

Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII

Husein Mubarak, Mohd. Brado Frasetyo, Etika Nur'Aini
Pusat Studi Energi, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirimkan 19 Agustus 2022
Direvisi 17 September 2022
Diterima 10 Oktober 2022

Kata Kunci:

Energi Terbarukan;
Photovoltaic;
Monitoring;
Analisis Energi;
Panel Surya

Penulis Korespondensi:

Husein Mubarak,
Pusat Studi Energi FTI UII,
Jl. Kaliurang km 14,5,
Indonesia.
Surel/*Email*:
mubarak.husein@uii.ac.id

ABSTRACT / ABSTRAK

Global warming is one of the problems facing the world today. One solution to this problem is to utilize new and renewable energy-based power plants (EBT). The contribution of this research is to analyze the use of energy produced by PLTS FTI UII, as well as the effect of climate change on the production of PLTS FTI UII. The research steps are collecting data, calculating the value of PV mini-grid efficiency, and conducting climate change analysis on PV mini-grid production. The research data is the amount of energy production and energy consumption of PLTS FTI UII for the period March 2017 to July 2022. Efficiency calculations are carried out by calculating the ratio of production and total capacity of PLTS. Analysis of the effect of climate change on PV mini-grid energy production is to compare the GHI potential data with the total production of PV mini-grid each year. The results of the study show that the lowest level of production and efficiency of PLTS is in 2018 and the highest is in 2019. The factor that affects the low efficiency is the occurrence of many problems in 2018 so that it requires a lot of maintenance processes. This process will affect the production of PLTS so that the conversion process of solar energy decreases. Furthermore, the factor that causes the low efficiency is due to global warming which causes the climate to become uncertain and the production of carbon dioxide increases. Thus, energy production in PLTS decreases. From some of these analyzes, it can be concluded that the factors causing the decline in production and efficiency in the PLTS FTI UII system are the excessive and long maintenance process of the PLTS system, as well as climate change that occurs around the PLTS FTI UII system. The results of this study can be used for the evaluation process of the development of the PLTS FTI UII system in the future.

Pemanasan global merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi dunia saat ini. Salah satu solusi terhadap permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan (EBT). Kontribusi penelitian ini adalah menganalisis pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh PLTS FTI UII, serta pengaruh perubahan iklim terhadap produksi PLTS FTI UII. Langkah penelitian yaitu pengumpulan data, perhitungan nilai efisiensi PLTS, serta melakukan analisis perubahan iklim terhadap produksi PLTS. Data penelitian adalah jumlah produksi energi serta konsumsi energi PLTS FTI UII dengan periode Maret 2017 sampai Juli 2022. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara menghitung rasio produksi dan total kapasitas PLTS. Analisis pengaruh perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS adalah membandingkan data potensi GHI dengan total produksi PLTS di setiap tahun. Hasil dari penelitian menunjukkan tingkat produksi dan efisiensi terendah PLTS adalah tahun 2018 dan tertinggi tahun 2019. Faktor yang mempengaruhi rendahnya efisiensi adalah terjadinya banyak masalah pada tahun 2018 sehingga mengharuskan banyak proses pemeliharaan. Proses tersebut akan mempengaruhi produksi PLTS sehingga proses konversi energi matahari menjadi menurun. Selanjutnya, faktor yang menyebabkan rendahnya efisiensi tersebut dikarenakan adanya pemanasan global yang mengakibatkan iklim menjadi tidak menentu dan meningkatnya produksi karbon dioksida. Sehingga, produksi energi pada PLTS menjadi menurun. Dari beberapa analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor penyebab menurunnya produksi dan efisiensi pada sistem PLTS FTI UII adalah proses pemeliharaan sistem PLTS yang terlalu banyak dan lama, serta perubahan iklim yang terjadi di sekitar sistem PLTS FTI UII. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk proses evaluasi pembangunan sistem PLTS FTI UII di masa depan.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Sitasi Dokumen ini:

H. Mubarak, M. B. Frasetyo, and E. Nur'Aini, "Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya FTI UII," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 51-61, 2022, DOI: [10.12928/biste.v4i2.6487](https://doi.org/10.12928/biste.v4i2.6487)

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan permasalahan yang dihadapi dunia saat ini [1][2]. Permasalahan tersebut memicu berbagai aksi dalam meminimalisir emisi serta penghematan energi, terutama di Indonesia. Untuk melaksanakan upaya tersebut, pemerintah mengeluarkan beberapa regulasi terkait strategi untuk memfasilitasi listrik berbasis energi baru terbarukan (EBT). Salah satu contoh regulasi tersebut adalah adanya Rancangan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2021-2030 [3]. Kemudian contoh lain ada pada aturan nomor 49 tahun 2018 dari kementerian energi dan sumber daya mineral (ESDM) yang mendukung pengembangan EBT di Indonesia [4].

Pengembangan implementasi EBT dapat direalisasikan dengan berbagai macam cara. Salah satu contoh adalah membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) [5][6][7][8][9]. Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah membuka peluang kepada para pelanggan untuk membangun PLTS secara mandiri di atas bangunan masing-masing pelanggan. Dengan adanya peluang tersebut, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia (FTI UII) telah membangun PLTS di salah satu gedung fakultas pada tahun 2017.

Pembangunan PLTS FTI UII bertujuan untuk meningkatkan produksi energi sehingga dapat digunakan pada beberapa perangkat elektronik di FTI UII. Selanjutnya, PLTS FTI UII juga difasilitasi dengan *monitoring system* yang berfungsi untuk mengukur energi yang diproduksi serta digunakan untuk kebutuhan kelistrikan gedung. Dengan terpasangnya PLTS beserta *monitoring system* tersebut, perekaman data produksi energi pada PLTS FTI UII dapat dilakukan. Dengan diimplementasikannya sistem PLTS di FTI UII, dampak positif seperti menghasilkan energi hijau dan penghematan energi diharapkan dapat dicapai. Akan tetapi, sistem PLTS harus dianalisis untuk mengetahui apakah dampak tersebut benar dihasilkan oleh sistem [10][11][12]. Sehingga, untuk mengetahui apakah sistem PLTS bisa memenuhi tujuan tersebut, analisis kinerja suatu sistem PLTS dalam produksi energi harus dilakukan.

