

ANALISIS TEKNIS SISTEM HIBRIDA [SMALL]

Perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) untuk Beban Motor 1 kW dan Lampu LED 120 Watt beserta Penentuan Kapasitas Baterai Lithium

Ringkasan Parameter Utama:

- Kecepatan Angin (v): 7 m/s | Jenis Turbin: VAWT (Vertical Axis Wind Turbine)
- Beban Motor: 1.000 Watt (1 kW) selama 1 jam/hari (Kebutuhan: 1.000 Wh)
- Beban Lampu LED: 120 Watt selama 8 jam/hari (Kebutuhan: 960 Wh)
- Total Konsumsi Energi Harian: **1.960 Wh/hari** (1,96 kWh/hari)

1. Analisis Kebutuhan Beban Harian (Energy Demand)

Sebelum menentukan kapasitas pembangkit dan penyimpanan energi (baterai), perlu dilakukan perhitungan rinci mengenai total konsumsi energi harian (Watt-hour / Wh) dari semua beban yang terhubung.

Jenis Beban	Daya (Watt)	Durasi Operasi (Jam/Hari)	Konsumsi Energi Harian (Wh)
Motor Listrik	1.000 W	1 jam	1.000 Wh
Lampu LED	120 W	8 jam	960 Wh
Total Konsumsi Energi Harian (Gross)			1.960 Wh

Dengan memperhitungkan rugi-rugi daya pada sistem konversi (inverter, charge controller, dan efisiensi kabel diasumsikan total efisiensi sistem $\eta_{sys} = 85\%$), maka total energi yang harus disuplai oleh pembangkit dan disimpan dalam baterai adalah:

$$E_{total} = \frac{\text{Konsumsi Energi Harian}}{\eta_{sys}} = \frac{1.960 \text{ Wh}}{0.85} \approx 2.305.88 \text{ Wh} \\ \approx 2,31 \text{ kWh/hari}$$

2. Analisis Pembangkitan Energi Terbarukan (Renewable Generation)

2.1. Potensi Daya dari Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) pada Kecepatan Angin 7 m/s

Kecepatan angin 7 m/s merupakan kecepatan angin yang sangat baik dan produktif untuk skala mikro/komersial kecil. Daya teoritis yang terkandung dalam aliran angin dihitung dengan rumus:

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

Dimana:

- ρ (Massa jenis udara) = 1,225 kg/m³
- v (Kecepatan angin) = 7 m/s
- A (Luas sapuan rotor, $D \times H$)

Sebagai contoh desain, diasumsikan menggunakan **VAWT Darrieus/Savonius hibrida** dengan diameter (D) = 2 m dan tinggi (H) = 2,5 m, sehingga luas sapuan $A = 5 \text{ m}^2$.

- $P_{wind} = 0,5 \times 1,225 \times 5 \times (7)^3 = 0,5 \times 1,225 \times 5 \times 343 = 1.047,37 \text{ Watt}$

- Mengingat batas efisiensi maksimum turbin angin berdasarkan Hukum Betz ($C_{p \text{ max}} \text{ approx } 0,35 - 0,40$ untuk VAWT praktis), daya mekanik riil yang diekstrak adalah sekitar 35%:

$$P_{mech} = 1.047,37 \times 0,35 \text{ approx } 366,58 \text{ Watt}$$

- Dengan efisiensi generator ($\eta_{gen} = 80\%$), daya listrik keluaran VAWT ($P_{e, vawt}$) adalah:

$$P_{e, vawt} = 366,58 \times 0,80 \text{ approx } 293,26 \text{ Watt}$$

- Jika diasumsikan angin bertiup efektif selama 6 jam per hari dalam kondisi optimal (7 m/s), maka energi harian dari VAWT adalah:

$$E_{vawt} = 293,26 \text{ W} \times 6 \text{ jam} = 1.759,56 \text{ Wh/hari (1,76 kWh)}$$

2.2. Kontribusi Panel Surya (Solar Panel / Photovoltaic)

Untuk melengkapi sistem hibrida (menutupi defisit energi atau memberikan keandalan siang hari), dirancang kapasitas panel surya komplementer. Mengingat total kebutuhan energi kotor adalah 2.305 Wh dan VAWT menghasilkan sekitar 1.760 Wh (asumsi angin konsisten), sisa kebutuhan energi dapat ditutup oleh panel surya, atau dipasang modul surya berkapasitas standar **300 WattPeak (Wp)**.

