



Pengaruh Intermitensi Radiasi Matahari Terhadap Daya Keluaran pada PLTS Terapung Studi Kasus Pulau Kodingareng, Makassar Sulawesi Selatan

Radhiansyah Radhiansyah^{1*}, A. Syahrinaldy Syahrudin², Dwi Sahidin³

^{1,2} Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie, Indonesia

³ Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

Email : radhiansyah@ith.ac.id¹, a.syahrinaldy@ith.ac.id², dwisahidin@pnc.ac.id³

Alamat: Jl. Balai Kota No. 1 Parepare, Sulawesi Selatan

Korespondensi penulis: radhiansyah@ith.ac.id *

Abstract. Photovoltaic (PV) systems are a promising renewable energy source due to their ease of installation, eco-friendliness, and abundant solar radiation availability. Indonesia has a theoretical potential of 4.625 kWh/m² and a practical potential of 3.767 kWh/kWp; however, as of September 2021, its installed capacity was only 194 MW. Land constraints have led to the development of floating PV systems, which reduce land usage and enhance module efficiency due to lower temperatures above water. Nonetheless, PV systems face challenges from solar radiation intermittency, influenced by cloud opacity, causing output power fluctuations. This study maps cloud opacity patterns on Kodingareng Island based on dry and rainy seasons using 2020 BMKG data. Results indicate that output power during the dry season is more stable than in the rainy season due to lower cloud cover. Conversely, thick cloud cover during the rainy season reduces solar radiation reaching PV modules, resulting in fluctuating power output. Thus, floating PV systems demonstrate better energy availability during the dry season. This study highlights the importance of understanding cloud opacity patterns in planning floating PV systems to address the challenges of solar radiation intermittency.

Keywords: Photovoltaic (PV), Floating PV, intermittency, solar radiation, cloud opacity

Abstrak. Photovoltaic (PV) merupakan sistem pembangkit energi terbarukan dengan potensi besar karena instalasinya mudah, ramah lingkungan, dan memanfaatkan radiasi matahari yang melimpah. Indonesia memiliki potensi teoretis 4,625 kWh/m² dan praktis 3,767 kWh/kWp, tetapi kapasitas terpasang hingga September 2021 baru mencapai 194 MW. Tantangan lahan mendorong inovasi *floating* PV atau panel surya terapung, yang mengurangi kebutuhan lahan daratan dan meningkatkan efisiensi modul karena suhu lebih rendah di atas air. Meski demikian, PLTS menghadapi kendala intermitensi radiasi matahari yang dipengaruhi oleh ketebalan awan (*cloud opacity*), menyebabkan fluktuasi daya keluaran. Studi ini memetakan pola ketebalan awan di Pulau Kodingareng, berdasarkan musim hujan dan kemarau, menggunakan data BMKG 2020. Hasil menunjukkan daya keluaran pada musim kemarau lebih stabil dibanding musim hujan karena ketebalan awan lebih rendah. Sebaliknya, fluktuasi daya pada musim hujan dipengaruhi tutupan awan tebal yang mengurangi radiasi matahari yang mencapai modul PV. Dengan demikian, ketersediaan daya sistem PLTS terapung lebih optimal pada musim kemarau. Studi ini menegaskan pentingnya pemahaman pola ketebalan awan dalam perencanaan PLTS terapung untuk mengatasi kendala intermitensi radiasi matahari.

Kata kunci: Photovoltaic (PV), PLTS Terapung, intermitensi, radiasi matahari, ketebalan awan

1. LATAR BELAKANG

Photovoltaic atau PV merupakan salah satu sistem pembangkit energi terbarukan yang memiliki potensi besar di masa mendatang, ada beberapa faktor yang menjadikan penggunaan teknologi PV menjadi pesat, diantaranya pemasangan atau instalasi yang lebih mudah

dibanding kebanyakan teknologi pembangkit lainnya, lebih ramah lingkungan dengan tidak adanya polusi udara maupun polusi suara, dapat berupa sistem kecil dengan instalasi rumahan dan pastinya memiliki sumber energi yang melimpah yaitu berupa radiasi sinar matahari. Potensi energi PLTS di seluruh dunia sebesar 3,5 kWh/kWp hingga 4,0 kWh/kWp, sedangkan untuk Indonesia memiliki rata-rata dari potensi teoritis sebesar 4,625 kWh/m² dan rata-rata dari potensi praktis sebesar 3,767 kWh/kWp (ESMAP, 2020).

