berlebih yang diserap matahari membatasi energi yang dihasilkan oleh sel surya (Laseinde dan Remere, 2021).

3.4. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

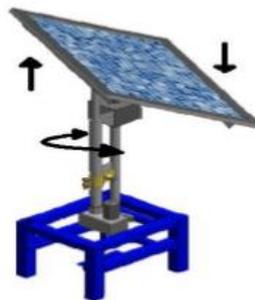
Pada dasarnya sistem pembangkit listrik tenaga surya saat ini masih memiliki beberapa kekurangan sehingga perlu dioptimalkan. Optimalisasi kinerja sistem pembangkit ini salah satunya dilakukan oleh Abdul dan Edwin (2019), dimana pada penelitian yang dilakukan telah menghasilkan sebuah alat pemantauan dan klasterisasi secara *real time* serta otomatis. Alat ataupun sistem ini dapat memonitoring performa dan kondisi dari sistem pembangkit. Selain itu sistem ini juga dapat mengatur pengisian baterai secara otomatis. Penelitian ini menjadi solusi pada permasalahan pembangkit listrik tenaga surya yaitu tidak termonitornya sistem pembangkit secara *real time* dan otomatis serta juga pendeknya *lifetime* baterai karena sistem pengisian baterai yang belum dikontrol secara optimum.



Gambar 5. Hasil Instalasi Perangkat Monitoring Panel Surya

(Sumber : Abdul dan Edwin, 2019)

Selanjutnya ada Sigit dan Adhi (2017) melakukan penelitian dengan membuat sebuah alat yang dapat meningkatkan performa panel surya untuk menyerap radiasi matahari guna dikonversi menjadi energi listrik. Alat ini bekerja dengan mengatur arah dari panel surya agar selalu menghadap ke sinar matahari sehingga penyerapan energinya dapat lebih optimum. Hasil dari penelitian ini yaitu penerapan dan pengembangan sistem *sun tracking automatic* pada PLTS. Sistem *sun tracking automatic* ini dapat meningkatkan efisiensi kerja dari panel surya sebesar 2 kali lebih unggul dari panel surya yang tidak menggunakan *sun tracking automatic* ini. Tentunya dengan penerapan sistem ini produksi listrik yang dihasilkan juga lebih besar 2 kali lipat.



Gambar 6. Panel Axis

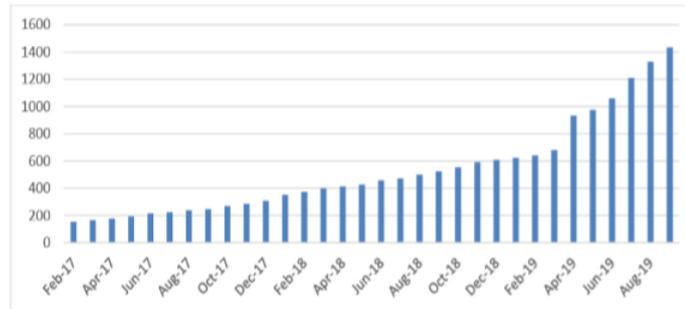
(Sumber : Sigit dan Adhi, 2017)

Selain itu Laseinde dan Ramere (2021) juga telah melakukan penelitian terkait pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya. Penelitian tersebut menghasilkan sistem penyemprotan air otomatis berbasis mikrokontroler menggunakan arduino. Sistem ini bekerja dengan menyemprotkan air ke panel surya jika didapati temperatur panel surya berlebih. Pengujian sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi panel surya sebesar 16,65%. Serta degradasi sel panel surya dapat dihindari dengan menggunakan penyemprotan air sebagai metode pendinginan pada kaca sistem PV terkonsentrasi tinggi (Zhu dkk., 2011).

3.5. Aplikasi PLTS pada Rumah Tangga

Penelitian terkait penggunaan PLTS pada rumah tangga salah satunya dilakukan oleh Suprpto dan Juli (2019), dimana dalam penelitiannya sistem PLTS dirancang dengan spesifikasi 300 VA, 220 V, dan 50 Hz dengan menggunakan tiga unit panel surya 30 WP. Dari hasil penelitiannya disebutkan bahwa untuk melakukan pengisian baterai sebesar 45 AH memerlukan waktu sekitar 9 jam. Energi yang tersimpan pada baterai tersebut dapat digunakan untuk mensuplai *load* sekitar 7-8 unit lampu dengan spesifikasi daya sebesar 3W, lumen 860 lm, tegangan 220V, dan frekuensi 50Hz. Pada

dasarnya efisiensi pada PLTS ini memang masih rendah yaitu sekitar 14%. Penelitian lain menyebutkan tingkat efisiensi rata-rata panel surya dari studi kasus yang dilakukan sekitar 16,92% dan periode pengembalian investasi rata-rata sekitar 13 tahun (Rozenale dkk., 2013).