- Kapasitas Panel Surya: **300 Wp**
- Peak Sun Hours (PSH) rata-rata di wilayah Indonesia: $\pm 4,5$ jam/hari
- Energi harian dari panel surya (E_{pv}) dengan asumsi efisiensi sistem 75%:
$$E_{pv} = 300 \text{ Wp} \times 4,5 \text{ jam} \times 0,75 = 1.012,5 \text{ Wh/hari (1,01 kWh)}$$

Total Energi Harian Sistem Hibrida:

$$E_{total \text{ gen}} = E_{vawt} + E_{pv} = 1.759,56 \text{ Wh} + 1.012,5 \text{ Wh} = 2.772,06 \text{ Wh/hari (2,77 kWh)}$$

Energi yang dibangkitkan ($> 2.305 \text{ Wh}$) mencukupi kebutuhan beban harian dan memberikan cadangan pengisian baterai (Safety Factor $\sim 1,2$).

3. Penentuan Kapasitas Baterai Lithium

Baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh VAWT dan Panel Surya serta menyuplai beban saat dibutuhkan (terutama saat beban motor 1 kW dinyalakan, di mana lonjakan daya atau kebutuhan daya tinggi diperlukan).

3.1. Parameter Perhitungan Baterai

- **Total Kebutuhan Beban Harian:** 1.960 Wh
- **Depth of Discharge (DoD) Baterai Lithium (LiFePO_4):** 80% (0,8) agar umur siklus (cycle life) panjang mencapai 3.000–5.000 siklus.
- **Autonomi Hari (Days of Autonomy):** 1 hari (cadangan pengaman jika cuaca mendung/tanpa angin).
- **Tegangan Sistem Nominal (V_{sys}):** 24 Volt DC (standar ideal untuk beban inverter 1 kW guna menekan arus beban).

3.2. Perhitungan Kapasitas Baterai (Wh dan Ah)

1. Kapasitas Energi Baterai (Wh_{batt}):

$$Wh_{\text{batt}} = \frac{\text{Total Beban Harian} \times \text{Autonomi}}{\text{DoD} \times \eta_{\text{inverter}}} = \frac{1.960 \text{ Wh}}{0,8 \times 0,90} = \frac{1.960}{0,72} \approx 2.722,22 \text{ Wh}$$

2. Kapasitas Ampere-Hour (Ah_{batt}) pada Tegangan 24V:

$$Ah_{\text{batt}} = \frac{Wh_{\text{batt}}}{V_{\text{sys}}} = \frac{2.722,22 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} \approx 113,43 \text{ Ah}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, spesifikasi praktis baterai Lithium yang direkomendasikan di pasaran adalah:

- **Rekomendasi Baterai LiFePO_4 (Lithium Iron Phosphate) 24V 120Ah** (atau konfigurasi 2 unit baterai 12V 120Ah seri).
- Total kapasitas energi nominal: $24 \text{ V} \times 120 \text{ Ah} = 2.880 \text{ Wh (2,88 kWh)}$, yang sangat memadai untuk menampung seluruh kebutuhan operasional harian dengan aman.

4. Rekomendasi Spesifikasi Perangkat Pendukung (BOM)

Untuk memastikan sistem hibrida berjalan stabil, andal, dan efisien, berikut adalah ringkasan spesifikasi komponen pendukung sistem:

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi Utama
Turbin Angin (VAWT)	Kapasitas 500W, Cut-in speed 2.5 m/s, Rated 7 m/s, 24V DC	Menangkap energi angin sumbu vertikal.
Panel Surya (PV)	Monocrystalline 300 Wp (1 atau 2 modul paralel)	Konversi energi surya menjadi listrik DC.
Hybrid Charge Controller	MPPT 40A / 24V (Support Wind Turbine + Solar Panel)	Mengatur pengisian baterai dari dua sumber & proteksi overcharge.
Baterai Penyimpanan	LiFePO ₄ 24V 120Ah (dengan BMS / Battery Management System)	Penyimpanan energi listrik berkapasitas >2,8 kWh.
Inverter DC to AC	Pure Sine Wave (PSW) 1500W - 2000W, 24V DC to 220V AC	Menyalurkan daya lonjakan (surge power) untuk motor 1 kW.

5. Kesimpulan

Sistem hibrida antara VAWT (pada kecepatan angin 7 m/s yang menghasilkan ~1,76 kWh/hari) dan Panel Surya 300 Wp (~1,01 kWh/hari) mampu menghasilkan total energi harian sekitar **2,77 kWh**. Energi ini sangat mencukupi untuk memenuhi beban harian sebesar **1,96 kWh** (Motor 1 kW selama 1 jam dan Lampu LED 120W selama 8 jam). Kapasitas penyimpanan baterai Lithium (LiFePO₄) yang optimal dan aman untuk sistem ini adalah **24V 120Ah (2,88 kWh)** dengan cadangan DoD 80%.