

## Pengujian Agrivoltaik di Desa Cijati

<sup>a</sup> Nurmand Bernard Adrianto, Andri Muhoir

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, JL. Terusan Halimun No.37, Bandung 40263, Indonesia.

e-mail: <sup>a</sup> [nurmandbernard@ukri.ac.id](mailto:nurmandbernard@ukri.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini mengkaji pemanfaatan agrivoltaik dengan model irigasi pada sektor pertanian. Metode yang digunakan adalah pemanfaatan agrivoltaik dengan model penyiraman antara panel surya dan tanaman dengan merancang prototype agrivoltaik. Objek penelitian ini adalah miniatur model fotovoltaik dengan kapasitas irigasi otomatis 12 volt DC. Diharapkan dari hasil tersebut dapat ditemukan ide untuk mengintegrasikan perangkat tenaga surya ke dalam agroekosistem yaitu agrovoltaik, memberikan kemungkinan dual land use yaitu menanam tanaman sekaligus menghasilkan listrik pada lahan yang sama untuk proses penyiraman otomatis, fotovoltaik dipasang pada ketinggian tertentu dan dalam penelitian ini fotovoltaik dengan sudut 9° masih memungkinkan tanaman tumbuh di bawahnya.

**Kata kunci:** pertanian, agrivoltaik, energi.

### Abstract

*This research examines the use of agrivoltaics with irrigation models in the agricultural sector. The method used is the use of agrivoltaics with a watering model between solar panels and plants by designing an agrivoltaic prototype. The object of this research is a miniature photovoltaic model with an automatic irrigation capacity of 12 volts DC. It is hoped that from these results an idea can be found for integrating solar power devices into agroecosystems, namely agrovoltaics, providing the possibility of dual land use, namely planting plants while generating electricity on the same land for the automatic watering process, photovoltaics installed at a certain height and in this research photovoltaics at an angle 9° still allows plants to grow below it.*

**Keywords:** agriculture, agrivoltaic, energi

---

Diterima : 10 Oktober 2023

Diperbaiki : 12 Maret 2024

Disetujui : 15 Maret 2024

Nurmand Bernard Adrianto, Andi Muhoir

Under the license CC BY-SA 4.0

---

### Pendahuluan

Dunia saat ini dipaluti berbagai masalah, dua diantaranya adalah perubahan iklim dan ledakan populasi manusia. Keduanya tak membawa kabar baik, sebab dunia akan menghadapi kekurangan air, energi, dan makanan di tahun-tahun mendatang. Kedua ancaman itu membuat para ilmuwan memutar otak untuk menemukan solusinya. Salah satu caranya adalah dengan agrivoltaik (*agrivoltaics*), yakni memanfaatkan tenaga surya untuk pertanian berkelanjutan. Agrivoltaik dianggap sebagai salah satu solusi untuk menangani perubahan iklim dan ledakan populasi manusia. Istilah ini berasal dari dua kata, yakni *agriculture* dan *photovoltaics*. Agri sendiri mengacu pada produksi pangan, sedangkan voltaik berhubungan dengan produksi energi. Jadi keduanya dikombinasikan dan membentuk agrivoltaik, yang merupakan kombinasi dari produksi tenaga surya di samping tanaman (Gischa, 2019).

Agrivoltaik adalah kombinasi sempurna antara panel surya dan tanaman di lahan pertanian. Agrivoltaik melibatkan penggabungan tanaman dengan panel fotovoltaik, dipasang dengan ketinggian yang cukup untuk memungkinkan mesin pertanian lewat di bawahnya. Tantangannya adalah menghasilkan tanaman dan energi secara bersamaan. Agrivoltaik memberikan solusi ramah lingkungan. Tumbuhan, yang dilindungi oleh panel surya dari sinar matahari tengah hari yang paling buruk, menjadi sedikit pendingin evaporatif di bentang alam (Barron et al, 2019). Mereka mengambil karbon untuk fotosintesis dengan membuka pori-pori, atau stomata, sambil membiarkan air keluar dari daunnya dan menciptakan iklim mikro yang lebih dingin.

