

Home (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/index>)
 / Archives (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/archive>)
 / Vol 6 No 3 (2019): Jurnal SPEKTRUM



(<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/view/3275>)

DOI: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i03> (<https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i03>)

Published: 2019-09-07

Aims and Scope (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/Aims>)

Editorial Board (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/Editor>)

Template (https://drive.google.com/file/d/17EV0vgvdtWAdoVHjNzTj0s_I0JhWhuOX/view?usp=sharing)

Reviewers (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/Reviewers>)

Publication Ethics (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/Ethic>)

Journal History (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/JournalHistory>)

Google Scholar
 (<https://scholar.google.co.id/citations?user=kFlaYPUAAAAJ&hl=id>)

Full Issue

Cover (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/issue/view/3275/SPEKTRUM.2019.v06.i03>)

Articles

UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 26,4 KWP PADA SISTEM SMART MICROGRID UNUD (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52805>)

N. Surya Gunawan, I. N. Satya Kumara, Rina Irawati
 1-9

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52805/31267>)

DOAJ Index (https://doaj.org/issue/2302-3163?source=%7B%22query%22%3A%7B%22filtered%22%3A%7B%22filter%22%3A%7B%22bool%22%3A%7B%22must%22%3A%5B%7B%22term%22%3A%7B%22index.issn.exact%22%3A%222302-3163%22%7D%7D%2C%7B%22term%22%3A%7B%22_type%22%3A%22article%22%7D%7D%5D%7D%7D%2C%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%7D%2C%22from%22%3A0%2C%22size%22%3A100%7D)

Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52807>)

I Nyoman Oksa Winanta, Anak Agung Ngurah Amrita, Wayan Gede Ariastina
10-18

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52807/31268>)

Perancangan Sistem Pemantauan Peternakan Ayam Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Cisco packet tracer 7.0 (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52810>)

I Made Martina Edi Putra, Pande Ketut Sudiarta, Widyadi Setiawan
19-26

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52810/31269>)

PERAMALAN MENGGUNAKAN METODE HOLT-WINTERS UNTUK PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR (STUDI KASUS: PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR KABUPATEN TABANAN) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52811>)

Ida Ayu Masyuni, Agus Dharma, Nyoman Gunantara
27-34

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52811/31270>)

Analisis Availability Metrics Webserver Penyedia Website Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52812>)

Dwi Yoga Pratama, Gede Sukadarmika, Nyoman Putra Sastra
35-44

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52812/31271>)

Analisa Sistem Pembumian Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro Di Tukad Balian Kabupaten Tabanan (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52813>)

I Made Darmayusa, I Gusti Ngurah Janardana, I Wayan Arta Wijaya
45-51

Website Statistic



(<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/WebStatistic>)

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52813/31272>)

**KUALITAS LAYANAN JUMBO FRAME PADA PROSES TRANSFER DATA
FAKULTAS TEKNIK KAMPUS SUDIRMAN UNIVERSITAS UDAYANA
(<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52814>)**

I Putu Eka Giri Setya Kresnadi Putra, Gede Sukadarmika, Ni Made A E D Wirastuti
52-60

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52814/31273>)

**Analisis Kualitas Layanan Fiber To The Home Berteknologi Gigabit Passive
Optical Network Pada Link STO Sukawati (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52815>)**

I Made Ari Pradipta, P.K. Sudiarta, G. Sukadarmika
61-66

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52815/31274>)

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SIMETRIS DAN ASIMETRIS UNTUK
MENENTUKAN KAPASITAS PENGAMAN YANG TERPASANG PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG MAMBA (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52816>)**

I Kadek Purniawan Paramadita, Ngakan Putu Satriya Utama, I Wayan Arta Wijaya
67-73

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52816/31275>)

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SIMETRIS DAN ASIMETRIS UNTUK
MENENTUKAN KAPASITAS PENGAMAN YANG TERPASANG PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG MAMBAL (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52817>)**

I Kadek Purniawan Paramadita, Ngakan Putu Satriya Utama, I Wayan Arta Wijaya
74-80

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52817/31276>)

Desain JaringaniFiberiToiThe HomeiTeknologiGigabit Passive Optical Network

(Gpon) Menggunakan Optisystem Untuk Area Sukawati (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52818>)

I Putu Diva Suryawan, P.K. Sudiarta, G. Sukadarmika
81-86

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52818/31277>)

Penerapan Algoritma K-Means Clustering dalam Penentuan Nilai Huruf pada Permainan Susun Kata Bahasa Bali (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52820>)

I Made Rian Yuliawan, Duman Care Khrisne, Putu Arya Mertasana
87-93

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52820/31278>)

ANALISA KEGAGALAN LIGHTNING ARRESTER PADA PENYULANG SULAHAN BANGLI (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52821>)

I Kadek Agus Yodha Bhaskara, I Gede Dyana Arjana, I Made Suartika
94-100

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52821/31279>)