Terdapat beberapa penelitian yang telah melakukan analisis penggunaan energi PLTS. Penelitian yang dilakukan Carley dkk. [13] melakukan analisis energi dengan cara mengembangkan teknologi dan aturan terkait produksi dan konsumsi energi. Analisis tersebut mengeksplorasi hubungan antara energi dan pembangunan ekonomi, meninjau literatur, dan menawarkan wawasan dan perspektif tentang hubungan tersebut. Selanjutnya, penelitian dari Alexander dkk. [14] melakukan analisis kinerja tahunan dan tingkat rugi-rugi dari sebelas sistem PLTS yang terhubung ke jaringan. Teknik statistik dekomposisi tahunan klasik diterapkan pada rasio kinerja bulanan yang dibangun dari pengukuran lapangan selama lima tahun pertama pengoperasian PLTS. Selanjutnya, penelitian dari Mohamed B. dkk. [15] meneliti tentang pengaruh perubahan iklim terutama penyinaran matahari dan suhu terhadap produktivitas panel PLTS. Kinerja dan keandalan sistem PLTS yang dihasilkan kemudian digunakan untuk peningkatan desain dan pengembangan penelitian. Analisis sistem PLTS pada aplikasi gedung bandara dilakukan oleh Hermawan [16], penelitian ini menganalisis pengaruh radiasi matahari, faktor bayangan, debu, temperatur dan efisiensi inverter terhadap produksi sistem PLTS yang dipasang. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Yang, dkk. [17] melakukan optimisasi elemen pada struktur PLTS untuk meningkatkan performa serta dampak ekonomi yang bisa didapatkan. Penelitian aplikasi sistem PLTS pada institusi pendidikan juga dilakukan oleh Usman, dkk. [18] mereka berfokus pada desain, kinerja dan analisis ekonomi sistem PV *grid-tied* 40kWp yang dipasang di atap gedung ICT di sekitar Universitas Pertanian, Faisalabad. Selanjutnya, penelitian dari Katerina, dkk. [19] dan Arjun, dkk. [20] melakukan investigasi mengenai peluang penggunaan PLTS untuk kebutuhan rumah tangga. Produksi energi bulanan rata-rata energi PLTS dan konsumsi energi digunakan untuk melakukan analisis biaya-manfaat untuk skenario yang berbeda.

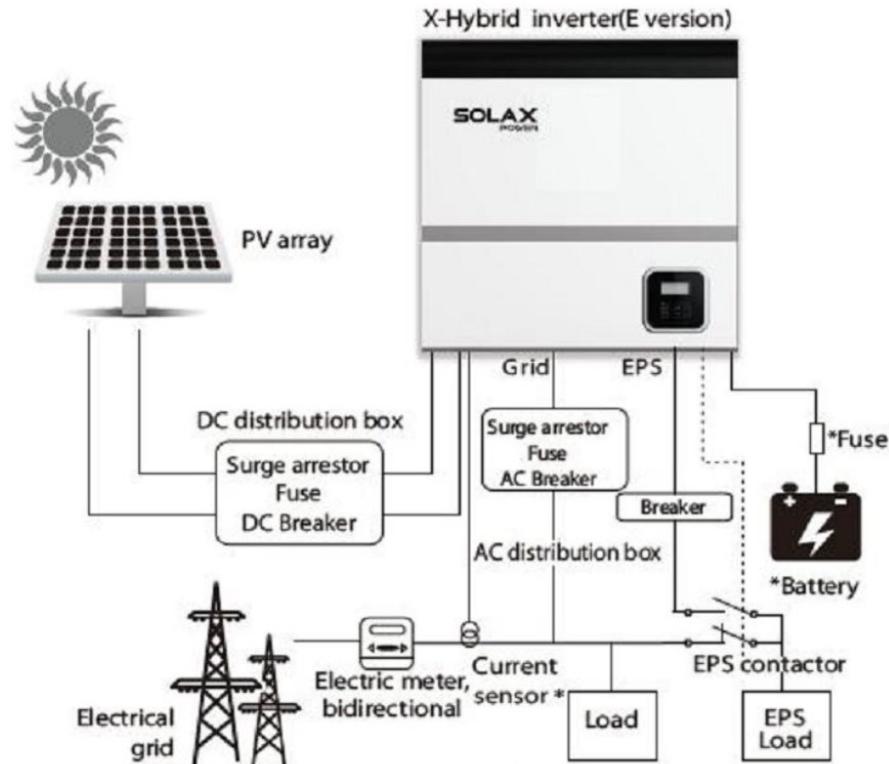
Pada penelitian ini, kontribusi yang diberikan adalah menganalisis pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh PLTS FTI UII, serta pengaruh perubahan iklim terhadap produksi PLTS FTI UII. Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa langkah penelitian yaitu pengumpulan data, perhitungan nilai efisiensi PLTS, serta melakukan analisis perubahan iklim terhadap produksi PLTS. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah produksi energi serta konsumsi energi PLTS FTI UII dengan periode Maret tahun 2017 sampai bulan Juli 2022 (5 Tahun 5 Bulan). Selanjutnya, perhitungan efisiensi dilakukan dengan cara menghitung rasio produksi dengan total kapasitas PLTS. Analisis pengaruh perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS dilakukan dengan cara membandingkan data potensi GHI dengan total produksi PLTS di setiap tahun. Selanjutnya, jurnal penelitian ini memiliki beberapa bab. [Bagian 2](#) menjelaskan tentang metode penelitian yang terdiri dari deskripsi sistem, dan metode analisis. Pada [Bagian 3](#) akan dijelaskan tentang hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan. Serta [Bagian 4](#) berisi tentang kesimpulan penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang.

2. METODE

2.1. Deskripsi Sistem

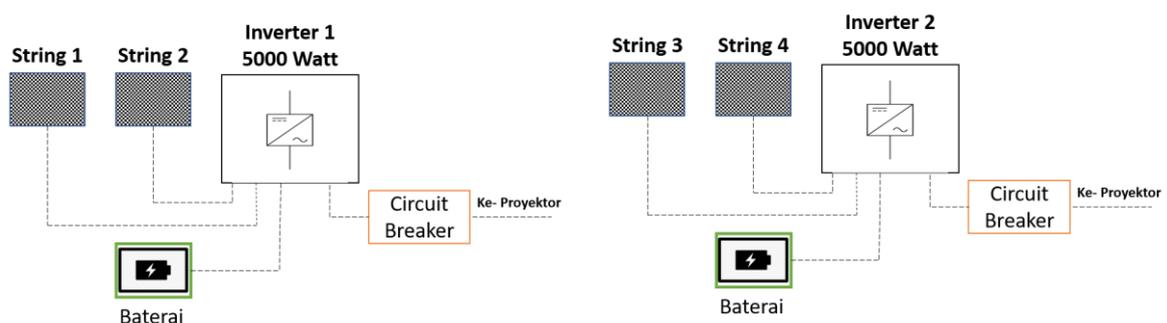
Pada penelitian ini, sistem PLTS FTI UII digunakan sebagai objek penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS FTI UII. PLTS FTI UII merupakan

sistem pembangkit listrik tenaga surya yang memiliki operasi *hybrid*. Sistem PLTS ini dapat terkoneksi dan terputus dari jaringan listrik utilitas (PLN). Pada sistem PLTS ini, terdapat beberapa komponen utama yaitu panel surya atau *photovoltaic* (PV), sensor arus, *breaker*, baterai, dan *surge arrester*. Beberapa komponen tersebut diintegrasikan menjadi satu sistem PLTS yang berfungsi untuk menyuplai beban listrik di Gedung FTI UII. *Wiring diagram* PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. *Wiring diagram* PLTS FTI UII

