

Kalkulasi Daya PLTS Untuk Sumber Energi IoT di Danau Laguna Ternate

*Andi Muhammad Ilyas¹, Agus Siswanto², Faris Sayamsuddin¹

¹)Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Khairun, Ternate, Maluku Utara, INDONESIA.

²)Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon, Jawa Barat, INDONESIA.

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA : 16 Oktober 2025

DIREVISI : 14 November 2025

DISETUJUI : 15 Desember 2025

* KORESPONDENSI PENULIS :
aamilyas@gmail.com

DOI: [10.47685/mestro.v7i02.756](https://doi.org/10.47685/mestro.v7i02.756)

Abstract

This study aims to design a solar photovoltaic (PV) power system as an independent energy source for an Internet of Things (IoT) device used to monitor water quality in Laguna Lake, Ternate. The absence of electrical infrastructure at the site necessitates a reliable and efficient off-grid PV system capable of continuous operation. The energy demand was calculated based on the operational characteristics of the IoT device, including a sampling interval of 15 minutes, resulting in 96 data acquisitions per day. The analysis shows that the total daily energy consumption of the device is 6.85 Wh/day. To ensure three days of autonomous operation in the absence of sunlight, the required stored energy increases to 20.55 Wh, equivalent to 2.14 Ah for a 12 V battery system. The theoretical minimum PV capacity needed to meet this demand is 2.03 W; however, such a size is insufficient for real field conditions due to variations in solar irradiance, potential shading, panel degradation, and the need for long-term operational reliability. Therefore, this study recommends using a 100 W solar panel as a more robust and practical configuration. The outcomes of this research provide a technical foundation for implementing renewable-energy-powered IoT monitoring systems in remote locations without permanent electrical access.

Keywords: Design of solar power plants, IoT, off-grid systems.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi mandiri bagi perangkat Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk pemantauan kualitas air di Danau Laguna Ternate. Ketidadaan infrastruktur listrik di lokasi menuntut penggunaan sistem fotovoltaik (PV) yang efisien dan mampu beroperasi secara berkelanjutan. Perhitungan kebutuhan energi dilakukan berdasarkan karakteristik kerja perangkat IoT, termasuk siklus pengambilan sampel setiap 15 menit atau sebanyak 96 kali per hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa total konsumsi energi harian perangkat hanya sebesar 6,85 Wh/day. Untuk menjamin keberlangsungan operasi perangkat selama periode otonomi tiga hari tanpa radiasi matahari, kapasitas energi yang harus disediakan oleh baterai meningkat menjadi 20,55 Wh, setara dengan 2,14 Ah pada sistem 12 V. Perhitungan kapasitas minimum panel surya menunjukkan bahwa daya sebesar 2,03 W secara teoritis sudah mencukupi untuk memenuhi kebutuhan energi harian perangkat. Namun, mengingat variabilitas radiasi matahari, potensi shading, degradasi panel, serta perlunya keandalan sistem dalam jangka panjang, kapasitas tersebut dinilai tidak memadai untuk kondisi lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan penggunaan panel surya 100 W sebagai konfigurasi yang lebih robust dan adaptif. Hasil penelitian ini menyediakan dasar teknis yang dapat digunakan untuk penerapan sistem IoT berbasis energi terbarukan di wilayah tanpa akses listrik permanen.

Kata kunci: Perancangan PLTS, IoT, sistem off-grid.

I. PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas air Danau Laguna Ternate menjadi kebutuhan penting untuk menjaga keberlanjutan fungsi ekologis dan sosial kawasan tersebut. Namun, keterbatasan infrastruktur listrik di lokasi danau menghambat penggunaan perangkat pemantauan berbasis IoT yang membutuhkan suplai energi stabil. Kondisi ini menuntut adanya sistem pembangkit listrik mandiri yang mampu beroperasi terus-menerus dalam kondisi lingkungan terbuka. Teknologi photovoltaic (PV) dipandang sebagai solusi tepat karena memanfaatkan potensi radiasi matahari di Ternate yang relatif tinggi sepanjang tahun.