Rekonfigurasi Saluran Distribusi 20kV Pada Penyulang Menjangan Untuk Mengatasi Jatuh Tegangan (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52822>)

I Made Alim Subawa, Anak Agung Gede Maharta Pelayun, I Wayan Arta Wijaya
101=106

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52822/31280>)

UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP 158 KWP PADA KANTOR GUBERNUR BALI (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52823>)

M.R. Wicaksana, I.N.S. Kumara, I.A.D Giriantari
107-113

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52823/31281>)

Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Pertanian Subak Semaagung (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52824>)

Oya Iman Sanjaya, IAD Giriantari, I N Satya Kumara
114-121

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52824/31282>)

Ketersediaan Peralatan Listrik Bercatu Daya DC Untuk Mendukung Pemanfaatan PLTS Tanpa Inverter Pada Rumah Tangga Urban (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52825>)

D. Sitompul, I.N.S. Kumara, C.G.I. Partha
122-126

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52825/31283>)

PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MEREDAM HARMONISA YANG DI BANGKITKAN OLEH BEBAN LAMPU HEMAT ENERGI (LHE) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52826>)

I Kadek Oka Darma Putra, I Ketut Wijaya, I Made Mataram
127-134

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52826/31284>)

OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION (DG) UNTUK MEMINIMALKAN RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG ABANG MENGGUNAKAN METODE QUANTUM GENETIC ALGORITHM (QGA) (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52827>)

I Gusti Agung Adhi Waskita, Antonius Ibi Weking, Widyadi Setiawan
135-140

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52827/31285>)

Pengaruh Fuzzy Logic Controller Pada Pengoperasian Filter Aktif Shunt Terhadap Penurunan ITHD dan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelistrikan RSUD Klungkung (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52828>)

I Putu Jerry Akira Dinata, I Wayan Rinas, I Wayan Arta Wijaya
141-147

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52828/31286>)

PENERAPAN GAMIFICATION PADA SISTEM INFORMASI MANAJEMEN RUANG BACA (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52829>)

Risqa Purma Pratama, Komang Oka Saputra, Duman Care Khrisne
148-153

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52829/31287>)

Peningkatan Kapasitas Rentang Tegangan Uji Osiloskop Tipe Hm 203-7 dengan Pemanfaatan Alat Konverter (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52830>)

I Wayan Lastera
154-158

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52830/31288>)

PENGENALAN POLA MOTIF KAIN TENUN GRINGSING MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DENGAN MODEL ARSITEKTUR ALEXNET (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52832>)

Putu Aryasuta Wicaksana, I Made Sudarma, Duman Care Khrisne
159-168

PDF (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/view/52832/31289>)

/aboutThisPublishingSystem)

PKP | PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT

(<http://pkp.sfu.ca/ojs>)

UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 26,4 KWP PADA SISTEM SMART MICROGRID UNUD

N. Surya Gunawan¹, I. N. Satya Kumara², Rina Irawati³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. ³Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Email : surya.gunawan2379@gmail.com¹, satya.kumara@unud.ac.id², r_yina96@yahoo.com³

Abstrak

Sistem *Smart Microgrid* Universitas Udayana merupakan hasil kerjasama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dengan Universitas Udayana yang terdiri atas PLTS 26,4 kWp, PLTB 5 kWp, PLTD 20 kWp, baterai 192 kVAh serta terterkoneksi dengan jaringan distribusi tegangan rendah 220/380 V. Penelitian ini membahas unjuk kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya tersebut dengan *software HelioScope*. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan produksi energi riil dari PLTS. Hasil simulasi produksi energi listrik PLTS sebesar 43.055,4 kWh per tahun. Sedangkan produksi riil PLTS sebesar 3.948,28 kWh, lebih rendah 4.107,4 kWh atau 9,53 % dibandingkan hasil simulasi. Faktori-faktor yang mempengaruhi perbedaan produksi energi listrik hasil simulasi dengan produksi riil adalah benda-benda yang berada disekitar PLTS yang menyebabkan shading, tingkat kebersihan modul surya, perbedaan orientasi PLTS dengan orientasi optimal.

Kata kunci : Energi terbarukan, PLTS, unjuk kerja, *HelioScope*

Abstract

Smart Microgrid System of Udayana University is collaboration project between Ministry of Energy and Mineral Resources with Udayana University. The system consist of 26.4 kWp Solar Power Plant, 5 kWp Wind Turbine, 20 kWp Diesel Generator, 192 kVAh battery and connected with a low voltage distribution network 220/380 V. This paper discusses performance of the solar power plant with HelioScope. The simulation results will be compared with the real energy production from solar power plant The simulation results is 43,055.4 kWh per year. Whereas the real production is 3,948.28 kWh, lower by 4,107.4 kWh or 9.53% than the simulation. Factors that influence the difference are shade, the cleanliness of solar modules and orientation of the solar modules.

