

ANALISIS TEKNIS SISTEM HYBRID 100W 24H

Desain & Perhitungan Kinerja untuk Beban Konstan 100 Watt Operasi 24 Jam Nonstop

Target Beban:	100 Watt (Konstan, 24 Jam / Hari)
Kecepatan Angin (v):	7 m/s (Rata-rata konstan)
Konfigurasi Sistem:	Hybrid VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) + Solar Panel (PV) + Baterai Lithium
Lokasi / Kondisi:	Tropis (Peak Sun Hours / PSH efektif 4.5 jam/hari)

1. Analisis Kebutuhan Energi Harian (Load Demand)

Beban total yang harus disuplai oleh sistem hybrid adalah sebesar 100 Watt yang beroperasi terus-menerus selama 24 jam. Perhitungan kebutuhan energi total per hari adalah sebagai berikut:

$$E_{load} = P_{load} \times t = 100 \text{ Watt} \times 24 \text{ jam} = 2.400 \text{ Wh/hari} = 2,4 \text{ kWh/hari}$$

Memperhitungkan faktor rugi-rugi konversi daya (efisiensi inverter 90% dan efisiensi pengisian/pengosongan baterai 90%), total energi yang harus dibangkitkan oleh sistem pembangkit adalah:

$$E_{total} = \frac{2.400 \text{ Wh}}{0,90 \times 0,90} \approx 2.963 \text{ Wh/hari} \approx 2,96 \text{ kWh/hari}$$

2. Perhitungan Kapasitas Pembangkit (VAWT & Solar Panel)

Untuk mencapai target energi 2,96 kWh/hari, pembagian suplai energi dibagi menjadi porsi seimbang 50%:50% antara tenaga angin (VAWT) dan surya (Solar Panel), masing-masing menyuplai sekitar 1,48 kWh/hari.

A. Perhitungan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) pada Kecepatan 7 m/s

Daya teoritis angin dihitung berdasarkan persamaan aerodinamika:

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \rho \cdot h \cdot A \cdot v^3$$

Dimana densitas udara $\rho \approx 1,225 \text{ kg/m}^3$ dan kecepatan angin $v = 7 \text{ m/s}$. Batas maksimal efisiensi aerodinamis turbin angin dibatasi oleh Hukum Betz ($C_p \approx 0,35$ untuk VAWT jenis Savonius-Darrieus modern):

- Diasumsikan generator dan sistem transmisi memiliki efisiensi total $\eta_{\text{gen}} = 0,75$.
- Untuk menghasilkan energi $E_{\text{VAWT}} = 1.480 \text{ Wh/hari}$ dengan asumsi angin bertiup efektif selama 16 jam per hari (faktor kapasitas/intermitensi), maka kapasitas daya nominal VAWT yang dibutuhkan adalah:

$$P_{\text{rated, VAWT}} = \frac{1.480 \text{ Wh}}{16 \text{ jam}} \approx 92,5 \text{ Watt}$$

Maka, direkomendasikan menggunakan **VAWT berkapasitas nominal 100 Watt** dengan diameter sapuan (sweep area) sekitar 1,2 hingga 1,4 meter.

B. Perhitungan Panel Surya (Solar Panel / PV)

Dengan asumsi Peak Sun Hours (PSH) efektif di wilayah tropis adalah 4,5 jam per hari, kapasitas panel surya yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1.480 Wh/hari adalah:

$$P_{\text{PV}} = \frac{E_{\text{PV}}}{\text{PSH} \cdot \eta_{\text{sys}}} = \frac{1.480 \text{ Wh}}{4,5 \text{ jam} \cdot 0,80} \approx 411 \text{ Watt-peak (Wp)}$$

Direkomendasikan menggunakan konfigurasi **2 unit Solar Panel @ 200Wp – 210Wp** (total 400–420 Wp).

3. Sizing & Kapasitas Baterai Lithium

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi cadangan agar sistem dapat beroperasi 24 jam penuh, terutama pada malam hari saat solar panel tidak aktif dan mengantisipasi fluktuasi kecepatan angin.

Parameter Perhitungan Baterai	Nilai / Spesifikasi	Keterangan
Energi Beban Harian (E_{load})	2.400 Wh	Beban 100W × 24 jam
Hari Otonomi (N_{autonomy})	1 Hari (24 Jam)	Cadangan penuh saat cuaca buruk / nir-angin

Parameter Perhitungan Baterai	Nilai / Spesifikasi	Keterangan
Depth of Discharge (DoD) Lithium	80% (0,80)	Batas aman pakai jenis LiFePO4 agar umur panjang
Efisiensi Baterai (η_{bat})	95% (0,95)	Efisiensi coulombic sel lithium
Tegangan Nominal Sistem	24 Volt DC	Standar sistem menengah 100W–500W

Perhitungan Kapasitas Energi Baterai (Wh & Ah):

$$E_{bat, total} = \frac{E_{load}}{\eta_{bat}} \times N_{autonomy} \times DoD = \frac{2.400 \text{ Wh}}{0,95} \times 1 \times 0,80 \approx 3.158 \text{ Wh}$$

Mengonversi kapasitas energi total ke dalam satuan Ampere-Hour (Ah) pada tegangan sistem 24 Volt:

$$C_{Ah} = \frac{E_{bat, total}}{V_{system}} = \frac{3.158 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} \approx 131,6 \text{ Ah}$$

Rekomendasi Spesifikasi Baterai Lithium

Jenis Baterai: **Lithium Iron Phosphate (LiFePO4)** 24V dengan kapasitas minimal **135 Ah hingga 140 Ah** (atau menggunakan konfigurasi 2 unit baterai 12V 150Ah yang dirangkai secara seri). Jenis LiFePO4 dipilih karena siklus hidup yang panjang (>3000 siklus), keamanan termal yang tinggi, serta tingkat pelepasan daya yang stabil.

4. Ringkasan Komponen Sistem Hybrid

Komponen Utama	Spesifikasi Teknis Rekomendasi	Fungsi Utama
VAWT (Wind Turbine)	100W, 24V DC Output (Cut-in 2.5 m/s, Rated 7 m/s)	Konversi energi kinetik angin menjadi listrik
Solar Panel (PV)	400 Wp (2 × 200Wp Monocrystalline)	Konversi energi surya menjadi listrik siang hari
Baterai Penyimpan	LiFePO4 24V 140Ah (~3.360 Wh)	Penyimpanan energi untuk suplai beban 24 jam

Komponen Utama	Spesifikasi Teknis Rekomendasi	Fungsi Utama
Hybrid Controller	MPPT Solar Charge Controller + Wind Turbine Controller (24V)	Regulasi pengisian baterai dari 2 sumber & proteksi overcharge
Inverter DC to AC	Pure Sine Wave (PSW) 300W - 24V to 220V AC	Mengubah arus DC baterai menjadi AC untuk beban