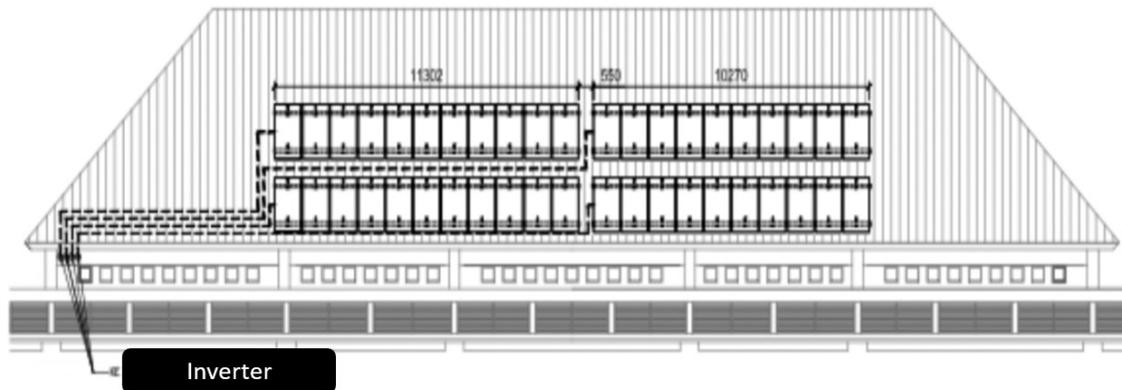
Modul PV yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 10 kWp yang terdiri dari 2 sistem inverter (2×5000 kWp). Skematik sistem PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Satu inverter pada sistem PLTS FTI UII mencakup 2 string (kelompok) modul dengan total 21 panel PV (seri dan parallel), sehingga total panel yang terpasang adalah sebanyak 42 panel. Setiap modul memiliki kapasitas sebesar 240 Wp. Modul PV dipasang pada atap gedung FTI UII bagian utara seperti pada [Gambar 3](#).



Gambar 2. Instalasi Modul PV di Gedung FTI UII.

Sistem PLTS FTI UII awalnya dirancang untuk tujuan penghematan penggunaan energi listrik utilitas (PLN). Akan tetapi, kapasitas PLTS yang kecil membuat tujuan tersebut dialihkan untuk kebutuhan penelitian dan pembelajaran mahasiswa. Di samping itu, sistem digunakan untuk menyuplai beban perangkat listrik. Perangkat listrik yang digunakan sebagai beban adalah sejumlah LCD proyektor di setiap lantai gedung. Jumlah LCD proyektor yang disuplai oleh PLTS FTI UII adalah sebanyak 38 buah. Masing-masing proyektor

memiliki daya sebesar 250 W, sehingga total beban adalah sebesar 9,5 kW. Contoh beban LCD proyektor yang disuplai oleh PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 3. Layout Instalasi Modul PV di Gedung FTI UII.



Gambar 4. LCD Proyektor FTI UII Sebagai Beban PLTS.

2.2. Metode Analisis

Energi merupakan salah satu indikator dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs), yang mana energi harus bersifat *affordable*, *reliable*, *sustainable*, dan *modern* [21]. Pada penelitian ini, terdapat beberapa langkah penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis pemanfaatan energi pada PLTS FTI UII. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada [Gambar 5](#). Berdasarkan diagram alir pada [Gambar 5](#), maka langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengumpulkan data sistem PLTS FTI UII berupa komponen, *wiring diagram*, kapasitas PLTS dan beban.
- Mengumpulkan data potensi energi matahari di FTI UII berupa data *Solar Global Horizontal Irradiation* (GHI).
- Mengumpulkan data produksi dan konsumsi energi melalui sistem monitoring dengan periode waktu Maret tahun 2017 sampai bulan Juli 2022 (5 Tahun 5 Bulan).
- Menghitung efisiensi sistem PLTS FTI UII berdasarkan kapasitas, produksi, konsumsi energi. Data yang diukur adalah produksi energi (kWh) yang dihasilkan PLTS, jumlah konsumsi energi (kWh) dan efisiensi (%). Nilai efisiensi PLTS akan dihitung menggunakan perbandingan kapasitas total PLTS dengan daya yang dihasilkan seperti pada [Persamaan \(1\)](#). Berdasarkan *rule of thumb* di Indonesia, total energi sebuah

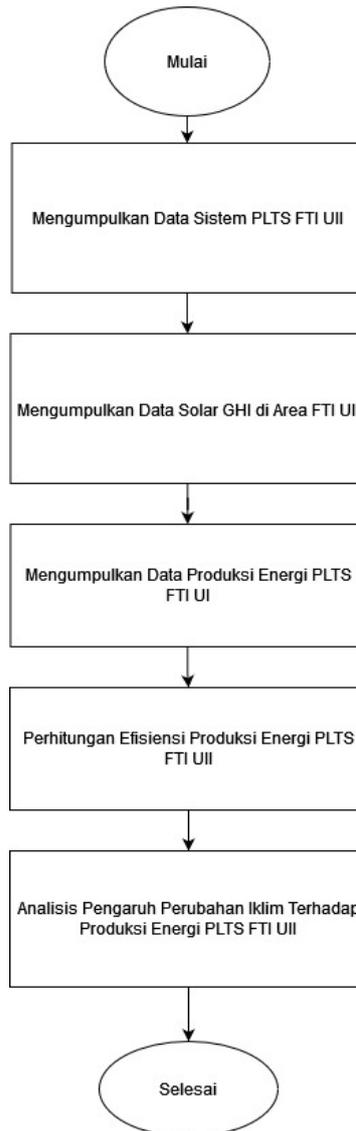
PLTS dalam satu hari dihitung dalam 4 jam dari kapasitas total sistem, sehingga dapat dihitung menggunakan [Persamaan \(2\)](#).