Keywords: Renewable energy, PLTS, performance, *HelioScope*.

1. PENDAHULUAN

Kebijakan pemerintah pusat Indonesia mengenai Rencana Pengelolaan Energi Nasional yang disingkat RUEN merupakan penjabaran dan rencana pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sector untuk mencapai sasaran kebijakan energi nasional. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa total rencana pembangunan pembangkit listrik sampai pada tahun 2025 adalah sebesar 56.024 MW, dimana 23 % dari total pembangkitan tersebut merupakan rencana pembangunan pembangkit listrik dengan mengandalkan

potensi energi baru terbarukan (EBT). Sehingga sampai pada tahun 2025 Indonesia direncanakan akan membangun sebesar 12.800 MW pembangkit EBT [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu jenis pembangkit EBT yang berkembang di Indonesia. PLTS merupakan suatu sistem yang mampu mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan modul *photovoltaic*. Berdasarkan data RUEN pengembangan pembangkit listrik tenaga surya diproyeksikan sebesar 6.500 MW pada tahun 2025 [1]. Hal ini didukung oleh wilayah Indonesia yang terletak di

daerah ekuator yaitu wilayah tengah yang membagi bola bumi menjadi bagian utara dan selatan. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari. Berdasarkan peta insolasi matahari, wilayah Indonesia memiliki potensi energi listrik surya sebesar 4.5 kW/m² per hari [4].

Di Bali terdapat PLTS dan sudah dilakukan penelitian diantaranya penelitian yang membahas mengenai unjuk kerja inverter dan pengaruh *string array* terhadap produksi energi PLTS dengan hasil seluruh inverter di PLTS Kayubih dapat memproduksi energi listrik lebih besar atau sama dengan 75% [15]. Kemudian, penelitian yang membahas tentang kinerja sistem PV dalam iklim tropis [11]. Kemudian, penelitian yang membahas tentang analisa teknis dan biaya untuk mengetahui kelayakan sistem PJU-TS [16]. Kemudian, penelitian yang membahas tentang potensi daya dan produksi energi listrik jika atap Gedung-gedung di Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung dipasang PLTS dengan mensimulasikan modul surya dipasang pada sisi utara, timur, barat dan selatan dari atap Gedung [12]. Kemudian penelitian yang membahas tentang evaluasi pemanfaatan dan kinerja PLTS, perencanaan model pengelolaan agar IPAL dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan [14]. Kemudian penelitian yang membahas tentang analisis teknis dan ekonomi dari implementasi penerangan bertenaga surya di Bali di atas Seawater Toll-road yang dirancang beroperasi 12 jam per hari dengan pencahayaan rata-rata ≥ 15 lux [10]. Kemudian penelitian yang membahas mengenai analisis kondisi PLTS yang terpasang dengan melakukan audit pada sistem PLTS yang terpasang [13].

Pilot Project Smart Grid in Microgrid Universitas Udayana memiliki PLTS dengan kapasitas 26,4 kW yang di pasang di atas (*rooftop*) Gedung DH Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana. *Pilot project* ini merupakan hasil kerja sama antara BALITBANG Kementerian ESDM dengan Universitas Udayana untuk bersama-sama mengembangkan teknologi bidang Energi dan Sumber Daya Mineral terkhusus dalam pengembangan energi

baru terbarukan. Pada pertengahan tahun 2017 *microgrid* sudah beroperasi dan digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi di gedung DH.

Produksi energi dari suatu PLTS tergantung dari berbagai faktor. Faktor – faktor yang mempengaruhi produksi PLTS adalah iradiasi matahari, suhu, *shading*, dan sudut kemiringan dari panel surya.

Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai unjuk kerja dari PLTS yang terpasang pada sistem *Smart Microgrid* UNUD.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Smart Microgrid*

Smart Microgrid merupakan jaringan skala kecil yang terdiri dari pembangkitan tersebar (*distributed generation*), yang meliputi *microturbine*, *fuel cell*, PV dan energi terbarukan lainnya, dengan dilengkapi media penyimpanan energi (*flywheels*, kapasitor energi dan baterai) serta beban. *Microgrid* biasanya beroperasi pada tegangan rendah dan bekerja dengan kondisi terhubung ke jaringan (*grid – connection*) dan tidak terhubung ke jaringan (*islanded*), dapat beroperasi dengan aliran daya 2 arah yaitu dari jaringan menuju sistem *microgrid*, dan dari sistem *microgrid* menuju jaringan. sehingga dapat meningkatkan keandalan serta ramah lingkungan karena menggunakan sumber energi terbarukan.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS merupakan salah satu *distributed generation*. PV array adalah kumpulan dari modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silicon, panel surya dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.