Penggunaan PLTS global terus meningkat, namun masih jauh dari potensi maksimalnya, termasuk di Indonesia yang memiliki potensi besar. Hingga September 2021, total kapasitas terpasang PLTS di Indonesia baru mencapai 194 MW (ESDM, 2021). Meski instalasi PLTS relatif mudah, kebutuhan lahan luas menjadi kendala. Untuk mengatasinya, dikembangkan konsep panel surya terapung (*floating PV*), yang mulai diperkenalkan pada 2008. *Floating PV* memanfaatkan permukaan air untuk instalasi, sehingga mengurangi penggunaan lahan daratan. Selain itu, suhu lebih rendah di atas air membantu mendinginkan modul, meningkatkan capacity factor dan efisiensi sistem, menjadikannya alternatif ideal untuk pembangunan PLTS di daerah dengan keterbatasan lahan.

Dibalik potensi yang sangat besar, PLTS memiliki kekurangan dimana salah satunya yaitu intermitensi dari radiasi matahari yang tidak selalu ada sepanjang hari sehingga mengakibatkan PLTS tidak menghasilkan daya secara maksimal secara terus menerus. Dengan demikian efek dari intermitensi dari radiasi matahari ini akan menjadi fokus utama dalam perencanaan Pembangunan PLTS Terapung khususnya di Pulau Kodingareng, Makassar, Sulawesi Selatan.

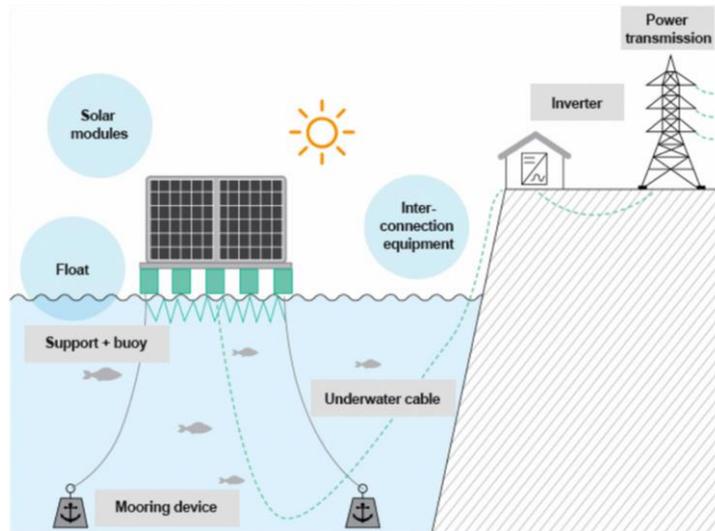
2. KAJIAN TEORITIS

Fotovoltaik

Fotovoltaik adalah teknologi yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul fotovoltaik terdiri dari beberapa sel surya yang tersusun menjadi panel. Proses ini melibatkan ketidakseimbangan elektron pada struktur semikonduktor sel surya, yang dikenal sebagai p-n junction (Tiwari, G.N., 2010: 81-108). Ketika radiasi matahari mengenai permukaan sel surya, elektron dari atom semikonduktor terlepas dan bergerak bebas, membentuk muatan negatif (n), sedangkan kekosongan dalam struktur atom menciptakan hole bermuatan positif (p). Interaksi ini menghasilkan medan listrik, memaksa muatan positif dan negatif bergerak berlawanan, sehingga menciptakan arus listrik.

PLTS Terapung

Offshore Floating PV adalah jenis PLTS terapung yang dibangun di lepas pantai dengan fungsi serupa PLTS darat, tetapi ekosistemnya mempengaruhi infrastruktur dan keluaran sistem. *Floating PV* memiliki komponen utama yang sama dengan PLTS biasa, ditambah komponen apung untuk mengapung di atas air. Konsep ini menjadi alternatif mengatasi keterbatasan lahan daratan, terutama di area padat bangunan atau pulau dengan daratan terbatas.