Modul panel surya dapat kehilangan efisiensi saat beroperasi di bawah terik matahari. Panel bekerja pada tingkat yang lebih tinggi – berkat iklim mikro yang lebih dingin yang diberikan oleh tanaman. Panel, pada gilirannya, melindungi tanaman dari sengatan matahari dan dehidrasi. Kebanyakan orang akan berpikir bahwa panel surya mengambil lahan pertanian akan menjadi hal yang negatif. Alasan mengapa teknologi agrivoltaik sangat bermanfaat bagi petani, karena mereka dapat bercocok tanam dan menggunakan ruang yang sama untuk menghasilkan uang dari produksi tenaga surya. dikupas dan panel dipasang pada bantalan beton. Ini berdampak pada jumlah makanan yang sekarang dapat diproduksi oleh tanah. Sayuran seperti paprika, brokoli, dan chard Swiss hanya dapat menghasilkan sekitar 60% dari volume yang dihasilkan di bawah sinar matahari penuh. Selain itu, panel surya hanya menawarkan sekitar setengah dari kapasitas pembangkit listrik per acre, dan biayanya lebih tinggi.

Artikel ini melaporkan perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe agrivoltaik yang dilakukan oleh mahasiswa dan dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Kebangsaan Republik Indonesia. Pertama-tama kemiringan sudut photovoltaic ditentukan dalam desain. Setelah desain selesai, prototipe pun dibuat. Prototipe kemudian diuji fungsinya di Desa Cijati Cianjur Propinsi Jawa Barat. Hasil pengujian pun dianalisis untuk disimpulkan prestasinya.

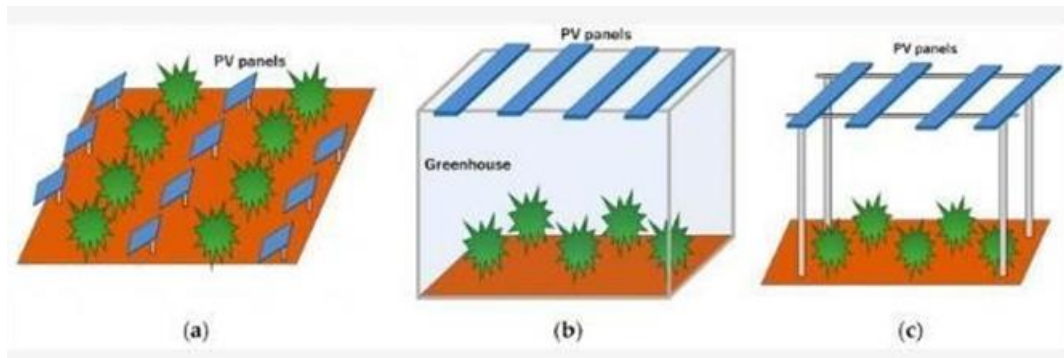
### **Tinjauan Teoritis**

Agrivoltaik merupakan konsep menggabungkan penggunaan lahan pertanian (*agriculture*) dengan produksi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atau solar fotovoltaik (*solar photovoltaic, solar PV*). Solar PV terus mengalami peningkatan kapasitas terpasang di seluruh dunia. Alasannya sederhana, harga yang sudah kompetitif dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang merupakan pembangkit listrik fosil termurah. Tahun 2018, *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) mencatat bahwa ketika harga listrik dari PLTU masih diantara 11,2 - 14,7 cent USD/kWh, harga listrik solar PV sudah lebih murah, 3,7 - 6,6 cent USD/kWh. Misalnya di Dubai, lelang proyek terkini solar PV, harga listriknya hanya 1,35 cent USD/kWh. Dengan kebutuhan energi yang meningkat, dan harga solar PV yang sudah mengungguli pembangkit fosil, tidak heran banyak negara membangun solar PV sebanyak-banyaknya untuk memperoleh energi bersih. Pada beberapa negara yang lahannya tidak luas terjadi konflik antara penggunaan lahan untuk solar PV atau untuk produksi pangan. Untuk itu dicarilah teknologi yang bisa menengahi keduanya (Harshavardhan & Pearce, 2016), yakni pangan tercukupi dan energi bersih tetap didapatkan. Apalagi untuk membangun solar PV, dibutuhkan luasan lahan yang besar. Biasanya, lokasi yang paling cocok untuk solar PV ini adalah lahan yang dapat sinar matahari dengan durasi panjang dan tutupan awan minimal (Dupraz et al, 2010). Lahan ini biasanya berupa lahan pertanian, namun tidak mungkin lahan tersebut digunakan semua untuk solar PV.

### **Konsep agrivoltaik**

Ada tiga pola pengembangan agrivoltaik. Konsep pertama bahwa panel surya ditempatkan diantara baris lahan kosong tanaman, sudah dikenal sejak tahun 1980an (Goetzberger, 1982). Konsep kedua dengan menggunakan struktur rumah kaca, yang bagian atasnya ditambahkan panel surya dengan jarak tertentu di antaranya. Dan konsep ketiga, yaitu

membangun struktur panel surya diatas tanaman (*stilt-mounted PV*), juga dengan jarak tertentu di antaranya. Jarak ini penting dibuat agar sinar matahari dapat sampai pada tanaman. Gambaran tentang sistem fotovoltaik dapat dilihat di Gambar 1.