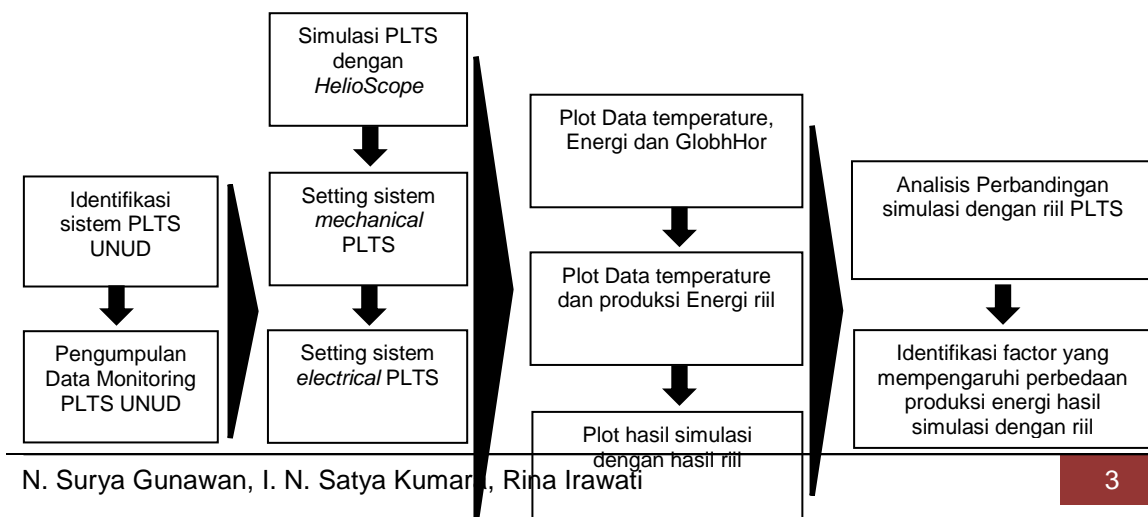
Gambar 1. Panel Surya [5]

Pada umumnya PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yaitu modul surya sebagai pembangkit listrik, inverter untuk mengkonversi sistem tegangan DC menjadi sistem tegangan AC, *charger controller* dan baterai sebagai media penyimpanan energy. Berdasarkan konfigurasi PLTS dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu PLTS terhubung dengan jaringan (on-grid) dan PLTS tidak terhubung dengan (off-grid)

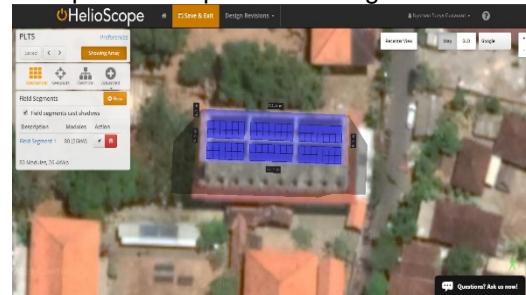
2.3 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Energi PLTS

Faktor – faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik PLTS adalah iradiasi matahari, suhu modul surya, *shading*, *tingkat kebersihan modul surya dan sudut kemiringan serta orientasi pemasangan modul surya*. Pertama, energi yang dihasilkan modul surya menurun seiring menurunnya iradiasi matahari. Kedua, energi yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya suhu tergantung dari besarnya koefisien suhu pada modul surya. Penurunan produksi energi akibat pengaruh dari kenaikan suhu adalah sekitar 0,4% setiap peningkatan 1°C. Ketiga, ketika benda-benda disekeliling PLTS yang menghalangi penyinaran matahari ke modul surya sehingga mengurangi nilai iradiasi matahari yang ditangkap oleh modul surya. Keempat, kotoran yang menempel pada modul surya juga dapat mengurangi iradiasi matahari yang diterima oleh modul surya. Kelima, sudut kemiringan dari panel surya berpengaruh dalam penyerapan sinar matahari. Setiap lokasi memiliki sudut kemiringan optimal dalam penyerapan iradiasi matahari.

2.4 HelioScope Simulation



Terdapat perangkat lunak untuk merancang sistem fotovoltaik. Sistem perangkat lunak dibuat untuk memperkirakan produksi energi PLTS.

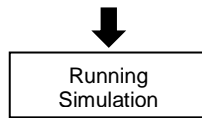


Gambar 2. Tampilan Aplikasi *HelioScope* [6]

HelioScope merupakan sebuah program berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para insinyur untuk melakukan simulasi lengkap sistem PLTS. Data yang digunakan *HelioScope* adalah data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY *weather* yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data 30 tahun terakhir.

3. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan observasi untuk mengetahui lokasi, konfigurasi dan spesifikasi sistem PLTS terpasang. Tahap selanjutnya melakukan simulasi dengan *HelioScope*. Tahap selanjutnya mengumpulkan data dari sistem pengukuran (data logger) PLTS, berupa data energi listrik yang dihasilkan selama satu tahun yaitu dari bulan Januari 2018 sampai dengan Desember 2018. Selanjutnya mengolah data dan membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran sebenarnya.