Sumber: <https://www.kwater.or.kr/>

Gambar 1. Konsep desain *Floating PV*

Intermitensi Radiasi Matahari

PLTS sangat bergantung pada pasokan radiasi matahari, yang dipengaruhi oleh jumlah cahaya matahari yang mencapai permukaan panel surya. *Cloud opacity* atau ketebalan awan memiliki pengaruh besar terhadap jumlah radiasi yang dapat dikonversi oleh panel surya, yang dikenal sebagai pola intermitensi. Pola ini menyebabkan fluktuasi tegangan yang mempengaruhi ketersediaan daya dari sistem PLTS. Oleh karena itu, penting untuk menguji pengaruh ketebalan awan terhadap keluaran panel surya. Pengaruh ketebalan awan terhadap radiasi yang mencapai permukaan bumi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I = I_0 \times (1 - c)^x$$

dimana:

I = Solar Irradiance reaching the surface I_0 =

Solar Irradiance at clear sky

c = cloud opacity

3. METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Dalam penelitian ini, objek penelitian dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu daerah terisolasi, memiliki potensi energi terbarukan, dan masyarakat yang menghadapi masalah terkait pembangkitan energi listrik untuk kebutuhan sehari-hari. Indonesia, dengan banyaknya pulau, memiliki beberapa lokasi yang memenuhi kriteria tersebut, salah satunya adalah Pulau Kodingareng yang terletak di lepas pantai Makassar, Sulawesi Selatan. Pulau Kodingareng merupakan pulau berpenghuni dengan jumlah penduduk sekitar 4.460 orang dan sekitar 1.302 rumah tangga. Sebagian besar penduduknya bekerja sebagai nelayan dan pedagang.



Sumber: <https://www.google.com/maps>

Gambar 2. Peta Pulau Kodingareng

Instrumentasi dan Pengambilan Data

Instrumentasi utama yang digunakan pada penelitian ini terbagi atas perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini berupa anemometer sebagai alat untuk pengambilan data meteorologi. Data simulasi merupakan data yang didapatkan melalui website penyedia data meteorologi, data yang dikumpulkan merupakan data historis dari pulau Kodingareng. Adapun data yang dikumpulkan diantaranya radiasi matahari, suhu permukaan, serta data kecepatan angin.



Gambar 3. Anemometer

Anemometer merupakan salah satu alat ukur kecepatan angin yang sering digunakan secara komersial, pada penelitian ini anemometer yang digunakan adalah anemometer merek UT 363 BT yang diproduksi oleh perusahaan UNITREND, yaitu anemometer yang memiliki fitur pengukuran kecepatan angin serta pengukuran suhu dengan konektivitas Bluetooth sehingga dapat diakses langsung melalui *smartphone*.

Selain dari perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini, terdapat juga perangkat lunak seperti Microsoft Office sebagai instrumentasi dalam pengolahan data maupun dalam penyusunan laporan penelitian, kemudian digunakan juga software Adobe Illustrator sebagai instrumentasi pembuatan desain vektor untuk model ilustrasi sistem, selanjutnya digunakan juga software Matlab Simulink yang merupakan instrumentasi simulasi utama pada penelitian ini, digunakan untuk mensimulasikan model sistem yang akan digunakan.

Pengaruh intermitensi Radiasi Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya

Untuk mengetahui pengaruh dari intermitensi dari radiasi matahari perlu dijabarkan pola dari ketebalan awan yang menjadi salah satu faktor utama yang menghalangi radiasi matahari sampai ke permukaan bumi. Untuk itu dilakukan pemetaan berdasarkan musim untuk mengetahui tingkat ketebalan awan di Pulau Kodingareng. Pembagian kategori data ketebalan awan didasarkan pada musim hujan, musim kemarau, serta waktu dengan nilai ketebalan awan tertinggi selama tahun 2020 di Pulau Kodingareng. Berdasarkan data dari BMKG pada tahun 2020 maka dikelompokkan data pengujian sebagai berikut.