- Menganalisis hasil perhitungan efisiensi sistem dengan mempertimbangkan pengaruh perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS.

$$Eff = \frac{E_{out}}{E_{inv} * Bulan Aktif} \quad (1)$$

$$E_{inv} = P_{inv} * 4 Jam \quad (2)$$

Dengan nilai Eff , E_{out} , E_{inv} , P_{inv} secara berurutan adalah nilai Efisiensi PLTS (%), Produksi Energi PLTS (kWh), Kapasitas Energi Inverter Dalam Satu Hari (kWh/hari), dan Kapasitas Inverter (kWp).

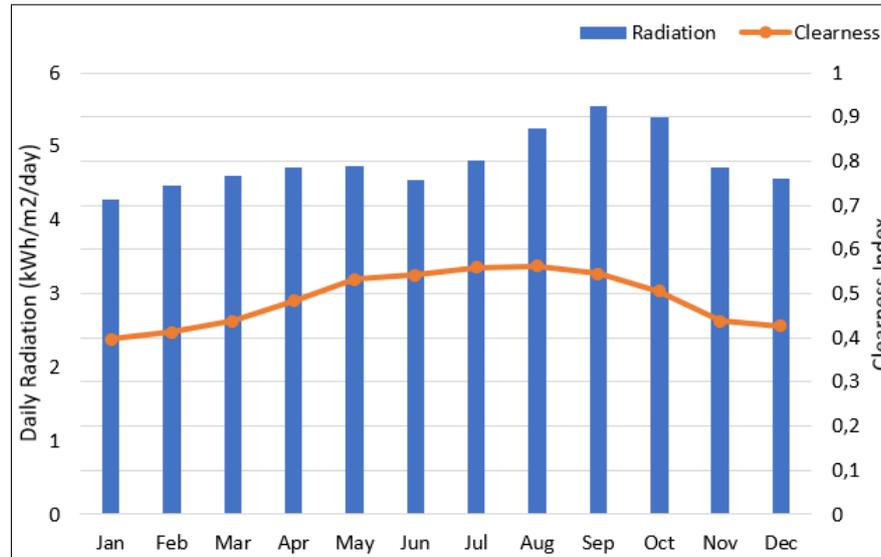


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Potensi Solar GHI di FTI UII

Data potensi *solar* GHI digunakan untuk melihat potensi energi yang dapat dihasilkan oleh sebuah sistem PLTS. Berdasarkan data dari Global Solar Atlas, area FTI UII memiliki potensi *solar* GHI sebesar 1798,4 kWh/m² atau setara dengan 5 kWh/m²/hari. Selanjutnya, sumber lain yaitu NASA *Prediction of Worldwid Energy Resources* (POWER) memiliki hasil bahwa PLTS FTI UII memiliki potensi tahunan rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari. Secara lebih rinci, data *solar* GHI di area FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 6](#).



Gambar 6. Potensi Solar GHI di FTI UII.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat bahwa nilai radiasi mengalami peningkatan pada bulan Agustus sampai Oktober. Nilai tertinggi ada pada bulan September dengan rata-rata radiasi sebesar 5,2 kWh/ m²/hari. Selanjutnya, terdapat data *clearness index* yang merepresentasikan tingkat bebasnya sinar matahari mengenai PLTS tanpa dihalangi oleh awan. Nilai *clearness index* pada bulan Mei sampai Oktober lebih tinggi dibandingkan dengan bulan November sampai April. Hal tersebut disebabkan oleh musim yang ada di Indonesia, yaitu pada bulan November sampai April cenderung terjadi musim hujan sedangkan bulan Mei sampai Oktober merupakan musim kemarau. Sehingga, berdasarkan karakteristik tersebut, analisis pengaruh perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS dapat dilakukan dengan representasi data *solar* GHI di FTI UII tersebut.

3.2. Hasil dan Analisis Produksi Energi PLTS FTI UII

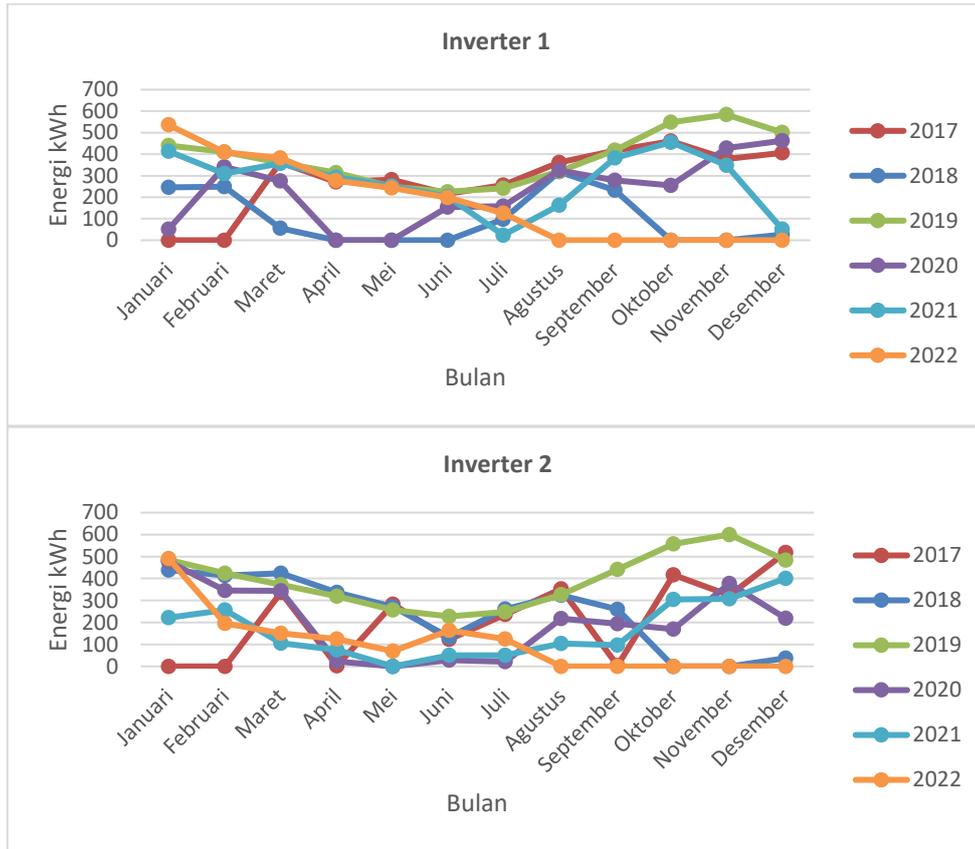
Sistem PLTS FTI UII memiliki sistem *monitoring* yang mengukur produksi dan konsumsi energi. Data dari sistem *monitoring* tersebut direkam pada dua inverter yang terpasang pada sistem PLTS. Masing-masing inverter memiliki kapasitas 5 kW sehingga total daya yang dapat dihasilkan sistem PLTS FTI UII adalah 10 kW. Pada penelitian ini, data yang direkam adalah produksi energi setiap bulan dari tahun 2017 hingga 2022. Data produksi energi PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 7](#). Selanjutnya, Total produksi dan konsumsi energi pada PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Gambar 8](#).