Penelitian ini bertujuan merancang pembangkit listrik tenaga photovoltaic yang dapat memenuhi kebutuhan energi perangkat IoT pemantauan kualitas air. Proses perancangan mencakup dua tahap utama: pertama, menghitung kebutuhan

daya dan energi perangkat IoT berdasarkan karakteristik sensor, mikrokontroler, dan pola transmisi data; kedua, menentukan kapasitas sistem PV yang optimal—termasuk panel surya, baterai, dan solar charge controller—agar mampu memberikan suplai daya yang andal dan berkelanjutan. Dengan pendekatan ini, desain PLTS diharapkan mampu bekerja mandiri tanpa memerlukan infrastruktur listrik eksternal.

Metode penelitian meliputi pengukuran konsumsi energi komponen IoT, perhitungan kebutuhan energi harian, analisis potensi energi surya berdasarkan nilai Peak Sun Hours (PSH) Ternate, serta perancangan kapasitas panel PV dan baterai melalui energy budgeting. Luaran penelitian berupa rancangan sistem PLTS off-grid untuk node IoT, meliputi spesifikasi teknis, kapasitas komponen utama, dan diagram sistem yang

siap digunakan sebagai dasar implementasi lapangan dan pengembangan sistem pemantauan kualitas air berkelanjutan.

II. PHOTOVOLTAIC DAN IoT

Photovoltaic (PV) adalah teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Ketika foton cahaya mengenai permukaan sel surya, energi foton diserap oleh material semikonduktor (umumnya silikon), sehingga melepaskan elektron dari ikatannya dan menghasilkan pasangan elektron-hole. Pergerakan elektron menuju kutub negatif dan hole menuju kutub positif menghasilkan aliran arus listrik searah (DC). Efisiensi proses konversi ini dipengaruhi oleh jenis material, temperatur sel, dan intensitas radiasi matahari [1].

A. Komponen Utama Sistem Photovoltaic

Sistem photovoltaic off-grid terdiri dari beberapa komponen utama yakni Panel Surya yaitu komponen yang mengubah radiasi matahari menjadi listrik DC. Kapasitas panel dinyatakan dalam watt-peak (Wp), yang menunjukkan daya maksimum pada kondisi standar (STC: 1000 W/m², 25°C) [1], [2]. Solar Charge Controller alat yang mengatur pengisian baterai agar optimal dan mencegah overcharging maupun over-discharging. Dua jenis umum adalah PWM (Pulse Width Modulation) dan MPPT (Maximum Power Point Tracking), di mana MPPT memiliki efisiensi lebih tinggi. Baterai alat yang menyimpan energi untuk digunakan ketika radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Jenis baterai yang umum digunakan adalah VRLA, AGM, GEL, dan Lithium, masing-masing memiliki karakteristik umur pakai dan kedalaman pengosongan (Depth of Discharge/DoD) yang berbeda. Inverter (opsional) adalah alat mengubah listrik DC menjadi AC jika diperlukan untuk perangkat tertentu, meskipun sistem IoT biasanya cukup menggunakan DC [3].

B. Parameter Kinerja PV

Beberapa parameter teknis yang menentukan kinerja sistem PV antara lain yaitu Watt-peak (Wp) adalah Daya maksimum panel pada kondisi standar. Intensitas radiasi matahari – Jumlah energi matahari yang diterima per m², biasanya dinyatakan sebagai Peak Sun Hours (PSH). Tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc) adalah parameter dasar panel untuk perancangan rangkaian. Efisiensi panel (%) adalah Rasio antara energi matahari yang diterima dengan energi listrik yang dihasilkan. Temperature coefficient adalah menunjukkan penurunan daya panel akibat peningkatan temperature [4].

C. Peak Sun Hours (PSH) dan Estimasi Produksi Energi

Peak Sun Hours adalah indikator jumlah jam efektif per hari ketika intensitas radiasi matahari setara dengan 1000 W/m². Nilai PSH sangat penting dalam perancangan PLTS karena menentukan potensi energi yang dapat dihasilkan panel. Di wilayah Indonesia bagian timur, termasuk Ternate, PSH umumnya berkisar antara 4–5 jam/hari. Energi harian panel dapat dihitung menggunakan rumus:

$$E = P_{panel} \times PSH \times \eta_{sistem}$$

dengan efisiensi sistem (η) berada pada kisaran 0,7–0,8 setelah memperhitungkan rugi-rugi kabel, temperatur, dan charge controller [4], [5].

D. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik—seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler—untuk saling terhubung melalui internet dan bertukar data secara otomatis tanpa intervensi manusia. IoT bekerja dengan mengintegrasikan kemampuan sensing, pemrosesan data, komunikasi, dan penyimpanan informasi dalam satu sistem. Dengan demikian, IoT memungkinkan pemantauan, pengendalian, dan analisis data secara real-time pada berbagai aplikasi seperti lingkungan, industri, kesehatan, hingga smart city [6], [7].

E. Arsitektur Sistem IoT

Arsitektur IoT secara umum terdiri dari empat lapisan utama yaitu Lapisan Perception (Sensing Layer), berisi perangkat sensor dan aktuator yang bertugas mendeteksi atau mengukur parameter lingkungan seperti suhu, pH, konduktivitas, kekeruhan, dan sebagainya. Sensor mengubah stimulus fisik menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Lapisan Network (Communication Layer), bertanggung jawab mengirimkan data dari sensor ke server atau cloud menggunakan teknologi komunikasi seperti Wi-Fi, LoRa, GSM/4G/5G, atau satelit. Pada penelitian ini, modul seluler (misalnya LTE/4G) digunakan untuk mengirim data dari lokasi danau ke server. Lapisan Processing (Middleware), menyediakan layanan penyimpanan, pemrosesan, dan analisis data. Data yang diterima dari perangkat IoT diolah di server atau platform cloud untuk menghasilkan informasi yang bermakna. Lapisan ini sering menggunakan API, database, dan protokol integrasi. Lapisan Application, menyajikan hasil pengolahan data kepada pengguna melalui dashboard, web monitoring, atau aplikasi. Pada studi ini, aplikasi web digunakan untuk menampilkan data kualitas air secara real-time [8], [9].

F. Komponen Utama Sistem IoT

Sistem IoT umumnya terdiri dari beberapa komponen pokok yaitu Sensor, untuk mengukur parameter tertentu dan memberikan output dalam bentuk sinyal Listrik. Mikrokontroler/Node IoT, bagian yang mengolah data sensor dan mengatur proses komunikasi. Contohnya: ESP32, Arduino, Raspberry Pi. Modul Komunikasi yaitu bagian yang mengirimkan data ke internet melalui jaringan tertentu, seperti GSM/4G. Sumber Daya (Power Supply) adalah bagian yang menyuplai energi untuk sensor dan mikrokontroler. Pada lokasi terpencil, sumber daya dapat berupa baterai dan panel surya. Platform Cloud/Server adalah bagian yang menyimpan dan menyediakan akses data. Dashboard Monitoring, yaitu untuk antarmuka untuk memvisualisasikan data bagi pengguna [10].

III. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Danau Ngade, Kelurahan Ngade, Kecamatan Kota Ternate Selatan, Ternate, Maluku Utara [11].

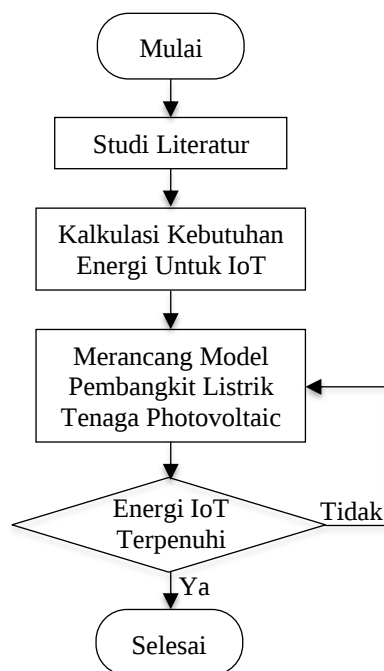
B. Kalkulasi Kebutuhan Energi IoT

Untuk menghitung kebutuhan energi internet of things (IoT) dapat digunakan formulasi sederhana berikut.