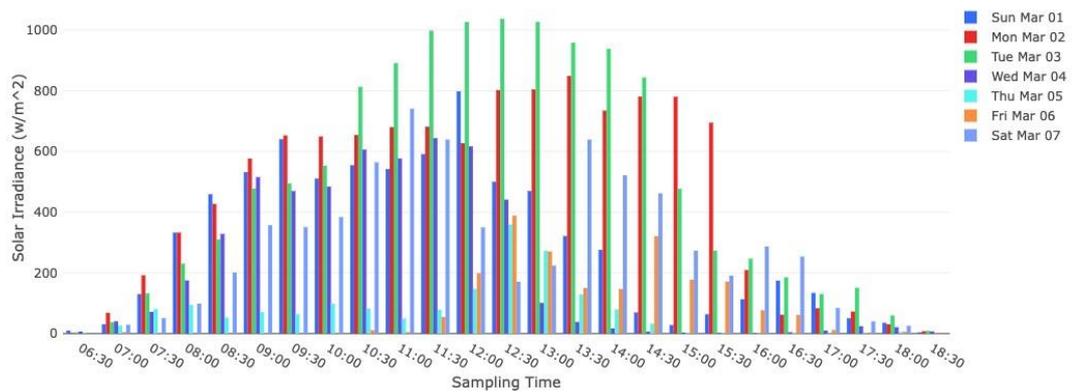
Tabel 1. Kelompok Data Pengujian Radiasi Matahari

Kelompok Data	Waktu
Musim Hujan	1-7 Maret 2020

Musim Kemarau	1-7 Agustus 2020
Data Ketebalan Awan tertinggi	8-15 Januari 2020

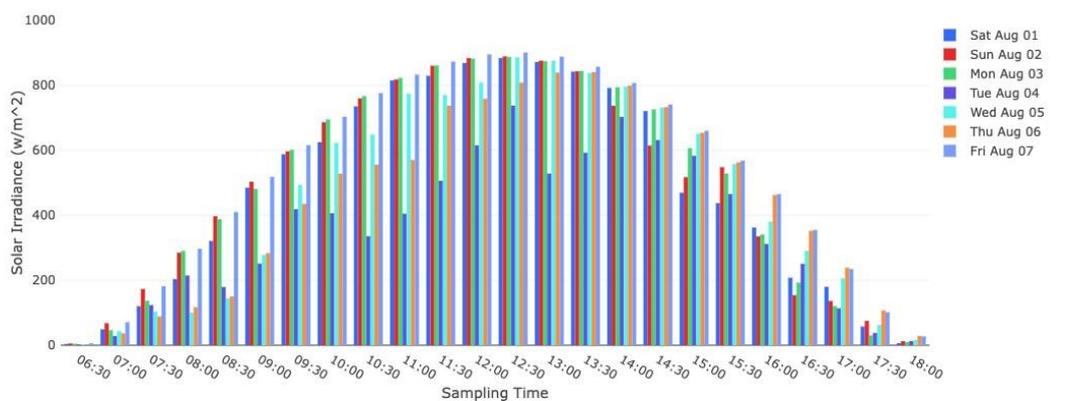
Berdasarkan kelompok data yang sudah ditentukan, data pengaruh ketebalan awan terhadap radiasi matahari dapat dipetakan berdasarkan data yang sudah dikumpulkan sebelumnya, proses pengelompokan data akan dilakukan menggunakan bigquery untuk melakukan penyaringan data berdasarkan tanggal, kemudian melakukan perhitungan nilai radiasi yang sudah terpengaruh oleh ketebalan awan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



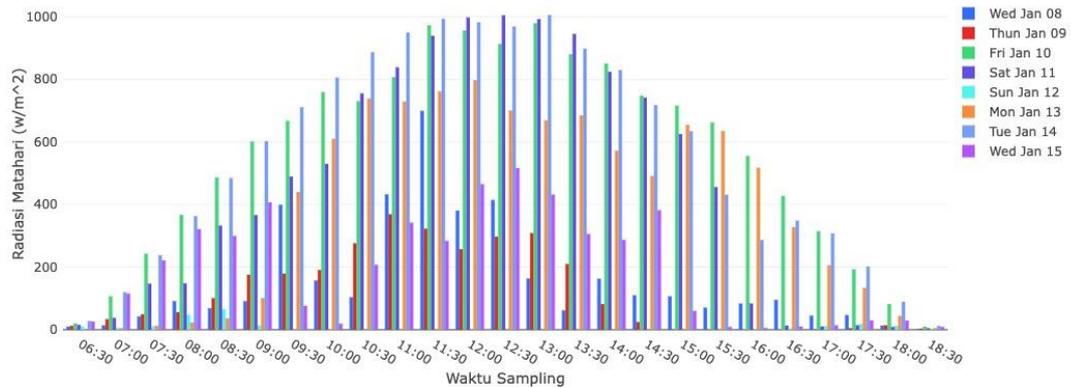
Gambar 4. Data Radiasi Matahari 1-7 Maret 2020