Berdasarkan data produksi PLTS pada gambar 8, terdapat beberapa bulan yang memiliki produksi 0. Nilai tersebut disebabkan oleh 2 keadaan, yaitu sistem belum beroperasi (Januari-Februari 2017 dan Agustus-Desember 2022) serta sistem dalam keadaan *maintenance* (seperti data inverter 1, bulan April-Juni 2018). Selanjutnya, hasil pengukuran pada [Gambar 9](#) menunjukkan bahwa energi yang dikonsumsi pada PLTS FTI UII dimanfaatkan sebanyak 100% dari total produksi energi. Artinya, semua energi yang diproduksi PLTS langsung digunakan untuk suplay energi listrik pada LCD Proyektor di setiap ruangan gedung FTI UII. Nilai produksi tertinggi pada sistem PLTS FTI UII terdapat pada tahun 2019 baik itu pada inverter 1 ataupun inverter 2.

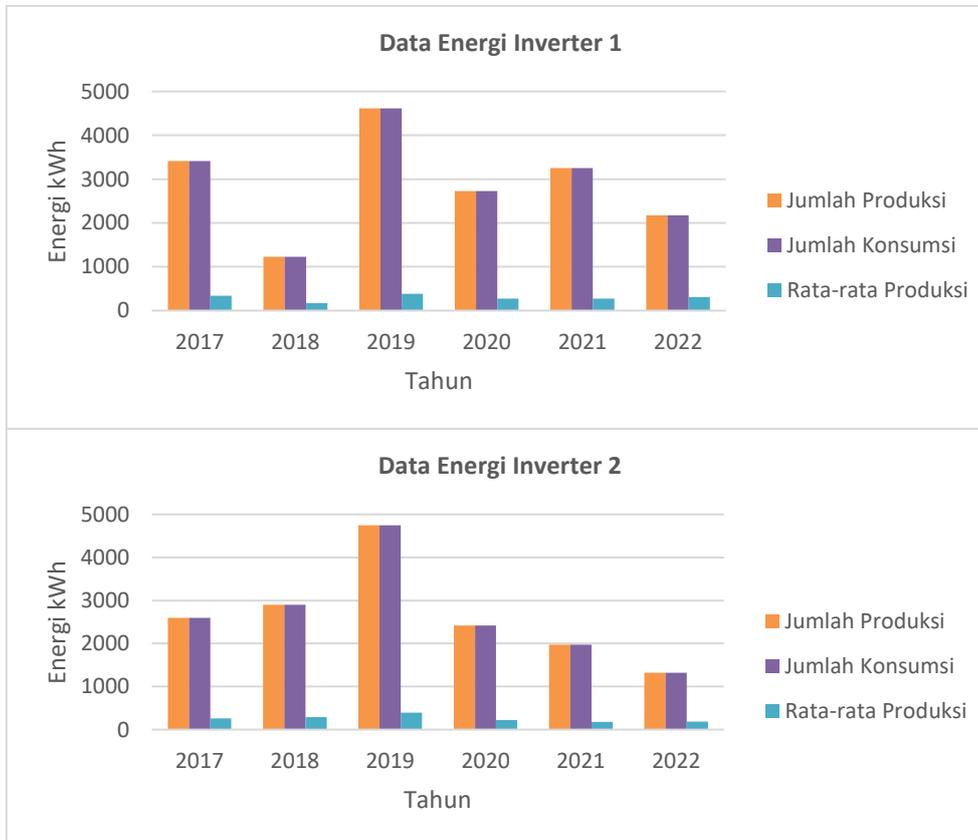
Perhitungan nilai efisiensi sistem PLTS FTI UII dilakukan menggunakan [Persamaan \(1\)](#) dan [\(2\)](#). Berdasarkan dari persamaan tersebut, nilai kapasitas energi inverter dalam hari atau bulan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_{inv} &= P_{inv} * 4 \text{ Jam} \\
 &= 5 \text{ kWp} * 4 \text{ Jam} \\
 &= 20 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \text{ atau } 600 \frac{\text{kWh}}{\text{bulan}}
 \end{aligned}$$

Sehingga, nilai efisiensi PLTS FTI UII dapat dilihat pada [Tabel 1](#) dan [Gambar 9](#).



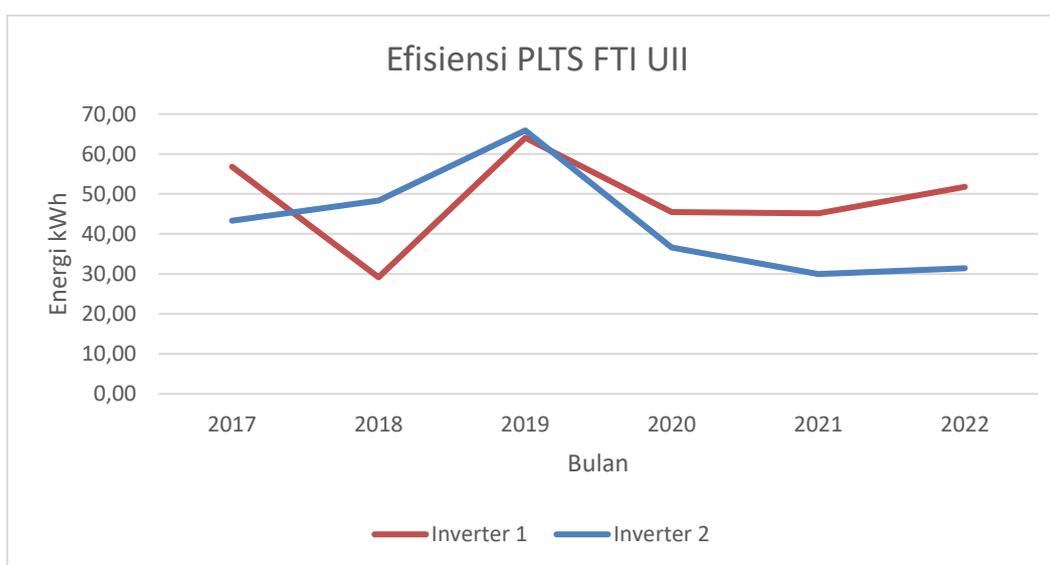
Gambar 7. Data Produksi Energi PLTS FTI UII