Gambar 3. Skematik Metode Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem PLTS *Smart Microgrid* UNUD

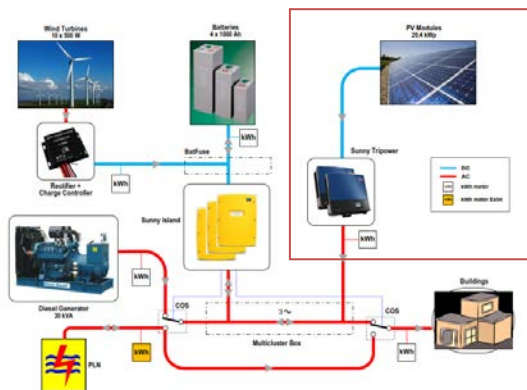
Pembangkit Listrik Tenaga Surya dibangun di atas Gedung DH dengan luas lahan kurang lebih 421,25 m². Secara geografi PLTS terletak pada koordinat - 8,79° lintang selatan, 115,17° bujur timur dengan ketinggian ± 61meter diatas permukaan laut.

Tampak atas dari lokasi PLTS menggunakan Google Earth dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Foto Satelit Lokasi PLTS UNUD

PLTS dengan daya nominal 26,4 kWp terhubung dengan jaringan PLN 220/380 V yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Gedung DH. *Single line diagram* PLTS dengan sistem *Smart Microgrid* UNUD dapat dilihat pada gambar 6.

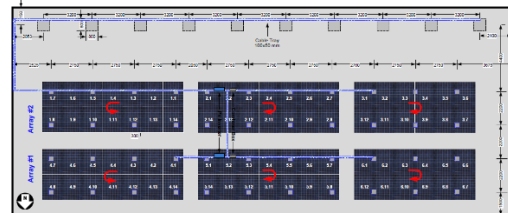


Gambar 6. *Single line diagram* PLTS dengan *Smart Microgrid* UNUD [5]

Sistem *Smart Microgrid* UNUD memiliki sistem monitoring yang berfungsi untuk mencatat data dan operasi dari keseluruhan sistem, termasuk operasi PLTS, serta terkoneksi dengan web dh.unud.ac.id sehingga dapat dipantau secara *realtime*.

4.1.1 Konfigurasi PLTS *Smart Microgrid* UNUD

PLTS *Smart Microgrid* UNUD terdiri dari 2 PV array yaitu PV array 1 terdiri atas PV string 1,2 dan 3 serta PV array 2 terdiri dari PV string 4, 5 dan 6. Pada PV string 1, 2, 4, 5 tersusun dari 14 modul surya yang disusun secara seri, sedangkan pada PV string 3 dan 4 tersusun dari 12 modul surya, sehingga total modul surya yang terpasang berjumlah 80 modul seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. PV Array PLTS [5]



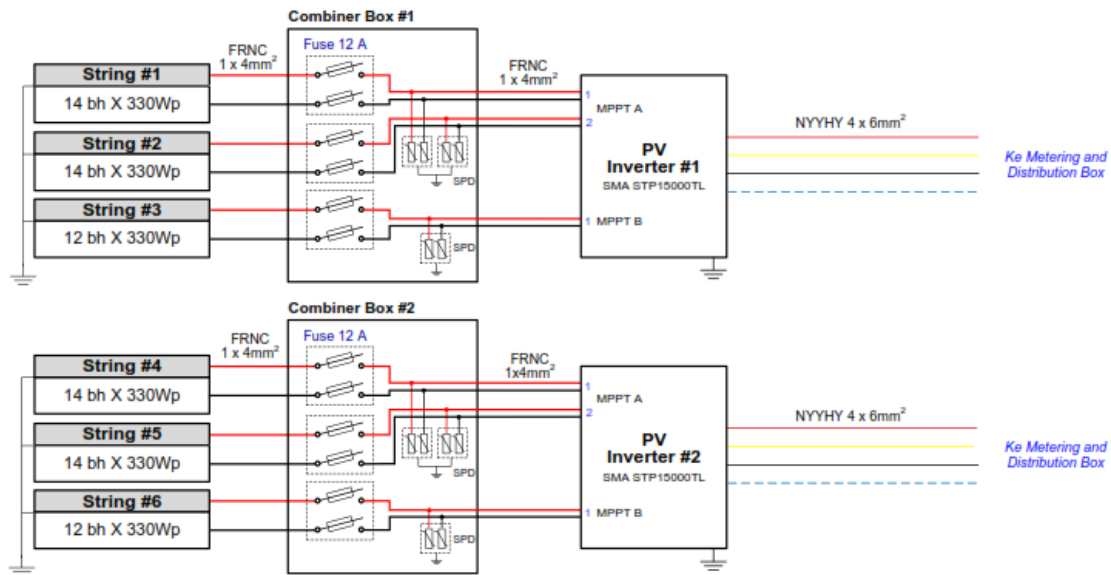
Gambar 8. Tampak Atas PLTS *Smart Microgrid* UNUD [5]