- Energi per aktivitas (Wh) = $V \times I \times t$ (t dalam jam).
- Energi harian total: $E_{\text{harian}} = \text{Total energi tiap komponen (Wh/day)}$

C. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini akan berfungsi untuk menyajikan urutan tahapan penelitian secara sistematis dan terstruktur, sehingga alur kegiatan yang mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga analisis dapat terlihat. Diagram alir penelitian perancangan pembangkit Listrik tenaga photovoltaic dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Photovoltaic Untuk Kebutuhan Energi IoT

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalkulasi Energi Untuk IoT

Ringkasan komponen, arus & durasi per siklus; nilai-nilai berdasarkan asumsi konservatif dan pengukuran tipikal dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 1. Ringkasan Komponen, Arus & Durasi Per Siklus

Komponen	Tegangan operasi (V)	I aktif (A)	Durasi aktif (s)	Sampel / hari	Energi perangkat (Wh/day)
Cellular modem	5	0.80	10	96	3.4400
Cellular modem (attach overhead)	5	0.30	5	96	0.2000
Cellular modem idle (standby)	5	0.02	kontinu	0	2.4000
MCU (ESP32) active	3.3	0.08	15	96	0.1060
pH sensor	3.3	0.00	5	96	0.0009
TDS sensor	3.3	0.00	5	96	0.0009
Turbidity (LED+detector)	5	0.01	5	96	0.1333
Temperature sensor	3.3	0.00	2	96	0.0002
SD logger (write)	3.3	0.02	2	96	0.0035
LED indikator	3.3	0.01	1	96	0.0009
TOTAL (perhitungan komponen)					≈ 6.84
Wh/day					

Perhitungan pada table di atas menggunakan asumsi-asumsi diantaranya: 1) Frekuensi sampling, setiap 15 menit = 96 kirim/hari, 2) Tegangan system = 12 V nominal, 3) Efisiensi DC-DC (konversi) $\approx 90\%$ (untuk menghitung dari tegangan sensor ke baterai), 4) Efisiensi sistem total (kabel, controller, baterai, rugi konversi) $\eta_{\text{system}} = 0,75$, 5) PSH (lokasi Ternate): diasumsikan 4.5 jam/hari, 6) DoD baterai = 0.8. 7) Autonomi yang diinginkan: $N_{\text{autonomi}} = 3$ hari.

Nilai pada kolom Energi adalah energi pada tegangan perangkatnya; energi yang ditarik dari baterai memperhitungkan efisiensi DC-DC (mis. dibagi 0.90) sehingga total akhir yang disuplai baterai ≈ 6.85 Wh/day. Untuk kepraktisan perhitungan, kita gunakan nilai $E_{\text{harian}} = 6,85$ Wh/day.

B. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Photovoltaic

Komponen PV untuk menentukan kapasitas baterai (Wh / Ah) dan daya panel (W) yang memenuhi E_{harian} IoT dengan margin keandalan dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 2. Komponen Perancangan PLTPV

No	Komponen
1	Panel PV 100 W $\times$ 1
2	MPPT Charge Controller 30 A $\times$ 1
3	Baterai LiFePO4 12 V 50 Ah $\times$ 1
4	Fuse holder + fuse (battery & PV)
5	Kabel PV (4 mm ²), kabel battery (4 mm ²)
6	MC4 connectors, mounting bracket heavy-duty
7	Enclosure IP66, battery box ventilated
8	SPD (DC surge protector), grounding rod

C. Perancangan Kapasitas PLTS

Kapasitas baterai (Wh / Ah) dan daya panel (W) yang memenuhi E_{harian} dengan margin keandalan.

1. Perhitungan Kapasitas baterai (Wh dan Ah)

Energi untuk otonomi $N_{\text{autonomi}} = 3$ hari:

$$E_{\text{total autonomi}} = E_{\text{harian}} \times N_{\text{autonomi}} = 6,85 \times 3 = 20,55 \text{ Wh.}$$

Memperhitungkan Depth of Discharge (DoD) = (0.8):

$$E_{\text{batt_needed}} = \frac{E_{\text{total autonomi}}}{\text{DoD}} = \frac{20,55}{0,8} = 25,6875 \text{ Wh.}$$

Konversi ke Ah pada 12 V:

$$\text{Ah} = \frac{E_{\text{batt_needed}}}{12} = \frac{25,6875}{12} = 2,1406 \text{ Ah.}$$

Hasil teoritis kecil; namun dalam praktik pilih baterai jauh lebih besar untuk margin, siklus hidup, dan kapasitas nyata. Desain robust gunakan baterai LiFePO4 12 V 50 Ah (≈ 600 Wh).