Gambar 8. Total Produksi dan Konsumsi Energi PLTS FTI UII

Tabel 1. Nilai Efisiensi PLTS FTI UII

Tahun	Kapasitas Energi Inverter (kWh/Bulan)	Jumlah Bulan Aktif		Total Energi		Efisiensi (%)	
		Inverter 1	Inverter 2	Inverter 1	Inverter 2	Inverter 1	Inverter 2
2017	600	10	10	3410,3	2599,3	56,84	43,32
2018	600	7	10	1224,6	2898,3	29,16	48,31
2019	600	12	12	4611,7	4744,3	64,05	65,89
2020	600	10	11	2729,8	2417,7	45,50	36,63
2021	600	12	11	3251,9	1977,5	45,17	29,96
2022	600	7	7	2173	1320,1	51,74	31,43



Gambar 9. Grafik Efisiensi Sistem PLTS FTI UII

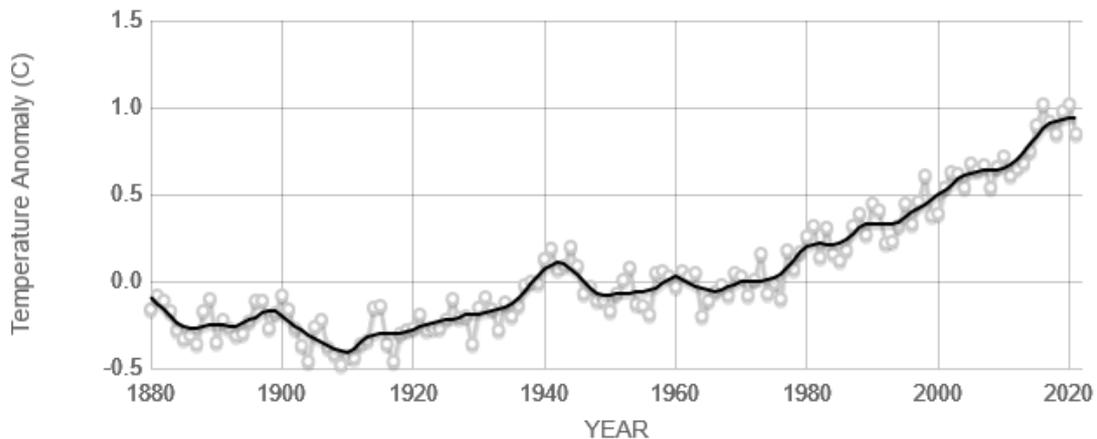
Tabel 1 merepresentasikan tabel perhitungan efisiensi PLTS UII dengan cara menghitung rasio produksi dan kapasitas inverter berdasarkan Persamaan (1). Nilai kapasitas energi inverter per bulan dihitung menggunakan Persamaan (2), hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas inverter di setiap tahun tidak berubah yaitu 600 kWh/bulan. Tabel tersebut juga menampilkan total jumlah bulan yang aktif inverter di sepanjang tahun. Jumlah tersebut diberikan berdasarkan jumlah bulan PLTS menghasilkan energi di setiap bulannya. Selanjutnya, terdapat total energi yang diakumulasi pada setiap PLTS di setiap tahun. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi sistem, didapatkan bahwa efisiensi tertinggi terdapat pada tahun 2019 untuk inverter 1 dan inverter 2. Sedangkan, efisiensi terendah berada pada tahun 2018 untuk inverter 1. Rendahnya efisiensi PLTS pada tahun 2018 dikarenakan nilai produksi energi PLTS sangat rendah jika dibandingkan dengan kemampuan produksinya. Faktor lain yang mempengaruhi rendahnya efisiensi adalah terjadinya banyak masalah pada tahun 2018 sehingga mengharuskan banyak proses pemeliharaan. Proses pemeliharaan tersebut akan mempengaruhi produksi PLTS sehingga proses konversi energi matahari menjadi menurun.

3.3. Pengaruh Iklim Terhadap Produksi Energi PLTS FTI UII

Analisis pengaruh iklim terhadap produksi energi PLTS dilakukan dengan membandingkan potensi *solar* GHI dengan produksi energi PLTS. Berdasarkan data potensi GHI pada Gambar 7, bulan November sampai April cenderung terjadi musim hujan sedangkan bulan Mei sampai Oktober merupakan musim kemarau. Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa karakteristik produksi PLTS mengalami peningkatan pada bulan Agustus sampai dengan November serta penurunan dari bulan Desember hingga Juli, sehingga terjadi sedikit pergeseran antara data potensi *solar* GHI dengan hasil produksi energi dari PLTS FTI UII. Hal tersebut dikarenakan oleh adanya pemanasan global yang mengakibatkan iklim menjadi tidak menentu. Perubahan iklim terjadi karena adanya pemanasan global dan meningkatnya produksi karbon dioksida. Perubahan temperatur dan produksi karbon dioksida dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11. Berdasarkan gambar tersebut, nilai temperatur dan karbon dioksida mengalami peningkatan pada setiap tahunnya. Sehingga, produksi energi dari suatu sistem PLTS dapat mengalami perubahan berdasarkan keadaan iklim di sekitar sistem.