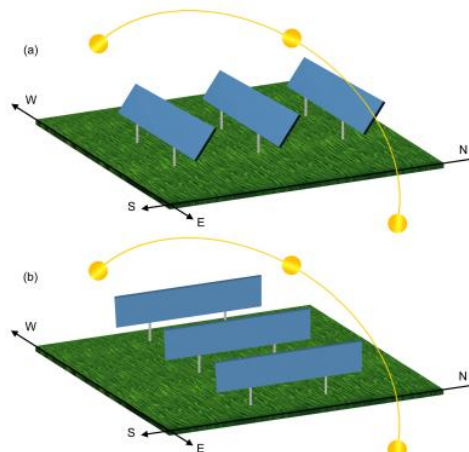


Gambar 1. Ilustrasi sistem fotovoltaik (Goetzberger, 1982)

Agrivoltaik cocok diterapkan pada lahan pertanian dengan tanaman yang toleran terhadap efek bayangan dari panel surya, namun konsep agrivoltaik tidak cocok untuk tanaman yang butuh sinaran matahari yang banyak.

**Sudut fotovoltaik**

Pengaruh perubahan arah sudut sel surya menggunakan intensitas cahaya energi matahari terhadap tegangan dan juga arah dari datangnya matahari itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam penelitian ini arah sudut yang tepat adalah pada sudut sinar datang matahari terletak pada sudut 9°. Performance PVT menggunakan berbagai macam reflector. Berdasarkan hasil uji coba ekperimental di dapat Efisiensi listrik tahunan rata-rata ditemukan 7,2%, 7,6% dan 6,6% masing-masing. Karena kaca dengan transparansi 92% digunakan diperhitungan, penurunan kinerja listrik untuk PVT yang mengkilap dibandingkan Untuk PVT laminasi konvensional adalah persis apa yang diharapkan dari tambahan Kerugian refleksi, yang berarti PVT yang mengkilap menjadi suhu tambahan Efek dibatalkan sepanjang tahun, sedangkan untuk PVT yang tidak berlabel efek suhu positif.



Gambar 2. Arah datang matahari dengan panel: (a) menghadap selatan, dan (b) horizontal (Katsikogiannis et al., 2022)

Daya listrik adalah kemampuan atau kapasitas untuk melakukan suatu usaha atau energi. untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari solar cell pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus (Risdiyanto et al, 2020):

$$P = VI \tag{1}$$

di mana  $P$  adalah daya (watt, W),  $V$  adalah gaya gerak listrik (volt, V), dan  $I$  adalah arus listrik (ampere, A)

Pengaruh posisi modul surya terhadap pergerakan arah matahari Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel. Posisi relatif matahari terhadap modul surya (*photovoltaic*) di bumi bisa dijelaskan dalam beberapa sudut (Abidin et al, 2021) antara lain:

a. *Latitude* ( $\phi$ ) (garis lintang). Garis lintang adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif;  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ . Hal ini pengujian modul surya dilakukan dengan letak geografisnya berada pada  $7^\circ\text{LS} - 110^\circ\text{BT}$ .

b. Deklinasi ( $\delta$ ). Deklinasi adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, utara positif  $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$ . Deklinasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = 23,45^\circ \sin 2\phi \quad (2)$$

c. Kemiringan ( $\beta$ ). Kemiringan adalah sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal. Slope (kemiringan) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\beta = \tan^{-1} (\tan \theta_z \times \cos \gamma_s) \quad (3)$$

d. Sudut permukaan *azimuth* ( $\gamma$ ). Sudut permukaan azimuth adalah proyeksi kebidang horizontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif;  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ .

e. Sudut jam matahari ( $\omega$ ), adalah sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 150 per jam; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.

$$\omega = (t_s - 12) \quad (4)$$

di mana  $t_s$  adalah waktu jam.

f. Sudut datang ( $\theta$ ), adalah sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertical kolektor. Sudut datang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\theta = \cos^{-1} (1 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (5)$$

g. Sudut *zenith* ( $\theta_z$ ), adalah sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari. Sudut zenith dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