Gambar 7. Total Pelanggan PLTS Atap Sampai September 2019

(Sumber : EBTKE – KESDM, 2019)

Pembangkit listrik tenaga surya untuk sektor rumah tangga sendiri termasuk dalam kategori PLTS atap. Sesuai ketentuan dalam Peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018 PLTS atap merupakan sistem pembangkitan tenaga listrik yang memanfaatkan modul surya untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. PLTS atap umumnya diletakkan di dinding, atap, atau tempat lain dari bangunan milik pelanggan PLN serta dapat mensuplai energi listrik melalui sistem jaringan listrik tegangan rendah PLN. Pengguna listrik PLN yang memasang PLTS atap telah dilakukan sejak awal tahun 2017. Terdapat peningkatan signifikan jumlah pelanggan PLN dengan PLTS atap antara bulan Februari 2017 yaitu kurang dari 200 pelanggan ke bulan September 2019 yaitu lebih dari 1400 pelanggan, sebagaimana data yang ditunjukkan pada grafik di atas.

IV. KESIMPULAN

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit energi terbarukan yang dapat merubah atau mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Sistem pada PLTS memiliki bagian utama seperti panel surya yang berfungsi mengubah energi surya menjadi listrik, *charger controller* yang berfungsi mengisi energi listrik ke baterai, inverter yang berfungsi mengubah tegangan AC ke DC, dan baterai sebagai tempat penyimpanan energi. Dalam operasinya kinerja PLTS dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu orientasi pemasangan modul surya, sudut kemiringan, tingkat kebersihan modul surya, *shading*, suhu modul surya, dan iradiasi matahari. Untuk meningkatkan kinerja dari PLTS sehingga produksi energi listrik dapat dimaksimalkan maka telah dilakukan beberapa penelitian seperti pengembangan sistem monitoring PLTS yang berfungsi untuk memantau PLTS secara kontinyu dan meningkatkan masa pakai dari baterai PLTS. Selain itu terdapat juga penelitian tentang penggunaan *sun tracking automatic* pada panel surya PLTS. Sistem ini berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya oleh panel surya.

Pemanfaatan PLTS salah satunya dapat digunakan pada sektor rumah tangga. Pada sektor ini PLTS yang digunakan dikategorikan sebagai PLTS atap. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM tahun 2019 pengguna PLTS atap mengalami peningkatan selama periode Februari 2017 sampai September 2019 yaitu mencapai lebih dari 1400 pelanggan. Sehingga mengoptimalkan pemanfaatan energi surya untuk sektor rumah tangga ini sangat tepat karena dapat membantu tercapai peran energi baru dan terbarukan sebesar 23 % pada 2025 dan 31% pada 2050 dalam bauran energi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Xu, S., Li, Z., Du, H., Luo, Y., Tian, J., Huang, Z., & Zhang, C. 2021. *A Methode of Calculating Urban Scale Solar Potential by Evaluating and Quantifying The Relationship Between Urban Block Typology and Occlusion Coefficient : A Case Study of Wuhan in Central China*. *Jurnal Sustainable Cities and Society*, Artikel 102451, Hal. 64.
- Naderi, S., Pignatta, G., Macgill, I., Behbahaninia, A., Pourali, O., & Banifateme, M. 2020. *Accurate Capacity Factor Calculation of Waste to Energy Power Palnt Based on Avaibility Analysis and Design / Off-Design Performance*. *Jurnal Cleaner Production*, Artikel 123167, Hal. 275.
- Kholiq, I. 2015. *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Subtitusi Bahan Bakar Minyak*. *Jurnal IPTEK*, Vol. 19, No. 2, Hal. 75 – 91.
- Ustun, I., Yagli, H., & Karaktus, C. 2020. *Empirical Models for Estiming The Daily and Monthly Global Solar Radiation For Mediteranean and Central Anatolia Region of Turkey*. *Jurnal Internasional Global Warming*, Vol. 20, No. 3, Hal 249-275.