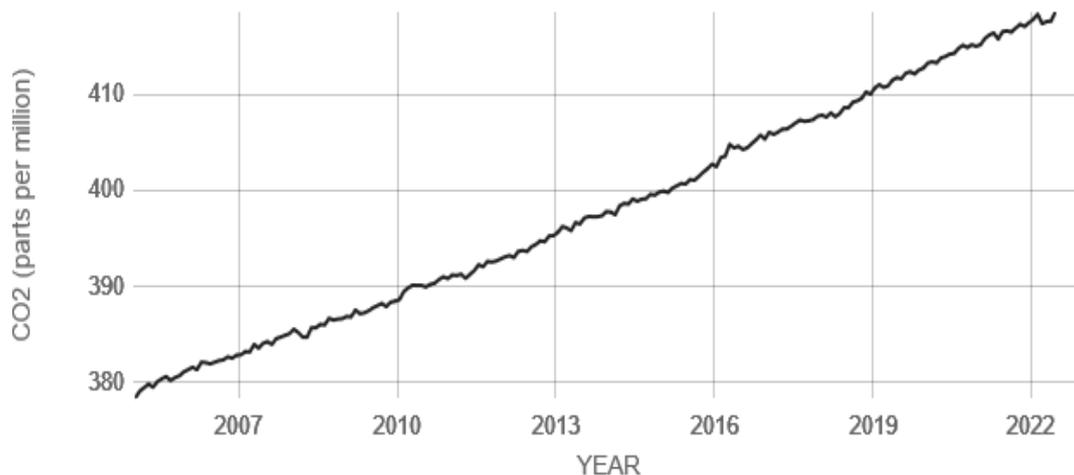
Untuk menambahkan kontribusi penelitian, penelitian ini juga membandingkan hasil analisis pemanfaatan energi PLTS FTI UII serta efek perubahan iklim terhadap produksi PLTS dengan penelitian sejenis yang dilakukan oleh Boulaid, dkk. [15] Pada penelitian tersebut, mereka melakukan analisis pengaruh

perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS di gedung fakultas Universitas Ibn Zohr. Beberapa perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian tersebut dapat dilihat pada [Tabel 2](#).



Source: climate.nasa.gov

Gambar 10. Perubahan Temperatur Global.



Source: climate.nasa.gov

Gambar 11. Perubahan Produksi Karbon Dioksida Global.

[Tabel 2](#) menampilkan beberapa faktor perbandingan seperti lokasi, kapasitas, nilai solar GHI, Durasi Pengukuran, Operasi PLTS, Efisiensi, dan Pengaruh perubahan iklim. Lokasi pemasangan sistem PLTS memiliki perbedaan yang berbeda yaitu Indonesia dan Maroko. Perbedaan lokasi ini cukup berpengaruh karena iklim di dua negara tersebut berbeda yaitu Indonesia memiliki 2 musim (Kemarau dan Hujan), sedangkan Maroko memiliki 4 musim (Dingin, Semi, Panas, dan Gugur). Perbedaan iklim tersebut secara signifikan berpengaruh terhadap karakteristik *solar* GHI. Nilai solar GHI di PLTS FTI UII mengalami peningkatan dari bulan Juli hingga Oktober (Musim Kemarau) serta nilai terendah berada pada bulan Desember hingga Januari (Musim Hujan). Sedangkan Nilai Solar GHI di PLTS Ibn Zohr University mengalami peningkatan pada bulan Maret hingga Agustus (Musim Panas) serta turun drastis pada bulan Desember hingga Januari (Musim Dingin). Selanjutnya, kapasitas produksi PLTS cukup berbeda yaitu sistem PLTS FTI UII (10 kWp) memiliki kapasitas 4 kali lebih besar dibandingkan dengan PLTS Ibn Zohr University (2,04 kWp). Durasi pengukuran data antara kedua PLTS cukup jauh dengan PLTS FTI UII (5 Tahun 5 Bulan) sedangkan PLTS Ibn Zohr University (12 Bulan/1 Tahun). Selanjutnya, satu hal yang menarik adalah nilai efisiensi kedua PLTS juga memiliki perbandingan yang cukup jauh yaitu PLTS FTI UII (45,67 %) dan PLTS Ibn Zohr University (16,32 %). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh perubahan iklim serta lokasi pemasangan PLTS terhadap produksi energi PLTS cukup signifikan walaupun kapasitas, durasi dan total produksi energi dari sistem PLTS berbeda.

Tabel 2. Perbandingan Penelitian

Faktor	PLTS FTI UII	PLTS Ibn Zohr University
Lokasi	Indonesia	Maroko
Kapasitas	10 kWp	2,04 kWp
Durasi Pengukuran	Maret tahun 2017 sampai bulan Juli 2022 (5 Tahun 5 Bulan)	12 Bulan
Operasi PLTS	PLTS mengalami beberapa keadaan <i>off</i> sehingga sangat mempengaruhi nilai efisiensi	PLTS <i>on</i> sepanjang tahun
Nilai <i>Solar</i> GHI	Nilai solar GHI di PLTS FTI UII mengalami peningkatan dari bulan Juli hingga Oktober (Musim Kemarau) serta nilai terendah berada pada bulan Desember hingga Januari (Musim Hujan)	Nilai Solar GHI di PLTS Ibn Zohr University mengalami peningkatan pada bulan Maret hingga Agustus (Musim Panas) serta turun drastis pada bulan Desember hingga Januari (Musim Dingin)
Produksi Energi	33358,5 kWh	3823,341 kWh
Efisiensi	Efisiensi Tahunan sistem = 45,67 %	Efisiensi Tahunan sistem = 16,32 %
Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi PLTS	Perubahan iklim terhadap produksi PLTS FTI UII cukup signifikan	Perubahan iklim terhadap produksi PLTS Ibn Zohr University cukup signifikan