Data radiasi matahari bulan maret merupakan perwakilan sampling untuk musim hujan dimana dapat dilihat bahwa pola radiasi matahari tidak stabil, dipengaruhi oleh tutupan awan yang cukup besar pada musim hujan



Gambar 5. Data Radiasi Matahari 1-7 Agustus 2020

Data radiasi matahari pada bulan agustus cukup stabil dibandingkan dengan data pada bulan maret, dimana pada bulan agustus masuk dalam musim kemarau sehingga presentasi tutupan awan cukup sedikit



Gambar 6. Data Radiasi Matahari 8-15 Januari 2020

Data pada bulan januari memperlihatkan bagaimana pola radiasi matahari yang terpengaruh oleh tutupan awan terlihat tidak stabil, terlihat pada tanggal 9 januari dimana waktu titik puncak nilai radiasi matahari yaitu antara pukul 10.00 hingga 14.00 memiliki nilai radiasi yang relatif rendah dan bervariasi, ini diakibatkan oleh tingkat tutupan awan yang mencapai lebih dari 90%.

Berdasarkan data yang sudah didapatkan, maka akan dilakukan simulasi menggunakan Matlab Simulink untuk melihat bagaimana hasil keluaran daya PLTS berdasarkan data radiasi matahari yang sudah terpengaruh oleh tutupan awan.

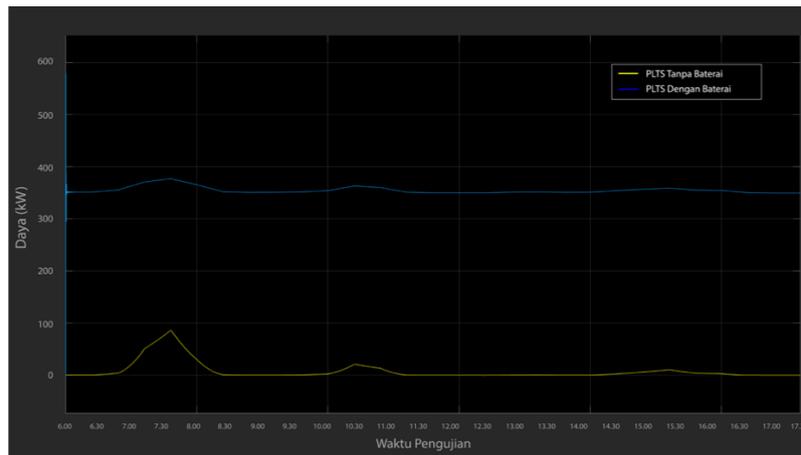
Hasil simulasi meliputi pengujian dari data rata-rata radiasi matahari untuk setiap musim yang terpengaruh oleh ketebalan awan beserta skema antisipasi yang akan digunakan berikut ini.



Gambar 6. Perbandingan Daya Keluaran PLTS Terapung Laut pada Musim Kemarau dan Musim Hujan

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa terjadi ketidakstabilan keluaran PLTS Terapung pada musim hujan. Dengan kondisi ketidakstabilan daya keluaran dari sistem PLTS terapung laut maka diperlukan skema antisipasi untuk menanggulangi hal tersebut, sehingga pada sistem PLTS Terapung Laut dipasangkan sistem baterai yang akan menjadi cadangan

suplai ketika sistem PLTS tidak dapat menyalurkan daya sebesar beban yang dibutuhkan masyarakat.



