

ANALISA TEKNIS SISTEM HYBRID [LARGE]

Perancangan Hybrid VAWT & Solar Panel untuk Beban Motor 4 kW dan Lampu LED 1080

Prepared for: Nur Cholis Asyhari | Date: Agustus 2026 | Wind Speed: 7 m/s

1. Pendahuluan & Parameter Desain

Dokumen ini menyajikan analisa teknis mendalam dan perhitungan rekayasa untuk perancangan sistem tenaga surya dan turbin angin vertikal (VAWT) hibrid. Sistem dirancang guna mencukupi kebutuhan daya harian spesifik yang terdiri dari operasional motor induksi 4 kW selama 1 jam dan penerangan lampu LED total 1080 watt selama 8 jam sehari, dengan kecepatan angin rata-rata referensi $v = 7 \text{ m/s}$.

Parameter Sistem	Kapasitas / Spesifikasi	Durasi Operasi / Beban Harian
Beban Motor (Induksi/Pompa/Mesin)	4.000 W (4 kW)	1 jam / hari = 4.000 Wh
Beban Lampu LED	1.080 W	8 jam / hari = 8.640 Wh
Total Konsumsi Energi Harian (E_{load})	-	12.640 Wh / hari (12,64 kWh)
Kecepatan Angin Rencana (v)	7 m/s	Potensi VAWT Kontinu

2. Analisa Kebutuhan Energi & Faktor Efisiensi

Dalam merancang sistem off-grid atau hybrid otonom, rugi-rugi konversi daya inverter, efisiensi round-trip baterai, serta faktor keamanan (*Safety Factor / Days of Autonomy*) harus diperhitungkan secara presisi agar sistem tidak mengalami kegagalan suplai (*loss of load*).

- Energi Beban Murni:** $E_{load} = 12.640 \text{ Wh/hari}$
- Efisiensi Sistem Inverter & Konverter:** Diasumsikan $\eta_{sys} = 85\%$ (0,85) mencakup inverter DC-AC dan MPPT charge controller.
- Total Energi Dibutuhkan dari Pembangkit:** $E_{gen} = \frac{12.640}{0,85} \approx 14.870 \text{ Wh/hari}$

3. Perhitungan Kapasitas Pembangkit (VAWT & Solar Panel)

Beban harian 14.870 Wh dibagi secara proporsional antara turbin angin vertikal (VAWT) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Diasumsikan rasio pembangkitan 50% dari VAWT dan 50% dari Solar Panel untuk menjaga keseimbangan siang-malam.

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

Daya teoritis angin pada luasan sapuan turbin (*Swept Area, A*) dirumuskan sebagai:

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

Dimana massa jenis udara $\rho \approx 1,225 \text{ kg/m}^3$ dan kecepatan angin $v = 7 \text{ m/s}$. Berdasarkan hukum Betz limit (maksimum efisiensi teoretis 59,3%) dan koefisien daya riil VAWT ($C_p \approx 0,30$), daya aktual turbin angin adalah:

$$P_{VAWT} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

Untuk mensuplai target energi angin sekitar 7.435 Wh/hari (dengan asumsi ekuivalen jam puncak angin setara 5 jam efektif per hari):

Rekomendasi Kapasitas VAWT: Diperlukan turbin angin tipe Darrieus atau Savonius-Darrieus H-Type dengan kapasitas nominal **1.500 W (1,5 kW)** yang mampu menghasilkan output optimal pada kecepatan angin 7 m/s.

B. Perhitungan Solar Panel (PLTS)

Untuk mencukupi sisa kebutuhan energi harian sekitar 7.435 Wh dengan asumsi Peak Sun Hours (PSH) rata-rata di wilayah Indonesia adalah 4,5 jam per hari:

$$Kapasitas\ PV = \frac{Energi\ Harian\ PV}{PSH \cdot Derating\ Factor} = \frac{7.435\ Wh}{4,5 \cdot 0,8} \approx 2.065\ Wp$$

Rekomendasi Kapasitas Solar Panel: Diperlukan susunan panel surya berdaya total **2.100 Wp (misal: 5 modul panel @ 420 Wp)**.

4. Perhitungan Kapasitas Baterai Lithium

Pemilihan jenis baterai **Lithium Iron Phosphate (LiFePO4)** sangat disarankan karena memiliki siklus hidup yang panjang (*deep cycle* >3000 siklus), efisiensi tinggi (>95%), serta aman. Kapasitas baterai dihitung berdasarkan total energi harian dan toleransi kedalaman pelepasan daya (*Depth of Discharge / DoD*).

Parameter Perhitungan Baterai	Nilai & Rumus
Total Energi Beban Harian (E_{load})	12.640 Wh
Kedalaman Pelepasan Aman (DoD LiFePO4)	80% (0,8)
Faktor Otonomi Sistem (<i>Days of Autonomy</i>)	1 Hari (cadangan cuaca buruk / tanpa angin)
Efisiensi Inverter & Baterai (η)	90% (0,9)

Parameter Perhitungan Baterai	Nilai & Rumus
Kapasitas Energi Baterai (E_{batt})	$E_{batt} = \frac{12.640 \times 1}{0,8 \times 0,9} = 17.555 \text{ Wh}$

Jika sistem menggunakan konfigurasi tegangan nominal DC Bus sebesar **48 V**, maka kapasitas amp-hour (Ah) baterai yang dibutuhkan adalah:

$$Kapasitas (Ah) = \frac{17.555 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} \approx 365,7 \text{ Ah}$$

Spesifikasi Bank Baterai Lithium:

- Kebutuhan Total Energi: **17,55 kWh** (atau setara **365 Ah pada sistem 48V**).
- Konfigurasi Komersial: Dapat menggunakan modul baterai rack-mounted LiFePO4 48V 100Ah yang dirangkum paralel sebanyak 4 unit (total **400 Ah / 19,2 kWh**) untuk memberikan keandalan dan masa pakai optimal.

5. Ringkasan Rekomendasi Arsitektur Sistem Hybrid

Komponen Utama	Spesifikasi Teknis Rekomendasi
Turbin Angin (VAWT)	1,5 kW H-Type Darrieus (Cut-in: 2 m/s, Rated: 7 m/s)
Panel Surya (Solar Panel)	2.100 Wp (Monocrystalline Perc, 5x 420 Wp)
Baterai Penyimpanan	LiFePO4 48V 400Ah (Energi Total: 19,2 kWh, Usable: ~15,3 kWh)
Hybrid Inverter & MPPT	5 kW Off-Grid/Hybrid Inverter (Pure Sine Wave, 48V DC input)