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan analisis pemanfaatan energi dan pengaruh perubahan iklim terhadap produksi PLTS FTI UII. Data yang diukur adalah produksi energi, jumlah konsumsi energi dan efisiensi dengan periode Maret tahun 2017 sampai bulan Juli 2022 (5 Tahun 5 Bulan). Selanjutnya, analisis pengaruh perubahan iklim terhadap produksi energi PLTS dilakukan dengan cara membandingkan data potensi GHI dengan total produksi PLTS di setiap tahun. Untuk menambahkan kontribusi penelitian, penelitian ini juga membandingkan hasil analisis pemanfaatan energi PLTS FTI UII serta efek perubahan iklim terhadap produksi PLTS dengan penelitian sejenis yang dilakukan pada PLTS Ibn Zohr University. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, tingkat produksi dan efisiensi terendah PLTS FTI UII terdapat pada tahun 2018, sedangkan produksi tertinggi terdapat pada tahun 2019. Selanjutnya, hasil perbandingan penelitian menunjukkan bahwa pengaruh perubahan iklim serta lokasi pemasangan PLTS terhadap produksi energi PLTS cukup signifikan walaupun kapasitas, durasi dan total produksi energi dari sistem PLTS berbeda. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penelitian tentang cara meningkatkan efisiensi PLTS FTI UII walaupun perubahan iklim di sekitar sistem terus meningkat, serta penelitian tentang desain kampus *zero emission* untuk aplikasi pada FTI UII sehingga dapat memperlambat perubahan iklim di lingkungan FTI UII.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Studi Energi FTI UII yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. A. Russo, D. Carvalho, N. Martins, and A. Monteiro, "Forecasting the inevitable: A review on the impacts of climate change on renewable energy resources," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 52, no. PC, p. 102283, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102283>.
- [2] H. Acaroğlu and M. Güllü, "Climate change caused by renewable and non-renewable energy consumption and economic growth: A time series ARDL analysis for Turkey," *Renew. Energy*, vol. 193, pp. 434–447, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.138>.
- [3] PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.," *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [4] ESDM, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero)," p. 18, 2018.
- [5] Y. R. Golive *et al.*, "Analysis of Field Degradation Rates Observed in All-India Survey of Photovoltaic Module Reliability 2018," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 10, no. 2, pp. 560–567, 2020, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2019.2954777>.
- [6] G. G. Kim *et al.*, "Prediction Model for PV Performance with Correlation Analysis of Environmental Variables," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 3, pp. 832–841, 2019, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2019.2898521>.
- [7] G. G. Kim, W. Lee, B. G. Bhang, J. H. Choi, and H. K. Ahn, "Fault Detection for Photovoltaic Systems Using Multivariate Analysis with Electrical and Environmental Variables," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 11, no. 1, pp. 202–212, 2021, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2020.3032974>.
- [8] A. De Araujo Cavalcanti, F. De Assis Dos Santos Neves, G. M. De Souza Azevedo, and A. T. De Almeida Filho, "Performance Evaluation of Micro- And Minidistributed Photovoltaic Systems Using Data Envelopment Analysis," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 6, pp. 1806–1814, 2019, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2019.2930053>.

- [9] A. Sinha *et al.*, "Prediction of Climate-Specific Degradation Rate for Photovoltaic Encapsulant Discoloration," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 10, no. 4, pp. 1093–1101, 2020, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2020.2989182>.
- [10] A. L. Figueroa-Acevedo *et al.*, "Visualizing the impacts of renewable energy growth in the U.S. Midcontinent," *IEEE Open Access J. Power Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 91–99, 2020, <https://doi.org/10.1109/OAJPE.2020.2967292>.
- [11] Q. Hou, E. Du, N. Zhang, and C. Kang, "Impact of High Renewable Penetration on the Power System Operation Mode: A Data-Driven Approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 731–741, 2020, <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2929276>.
- [12] S. Fan, Z. Li, Z. Li, and G. He, "Evaluating and Increasing the Renewable Energy Share of Customers' Electricity Consumption," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129200–129214, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940149>.
- [13] S. Carley, S. Lawrence, A. Brown, A. Nourafshan, and E. Benami, "Energy-based economic development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 282–295, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.006>.
- [14] A. Phinikarides, G. Makrides, B. Zinsser, M. Schubert, and G. E. Georghiou, "Analysis of photovoltaic system performance time series: Seasonality and performance loss," *Renew. Energy*, vol. 77, pp. 51–63, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.091>.
- [15] M. Boulaid, R. Oaddi, A. Tlhan, A. Elfanoui, and A. Ihlal, "Energy Yield and Efficiency Assessment of Photovoltaic Grid-Tied System: Outdoor Approach," *6th Int. Renew. Sustain. Energy Conf.*, 2018, <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8702911>.
- [16] K. Hermawan, "Design analysis of photovoltaic systems as renewable energy resource in airport," *Proc. - 2017 4th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2017*, pp. 113–116, 2017, <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2017.8257686>.
- [17] Y. Zhang, W. Zhang, and C. Gao, "Optimization analysis of photovoltaic solar energy stent," *Proc. - 2020 7th Int. Forum Electr. Eng. Autom. IFEEA 2020*, pp. 1030–1034, 2020, <https://doi.org/10.1109/IFEEA51475.2020.00215>.
- [18] M. Usman, A. Munir, F. Asghar, M. H. Latif, and R. A. Ali, "Achieving Sustainability in the Academic Institutes of Pakistan: A Techno-economic Analysis of 40 kWp Rooftop Photovoltaic Grid-Tied System at University of Agriculture, Faisalabad," *2022 5th Int. Conf. Energy Conserv. Effic. ICECE 2022 - Proc.*, 2022, <https://doi.org/10.1109/ICECE54634.2022.9758954>.
- [19] K. G. Gabrovska-Evstatieva, B. I. Evstatiev, A. Evtimov, and N. P. Mihailov, "Opportunities to Use Photovoltaic Energy in Residential Buildings," *2018 10th Electr. Eng. Fac. Conf. Bulef 2018*, no. 2, pp. 2–5, 2019, <https://doi.org/10.1109/BULEF.2018.8646927>.
- [20] A. Deo and G. N. Tiwari, "Performance analysis of 1.8 kWp rooftop photovoltaic system in India," *2014 2nd Int. Conf. Green Energy Technol. ICGET 2014*, pp. 87–90, 2014, <https://doi.org/10.1109/ICGET.2014.6966669>.
- [21] N. Manoj Kumar, S. S. Chopra, A. A. Chand, R. M. Elavarasan, and G. M. Shafiullah, "Hybrid renewable energy microgrid for a residential community: A techno-economic and environmental perspective in the context of the SDG7," *Sustain.*, vol. 12, no. 10, pp. 1–30, 2020, <https://doi.org/10.3390/su12103944>.

BIOGRAFI PENULIS



Husein Mubarok menyelesaikan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada pada tahun 2013, dan magister di Program Studi Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia pada tahun 2015. Saat ini penulis 1 adalah dosen tetap di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia. Bidang penelitiannya adalah sistem tenaga listrik, energi terbarukan, audit energi, manajemen energi, konversi energi, dan kendaraan listrik.



Mohd. Brado Frasetyo menyelesaikan pendidikan sarjana di program studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia pada tahun 2018 dan magister di Program Studi Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia pada tahun 2021. Saat ini penulis 2 adalah mahasiswa Doktor di Universitas Gadjah Mada pada Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi. Minat penelitiannya meliputi kontrol elektronika daya, energi terbarukan, *microgrid*, dan sistem tenaga.



Etika Nur'Aini menyelesaikan pendidikan sarjana di program studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia pada tahun 2013 dan Magister di Teknik Sistem Universitas Gadjah Mada pada tahun 2021 dan saat ini bergabung di Pusat Studi Energi Universitas Islam Indonesia. Minat penelitiannya meliputi Energi Baru dan Terbarukan.