2. Ukuran panel surya (W)

Formulasi sederhana yang dapat digunakan dalam penentuan panel surya:

$$P_{\text{panel}} = \frac{E_{\text{harian}}}{PSH \times \eta_{\text{system}}}$$

Dengan:

$$E_{\text{harian}} = 6,85 \text{ Wh/day,}$$

$$PSH = 4,5 \text{ jam/day,}$$

$$\eta_{\text{system}} = 0,75.$$

$$P_{\text{panel}} = \frac{6,85}{4,5 \times 0,75} = \frac{6,85}{3,375} \approx 2,03 \text{ W.}$$

Hasil teoritis sangat kecil; praktiknya digunakan margin besar. Desain robust: panel 100 W dipilih untuk memberi keandalan (cadangan energi, kemampuan menambah sensor/kamera, hari berawan).

3. Pemilihan controller & proteksi

Controller: MPPT 30 A (untuk headroom dan efisiensi tinggi) atau MPPT 10–20 A tergantung jumlah panel yang akan dihubungkan. Pada desain robust dengan panel 100 W dan kemungkinan ekspansi, MPPT 30 A direkomendasikan

V. KESIMPULAN

1. Berdasarkan perhitungan konsumsi komponen IoT dengan frekuensi pengambilan sampel setiap 15 menit (96 kali/hari), diperoleh kebutuhan energi rata-rata harian sistem sebesar 6,85 Wh/day.
2. Untuk menyediakan cadangan otonomi selama 3 hari, energi yang harus disediakan baterai adalah: $E_{\text{autonomi}} = 6,85 \text{ Wh/day} \times 3 = 20,55 \text{ Wh}$ atau 12 V (Ah = 20,55 Wh/12 V = 2,14 Ah).
3. Kapasitas panel surya sebesar 2,03 W, namun hasil perhitungan ini sangat kecil, sehingga direkomendasikan digunakan margin besar yaitu panel 100 W untuk memberi keandalan (cadangan energi, kemampuan menambah sensor/kamera, saat hari berawan).

REFERENSI

- [1] F. Saragih, R. Buaton, and M. Simanjuntak, "Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT)," no. 3, 2024.
- [2] T. R. Tangga, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," vol. 06, no. 02, pp. 136–142, 2022.
- [3] H. Bayu and J. Windarta, "Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di," vol. 2, no. 3, pp. 123–132, 2025, doi: 10.14710/jebt.2021.10043.
- [4] P. Amelia, Y. Wijanarko, and S. Rasyad, "Monitoring Kinerja PLTS 2x100Wp Menggunakan Parameter Arus , Daya , dan Intensitas Matahari dengan Metode Eksperimen," 2025.
- [5] I. J. Manihuruk, A. Eng, and Y. A. Simbolon, "Volume 4 No . 1 Februari 2024 Analisis dan Monitoring Utilitas Daya PLTS 618 . 9 kWp Terhadap Potensi Iradiansi Matahari di Universitas HKBP Nommensen Medan SKYLANDSEA PROFESIONAL Jurnal Ekonomi , Bisnis dan Teknologi SKYLANDSEA PROFESIONAL Jurnal Ekonomi , Bisnis dan Teknologi," vol. 4, no. 1, pp. 73–82, 2024.
- [6] Y. Carriazo-regino, R. Baena-navarro, and F. Torres-hoyos, "IoT-based drinking water quality measurement : systematic literature review," vol. 28, no. 1, pp. 405–418, 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v28.i1.pp405-418.
- [7] F. Prasetyo, E. Putra, M. A. Mahmud, and I. S. Maqom, "Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus Digital Transformation Technology (Digitech) | e-ISSN : 2807-9000 Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus," no. September 2023, 2024, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3457.
- [8] W. A. Jabbar *et al.*, "Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas," *Expert Syst. Appl.*, vol. 242, no. November 2023, p. 122862, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122862.
- [9] S. Mhatre, M. Patil, and S. Nalawade, "Swachcha : IOT Based Water Quality Monitoring System," vol. 15, no. 2, pp. 782–789, 2025.
- [10] R. Kusumah, H. I. Islam, and S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet

of Things (IoT) Pada Ruang Data Center,” *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 82–88, 2023, doi: 10.30871/jaic.v7i1.5199.

- [11] Yuliana, “Tingkat Kesuburan Danau Ngade Ternate Berdasarkan Kandungan Nitrat Dan Fosfat,” in *Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-35*, 2023, pp. 296–303.