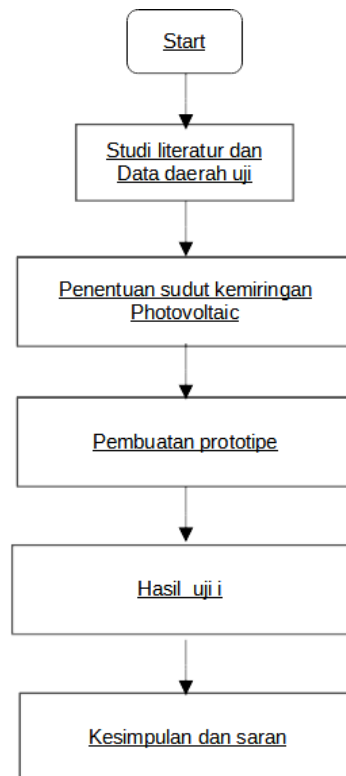
$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \phi \times \sin \delta) \quad (6)$$

h. Sudut ketinggian matahari ( $\alpha_s$ ). Sudut ketinggian matahari adalah sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang pada modul surya.

i. Sudut azimuth matahari ( $\gamma_s$ ). Sudut ini merupakan sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.

### Metodologi Penelitian

Secara garis besar, tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini didiagramalirkan dalam Gambar 3. Mengikuti diagram alir dalam gambar ini, mula-mula dilakukan penentuan sudut kemiringan panel. Kemudian prototipe pun dibuat. Prototipe pun diujikan dan disimulasikan selama tiga hari. Untuk prototipe digunakan panel surya dengan luas  $0,25 \text{ m}^2$  dan arus input panel seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4. Prototipe yang dibuat dapat dilihat dalam Gambar 5.



Gambar 3. Diagram alir penelitian



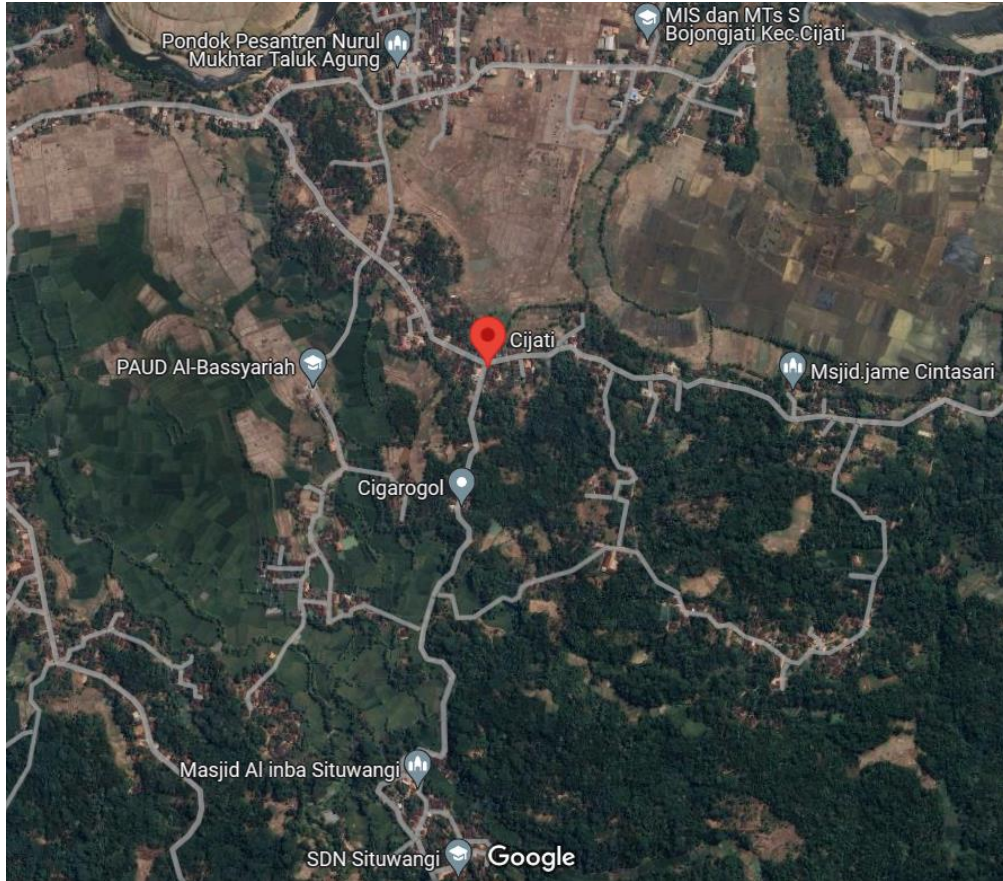
Gambar 4. Arus input panel yang digunakan



Gambar 5. Prototipe yang dibuat dan diuji

### Hasil dan Pembahasan

Dalam desain, sudut kemiringan fotovoltaiк dipilih sebesar  $9^\circ$ . Untuk pengujian prototipe yang dibuat dipilih lokasi Desa Cijati Kabupaten Cianjur Jawa Barat, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Desa ini dipilih dengan pertimbangan bahwa desa ini terletak di kawasan pertanian dan persawahan yang luas, dengan pertimbangan bahwa kawasan tersebut akan lebih produktif dan penggunaan energi listrik konvensional akan lebih hemat apabila menerapkan teknik agrivoltaiк. Uji coba dilakukan selama tiga hari dengan menempatkan tanaman di bak prototipe.