- Naderi, S., Torabi, F., & Parvanehmasiha, S. 2018. *Modeling of Horizontal Axis Wind Turbine Wakes in Horns Rev Offshore Wind Farm Using an Improved Actuator Disc Model Coupled with Computational Fluid Dynamic*. *Jurnal Energy Conversion and Management*, Vol. 171, Hal. 953-968.
- Sayyaadi, H., & Sohani, A. 2020. *Employing Genetic Programming to Find the Best Correlation to Predict Temperature of Solar Photovoltaic Panels*. *Jurnal Energy Conversion and Management*, Vol. 224, Article 113291.
- Shahverdian, M. H., Li, L. K. B., Karimi, N., Doranehgard, M. H., Samiezadeh, S., Sayyaadi, H., & Sohani, A. 2021. *A Dynamic Multi-Objective Optimization Procedure for Water Cooling of a Photovoltaic Module*. *Jurnal Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 45, Artikel 101111.
- Peraturan Pemerintah RI No. 79/2014 Tentang (KEN) Kebijakan Energi Nasional
- PT. PLN (Persero). 2017. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik(RUPTL)*. Jakarta: PT PLN (Persero) 2017-2026.
- Yagli, H., Koc, A., Urgulu, I., Cevik, M., Koc, Y., & Karakus, C. 2019. *Designing and Exergetic Analysis of Solar Power Tower System for Iskenderun Region*. *Jurnal Internasional Exergy*, Vol. 28, No. 1, Hal. 96-112.
- Suryana, D. Widyariset. 2016. *Otomatisasi pada Panel Surya Menggunakan Panel Surya Tracking Aktif Tipe Single Axis*. *Balai Riset Industri Surabaya*, Vol. 2, No.1.
- DEN. 2019. *Indonesia Energy Outlook 2019*. ISSN 2527 3000.
- ESDM. 2017. *Dokumentasi Pilot Project Smart Grid in Microgrid Universitas Udayana 2017*.
- A, Khalighi, & O.C., Onar. 2010. *Energy Harvesting: Solar, Wind, Ocean Energy Con-version System*. Taylor & Francis Group, Abingdon.
- Gunawan, N.S., Irawati, R., & Kumara, I.S.N. 2019. *Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 26,4 KWP pada Sistem Smart Microgrid Unud*. *Jurnal Spektrum*, Vol. 6, No. 3.
- Hari, A., & Hendrian, E. 2019. *Sistem Monitoring dan Klaster Ketersediaan Energi Menggunakan Metode K-Means pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. *Jurnal Computer Engineering System and Science*, Vol. 4, No. 2.
- Ramere, M.D., & Laseinde, O.T. 2018 *Efficiency Improvement in Polycrystalline Solar Panel Using Thermal Control Water Spraying Cooling*. *Jurnal Procedia Computer Science*, Vol. 180, Hal. 239-248.
- Zhu, L., Sun, Y., Halford, C., Wang, Y., & Boehm, R.F. 2011. *Water Immersion Cooling of PV cells in a High Concentration System*. *Jurnal Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 95, No. 2, Hal.538-545.
- Suprpto & Juli, Iriani. 2019. *Perancangan Listrik Energi Surya 300 VA, 220 V, 50 Hz, Untuk Rumah Tangga Sederhana*. *Jurnal Teknik Energi*, Vol 15, No. 1, Hal. 1- 6.
- Ahmad, F.F., Ghenai, C., Hamid, A.K., Rejeb, O., Bettayeb, M. 2021. *Performance Enhancement and Infrared Thermography of Solar Photovoltaic Panel Using Back Cooling from The Waste Air of Building Centralize Air Conditioning System*. *Jurnal Case Studi in Thermal Engineering*, Artikel 1008490, Hal. 24.
- Ramadhan, A., I, Mukti, S.H., & Diniardi, E. 2016. *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. *Jurnal Teknik*, Vol. 37, No. 2, Hal. 59-63.
- Widodo, D.A., Tatyantoro, A., & Suryono. 2010. *Pemberdayaan Energi Matahari sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas*. *Jurnal teknik Elektro*, Vol. 2, No. 2, Hal. 133-138.
- Nurhasanto, S., & Prayitno, A. 2017. *Sun Tracking Automatic Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. *Jom FTEKNIK*, Vol. 4, No. 2.
- Permen ESDM No. 49/2018 Tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap Oleh Konsumen PT. PLN (Persero).
- Rozentale, L., Blumberga, D., & Lauka, D. 2018. *Accelerating Power Generation with Solar Panels. Case in Latvia*. *Jurnal Energy Procedia*, Vol. 147, Hal. 600 – 606.