Gambar 7. Perbandingan Sistem PLTS dengan Baterai dan Tanpa Baterai

Dengan menggunakan bantuan baterai berdasarkan pengujian dalam sehari sistem berjalan di bulan Januari 2020, didapatkan bahwa daya yang dibangkitkan oleh sistem PLTS dalam sehari tidak memenuhi kebutuhan beban sehingga perlu adanya bantuan baterai sehingga dapat memenuhi permintaan beban. Sistem PLTS yang tidak menggunakan baterai hanya menghasilkan daya puncak sebesar 86 kW dengan rata-rata pembangkitan hanya sekitar 8 kW sedangkan untuk sistem PLTS yang menggunakan bantuan baterai menghasilkan daya puncak sebesar 580 kW dengan rata-rata pembangkitan sebesar 355 kW. Dengan menggunakan bantuan baterai pada sistem PLTS menjadi salah satu alternatif dalam menanggulangi kekurangan pasokan daya yang dihasilkan akibat dari intermitensi dari radiasi matahari yang diakibatkan ketebalan awan yang tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Intermiten radiasi matahari mempengaruhi daya keluaran pada PLTS Terapung dimana daya keluaran pada musim kemarau terlihat lebih stabil dibandingkan daya keluaran pada musim hujan, hal ini diakibatkan oleh data radiasi pada musim kemarau cukup stabil dimana persentase ketebalan awan yang cukup rendah, berbeda ketika musim hujan dimana daya keluaran yang terlihat tidak stabil dikarenakan radiasi matahari pada musim hujan yang tidak stabil oleh persentase tutupan awan yang tebal. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketersediaan daya yang dihasilkan sistem PLTS terapung pada musim kemarau lebih bagus dibandingkan pada musim penghujan, diakibatkan oleh tutupan awan secara tidak merata yang meredam sinar matahari, sehingga radiasi matahari yang diterima oleh modul PV berkurang.

Pembangunan PLTS Terapung kedepannya perlu memperhatikan aspek cuaca sebagai faktor utama yang mempengaruhi intermitensi dari radiasi matahari. Pada penelitian ini masih terbatas dari segi kuantitas pengukuran langsung di lokasi penelitian sehingga kedepannya perlu dilakukan pengukuran secara intens untuk mendapatkan hasil yang lebih aktual.

DAFTAR PUSAKA

- ESDM. (2020). Siaran pers: PLTS terapung pertama di Indonesia dan terbesar di Asia Tenggara resmi dibangun. Retrieved March 8, 2022, from <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/12/18/2737/plts.terapung.pertama.di.indonesia.dan.terbesar.di.asia.tenggara.resmi.dibangun>
- ESDM. (2021). *One Map*. Retrieved March 7, 2022, from <https://geoportal.esdm.go.id/ebtke/>
- ESMAP. (2020). Global photovoltaic power potential by country. *World Bank Group*.
- Heinz, G. S., & Preud'homme, E. B. (1993). Stream temperature estimation from air temperature. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(1), 67–72. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1993.tb03019.x>
- Javed, A. (2014). The effect of temperatures on the silicon solar cell. *International Journal of Emerging Technologies in Computer Science & Applications (IJETCAS)*, 2(2), 305–308.
- Kumar, C. R. J., & Majid, M. (2021). Floating solar photovoltaic plants in India: A rapid transition to a green energy market and sustainable future. *Energy & Environment*, 0958305X211057185. <https://doi.org/10.1177/0958305x211057185>
- Nursanti, S., Syahrul, & Tamsil, A. (2018). Alternative livelihood development strategies to increase the income of fishing households on the Kodingareng Island of Makassar. *Journal of Indonesian Tropical Fisheries*, 1(1), 49–58. <https://doi.org/10.13141/jitf.v1i1.1795>
- Radhiansyah, T. D. (2022). *Analisis kinerja PLTS terapung laut di area terisolasi* [Master's thesis, Institut Teknologi Bandung]. ITB Repository. Retrieved from <https://repository.itb.ac.id>
- Radhiansyah, T. D., Rachmilda, & Hamdani, D. (2021). Performance analysis of offshore floating PV systems in isolated areas. *Proceedings of the 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 651–655. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS53178.2021.9600926>
- Ramasamy, V., & Margolis, R. (2021). Floating photovoltaic system cost benchmark: Q1 2021 installations on artificial water bodies. *United States Department of Energy*. <https://doi.org/10.2172/1828287>
- Solcast. (2020). Solar radiation data. Retrieved August 23, 2021, from <https://solcast.com/>
- Tiwari, G. N., & Dubey, S. (2010). *Fundamentals of photovoltaic modules and their applications*. Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology (IIT) Delhi. RSC Publishing.

- Trapani, K., & Santafe, M. R. (2014). A review of floating photovoltaic installations (2007–2013). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 22(2), 220–227. <https://doi.org/10.1002/pip.2426>
- Umoette, A. T., Ubom, E. A., & Festus, M. U. (2016). Design of stand-alone offshore floating PV system for Ibeno Health Centre. *Science Journal of Energy Engineering*, 4(6), 56–61.

*PENGARUH INTERMITENSI RADIASI MATAHARI TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PLTS
TERAPUNG STUDI KASUS PULAU KODINGARENG, MAKASSAR SULAWESI SELATAN*