PLTS *Smart Microgrid* UNUD menggunakan inverter *Sunny Tripower* 1500 TL sebanyak 2 unit untuk mengubah daya listrik searah (DC) dari solar panel menjadi daya listrik AC 3 fasa 4 kawat dengankapasitas masing-masing 15 kW. Inverter *Sunny Tripower* ditunjukkan pada gambar 9



Gambar 9. Inverter Suny Tripower 1500 TL [5]

Setiap inverter memiliki input 1 PV array yang terdiri dari 3 PV string, masing masing PV string akan digabung pada PV combainer box sebelum menuju ke inverter Sunny Tripower 1500 TL. Wiring Diagram PLTS dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Wiring Diagram PLTS [5]

4.2 Hasil Simulasi HelioScope

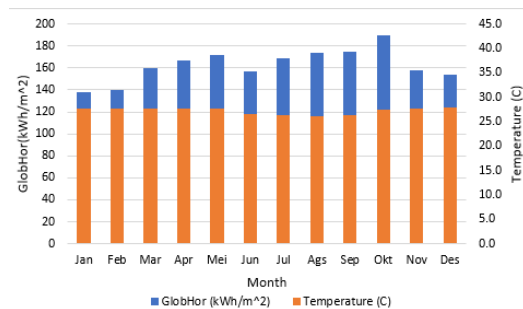
Produksi energi PLTS hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Simulasi Produksi Energi PLTS Smart Microgrid UNUD [6]

Bulan	GlobHor (kWh/m ²)	Temp °C	Energy (kWh)
Jan	138	28	2.746
Feb	140	28	2.875
Mar	160	28	3.430
Apr	167	28	3.775
Mei	172	28	4.142
Jun	157	27	3.900
Jul	170	26	4.206
Ags	173	26	4.093
Sep	175	26	3.831
Okt	190	28	3.908
Nov	158	28	3.133

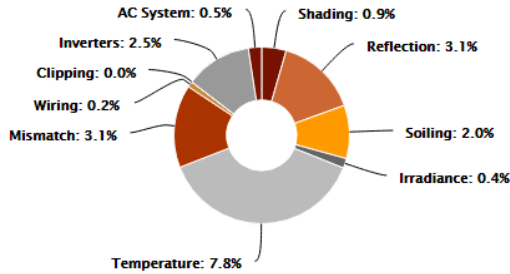
Des	154	28	3.018
TOTAL SATU TAHUN			43.055

Berdasarkan tabel 1 potensi energi PLTS sebesar 43.055 kWh per tahun, dengan iradiasi matahari tertinggi pada bulan Oktober sebesar 190 kWh/m² dan iradasi matahari terendah pada bulan januari sebesar 138 kWh/m². Suhu lingkungan selama satu tahun berkisar 26°C sampai dengan 28°C. Grafik iradiasi matahari dan temperature PLTS ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik GlobHor dan Temperature PLTS Hasil Simulasi [6]

Hasil simulasi juga menunjukkan adanya rugi-rugi daya seperti pada pada gambar 12



Gambar 12. Grafik Penyebab Rugi-rugi Daya pada PLTS [6]

Berdasarkan gambar 12 besar rugi-rugi daya terbesar disebabkan oleh kenaikan suhu monul surya yaitu 7,8%, sedangkan rugi-rugi daya terkecil disebabkan oleh penghantar yaitu 0,2%.

4.3 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Produksi Riil

Perbandingan hasil simulasi dengan produksi riil dapat dilihat pada tabel 2.

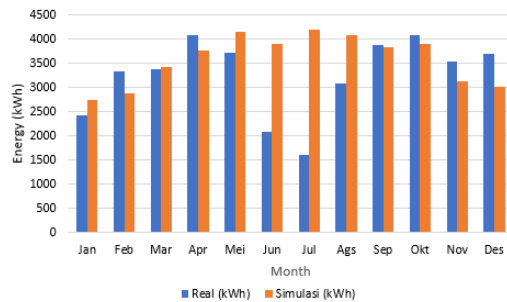
Tabel 2. Perbandingan Produksi Energi PLTS *Smart Microgrid* UNUD [5] [6]

Bulan	Simulasi (kWh)	Riil (kWh)	Selisih (kWh)	Selisih (%)
Jan	2.746	2.430	316	11,5
Feb	2.875	3.337	-462	-16,1
Mar	3.430	3.379	51	1,4
Apr	3.775	4.085	-310	-8,2
Mei	4.142	3.711	431	10,4
Jun	3.900	2.093	1.807	46,3
Jul	4.206	1.615	2.590	61,6
Ags	4.093	3.095	998	24,4
Sep	3.831	3.884	-53	-1,4
Okt	3.908	4.073	-165	-4,2
Nov	3.133	3.543	-410	-13,1
Des	3.018	3.705	-687	-22,8
Total	43.055	38.948	4.107	9,5