Gambar 6. Desa Cijati Cianjur Jawa Barat, tempat pengujian prototipe agrovoltaik

Hasil uji coba dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil rata-rata pengukuran panel surya selama tiga hari di bulan juni 2023

Jam saat pengukuran (WIB)	Output Panel Surya			Output Baterai		
	$V_{mp}$ (V)	$I_{mp}$ (A)	$P_{mpp}$ (W)	$V_{mp}$ (V)	$I_{mp}$ (A)	$P_{mpp}$ (W)
8.00	16,5	1,0	16,5	13,1	1,0	13,1
9.00	16,7	2,6	43,42	13,3	1,8	23,94
10.00	16,5	2,8	46,2	13,3	1,9	25,27
11.00	16,8	5,4	90,72	13,4	2,6	34,84
12.00	16,5	4,8	79,2	13,3	2,8	37,24
13.00	16,4	3,5	57,4	13,2	2,7	35,64
14.00	16,2	2,1	34,02	13,4	1,2	16,08
15.00	16,2	1,7	27,54	13,1	0,8	10,48
16.00	15,6	1,0	15,6	12,8	0,6	7,68
17.00	15,6	0,6	9,36	12,8	0,5	6,4
Rata-rata daya output:		Panel surya	42,00 W	Baterai	21,07 W	

Dari hasil yang dilaksanakan selama tiga hari terlihat bahwa energi listrik konvensional –dalam hal ini baterai– yang digunakan cenderung lebih kecil daripada energi listrik panel surya yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa prototipe agrovoltaik yang dibuat di sini mampu menghemat biaya listrik apabila digunakan, dan kemudian dapat terarah dengan baik. Dengan

demikian dapat diharapkan bahwa penggunaan energi listrik fotovoltaik mampu untuk menjalankan pompa untuk keperluan pertanian. Kalau ini dilaksanakan secara besar-besaran maka produksi pertanian akan meningkat karena ketergantungan kegiatan pertanian pada musim dapat diatasi.

### Kesimpulan

Dalam penelitian ini desain dan pembuatan prototipe agrivoltaik dengan kemiringan panel surya 9° telah dibuat. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Perancangan prototipe agrivoltaik dapat digunakan sebagai acuan awal untuk pembuatan agrivoltaik dalam skala besar.
- b. Produksi energi photovoltaic dengan luas 0,25 m<sup>2</sup> mempunyai rata-rata dalam 3 hari mulai pukul 08.00 WIB–17.00 WIB menghasilkan energi listrik 42,00 watt.
- c. Penerapan agrivoltaik layak dipertimbangkan sebagai pemenuhan energi listrik di pedesaan dan mengurangi ketergantungan pertanian pada musim.

### Daftar Pustaka

- Abidin, M.A., Mahyuddin, M.N., & Zainuri, M.A. (2012). Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review. *Sustainability*, 13, hal-7846. MDPI.
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., ... & Macknick, J. E. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, Vol. 2, No. 9, pp. 848-855.
- Risdiyanto, A., Kristi, A. A., Susanto, B., Rachman, N. A., Junaedi, A., & Mukti, E. W. (2020). Implementation of Photovoltaic Water Spray Cooling System and Its Feasibility Analysis. In *2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, IEEE Conference, pp. 88-93.
- Bloomberg, N. E. F. (2018). *New energy outlook*. Bloomberg NEF: London, UK.
- Dupraz, C., Ferard, Y., Dufour, L., Talbot, G., Nogier, A., & Marrou, H. (2010). Combining solar photovoltaic panel and food corps for optimizing land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 10, pp. 2725-2732. Elsevier.
- Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy*, Vol.1, No. 1), pp. 55-69.
- Gischa, S. (2019). *Indonesia Sebagai Negara Agraris, Apa Artinya?* Diakses pada 12 Desember 2019. <https://www.kompas.com/skola/read/2019/12/12/172322669/indonesia-sebagai-negara-agraris-apa-artinya?page=all>.
- Harshavardhan, D., & Pearce, J. (2016). The Potential of Agrivoltaic System. *Hal Open Science*, 54, hal-02113575.
- Katsikogiannis, O. A., Ziar, H., & Isabella, O. (2022). Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. *Applied Energy*, Vol. 309, hal-118475. Elsevier.