Berdasarkan tabel 2. perbedaan simulasi *HelioScope* dengan produksi riil PLTS selama satu tahun, didapat bahwa perbedaan terbesar terjadi pada bulan Juli

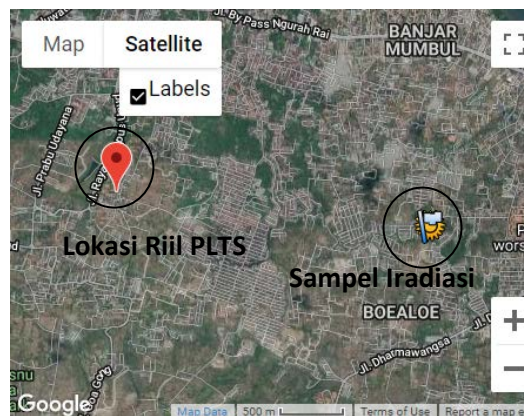
dimana produksi energi hasil simulasi adalah 4.205,6 kWh sedangkan produksi energi riil adalah 1.605,18 kWh dengan selisih 2.590 kWh atau 61%. Selama satu tahun produksi energi listrik hasil simulasi sebesar 43.055 kWh sedangkan produksi riil sebesar 38.948 kWh lebih kecil 4.107 atau 9,5% dari hasil simulasi.

Grafik perbandingan produksi energi hasil simulasi dengan produksi riil PLTS dapat dilihat pada gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Produksi Energi PLTS Simulasi dan Riil [5] [6]

Perbedaan produksi energi listrik hasil simulasi dan riil disebabkan oleh adanya perbedaan nilai iradiasi matahari simulasi dengan lokasi riil, data iradiasi simulasi berjarak ±10 km dari lokasi riil PLTS. *Software HelioScope* menggunakan data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY *weather* yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data rata-rata 30 tahun terakhir, berbeda dengan nilai iradiasi pada kondisi riil. Gambar 14 menunjukkan lokasi data iradiasi pada simulasi *HelioScope*



Gambar 14. Lokasi Data Sampel Iradiasi Matahari Pada Simulasi *HelioScope* [6]

Perbedaan jenis modul surya dengan kapasitas yang sama yaitu 330 Wp antara simulasi dengan riil dapat menjadi salah satu penyebab perbedaan produksi energi. Tabel 3 menunjukkan perbedaan jenis modul yang digunakan.

Tabel 3. Perbandingan Modul Surya

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan daya maksimum yang dihasilkan dari masing-masing modul surya, *Kyocera* memiliki daya maksimum 330,07W sedangkan *SunPower* memiliki daya maksimum 329,96W selain itu juga terdapat perbedaan pada koefisien temperatur, *Kyocera 330* memiliki koefisien temperature daya sebesar $-0,45\%/^{\circ}\text{C}$ hal ini menandakan setiap kenaikan 1°C suhu pada modul maka akan mengalami penurunan daya sebesar 0,45%, Sedangkan *SunPower 330* memiliki koefisien temperatur daya sebesar $-0,37\%/^{\circ}\text{C}$ hal ini menandakan setiap kenaikan 1°C suhu pada modul maka akan mengalami penurunan daya sebesar 0,37%. Hal tersebut menyebabkan perbedaan hasil produksi energi listrik dari PLTS.

Berdasarkan hasil observasi lapangan ditemukan bahwa terdapat *shading* yang menghalangi proses penyinaran iradiasi matahari terhadap modul surya, seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Shading Akibat Pohon Manga Disebelah Utara Gedung DH [5]

Dari gambar 15 dapat dilihat bahwa shading disebabkan oleh pohon manga yang terletak di sebelah utara Gedung DH sehingga nilai iradiasi yang diterima menjadi lebih rendah yang mengakibatkan energi yang dihasilkan juga lebih rendah.

Berdasarkan hasil observasi lapangan terdapat kotoran yang menempel pada panel surya, seperti pada gambar 16.

Parameter	Kyocera 330 Wp (Riil)	SunPower 330 Wp (Simulasi)
Pmax	330,07 W	329,96 W
Vmp	40,7 V	36.3 V
Imp	8,11 A	9.09 A
Voc	50,3 V	43.4 V
Isc	8,74 A	9.76 A
T.coeff Pmax	-0.45 %/ $^{\circ}\text{C}$	-0.37 %/ $^{\circ}\text{C}$
T.coeff Vmp	-0.48 %/ $^{\circ}\text{C}$	-0.29 %/ $^{\circ}\text{C}$
T.coeff Imp	0.02 %/ $^{\circ}\text{C}$	0.05 %/ $^{\circ}\text{C}$



Gambar 16. Shading Akibat Kotoran yang Menempel Pada Modul Surya [5]

Dari gambar 16 dapat dilihat bahwa kotoran baik itu debu, kotoran hewan dan kotoran lainnya, dapat menghalangi penyinaran sinar matahari menuju modul surya sehingga mengakibatkan iradiasi yang diterima menjadi rendah.

Sudut optimal penyinaran matahari adalah 90° terhadap modul surya. Berdasarkan hasil observasi lapangan didapat sudut kemiringan optimal dari modul surya senilai $14,6^{\circ}$ menghadap utara 0° , sedangkan sudut kemiringan modul surya riil sebesar 16° - 17° menghadap utara dengan perbedaan 1° - 6° . Perbedaan orientasi menyebabkan perbedaan sudut penyinaran matahari yang mengakibatkan perbedaan produksi energi.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan didapat beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Potensi produksi energi listrik PLTS *Smart Microgrid* UNUD hasil simulasi selama satu tahun adalah 43.055 kWh.
2. Produksi energi riil dari PLTS selama tahun 2018 adalah 38.948 kWh lebih rendah 4.107,12 kWh atau 9,53% dari hasil simulasi *HelioScope*.
3. Perbedaan produksi energi listrik tersebut disebabkan oleh shading dari pepohonan disekitar modul surya, tingkat kebersihan modul surya, perbedaan modeling modul surya serta perbedaan orientasi dari PLTS yang terpasang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN. (Persero), Rencana usaha Penyediaan Tenaga Listrik, Jakarta: PT PLN (Persero) 2017-2026, 2017.
- [2] K. RI, Blue Print Pengelolaan Energi Nasional, Jakarta, 2006-2025, p. Jakarta.
- [3] ABB, Technical Application Papers No.10 Photovoltaic Plants., Bergamo, Italy: ABB SACE, 2010.
- [4] N. S. Kumara, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban Dan Ketersediannya di Indonesia," *Teknologi Elektro*, Vols. 9, No.1, pp. 68-75, 2010.
- [5] ESDM, Dokumentasi Pilot Project Smart Grid in Microgrid Universitas Udayana, 2017.
- [6] HelioScope, Desain Simulasi PLTS 26,4 kWp dengan HelioScope, 2019.
- [7] E. T. A. Duka, I. N. Setiawan and A. I. Weking, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga dan Pengairan Kabupaten Badung," *E-Journal SPEKTRUM*, Vols. 5, No.2, pp. 67-73, 2018.
- [8] I. K. A. Setiawan, I. N. S. Kumara and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," *Teknologi Elektro*, Vols. 12, No.1, pp. 27-33, 2014.
- [9] P. A. Sujana, I. N. S. Kumara and I. A. D. Giriantari, "Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 2 No. 3, pp. 49-54, 2015.
- [10] N. M. Karmiathi, I. N. Kumara and I. W. Gunarta, "Techo-economic Analysis of Solar-powered Lighting of Bali above Seawater Toll-road," *TELKOMNIKA*, Vols. 16, No. 5, pp. 2342-2354, 2018.
- [11] I. N. S. Kumara, I. N. Setiawan, T. Urnee, A. A. G. A. Parwitra, Y. Divayana and A. Jaya, "Implementation of Grid-connected PV Plant in Remote Location in Sumbawa Island of Indonesia: Lesson Learned," *ICSGTEIS*, pp. 203-209, 2018.
- [12] I. D. G. Y. P. Pratama, I. N. S. Kumara and I. N. Setiawan, "Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk PLTS Rooftop," *E-Journal SPEKTRUM*, Vols. 5, No. 2, pp. 119-128, 2018.
- [13] K. V. Kumara, I. N. S. Kumara and W. G. Ariastina, "Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali," *E-Journal SPEKTRUM*, Vols. 5, No.2, pp. 26-35, 2018.
- [14] P. A. R. Arimbawa, I. N. S. Kumara and R. S. Hartati, "Studi Pemanfaatan Catu Daya Hibrida PLTS 3,7 kWp dan PLN Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Desa Pemecutan Kaja Denpasar Bali,"

Teknologi Elektro, Vols. 15, No.2, pp. 33-38, 2016.

- [15] A. N. B. B. Nathawibawa, I. N. S. Kumara and W. G. Ariastina, "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-Connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," *Teknologi Elektro*, Vols. 16, No.1, pp. 131-140, 2017.
- [16] I. W. Y. M. Wiguna, W. G. Ariastina and I. N. S. Kumara, "Kajian Pemanfaatan Stand Alone Photovoltaic System Untuk Penerangan Jalan Umum," *Teknologi Elektro*, Vols. 11, No.2, pp. 32-41, 2012.