

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Power Supply Relay Proteksi, Heater Kubikel & Penerangan Gardu Tembok

Lilik Hari Santoso¹, Budi Sunarto², Kobul Pangidoan³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Texmaco, Indonesia
Email: lilik.hs@yahoo.com

Received 31 Agustus 2026 | Revised 14 September 2026 | Accepted 22 September 2026

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi inovatif untuk menyediakan pasokan daya bagi relai proteksi, pemanas, dan penerangan pada gardu tembok, khususnya di kawasan industri pelanggan Tegangan Menengah. Umumnya, gardu tembok yang letaknya jauh dari sumber 220 Volt memerlukan investasi sangat besar dan ruang luas untuk pemasangan trafo distribusi beserta material kubikel. Selain itu, sistem konvensional yang mengandalkan daya dari jaringan distribusi sangat rentan gagal. Saat terjadi gangguan jaringan, relai akan kehilangan daya dan tidak bisa berfungsi. Sebagai solusi, dirancang sistem PLTS sederhana dan ringkas dengan panel surya di atap serta panel kontrol di dinding gardu. Pemanfaatan PLTS ini terbukti mampu memberikan efisiensi anggaran secara maksimal, menghemat penggunaan ruang, serta meningkatkan keandalan sistem proteksi. Dengan sumber listrik mandiri, relai tidak lagi terpengaruh oleh berbagai gangguan instalasi pelanggan maupun distribusi, sehingga selalu siap bekerja mengamankan jaringan dari arus gangguan secara optimal.

Kata Kunci: PLTS, Catu Daya, Relay Proteksi, Heater Kubikel, Gardu Tembok.

ABSTRACT

Solar Power Plants (PLTS) offer an innovative solution for supplying power to protection relays, heaters, and lighting systems in masonry substations, particularly those serving medium-voltage industrial customers. Typically, masonry substations located far from a 220-volt power source require significant investment and extensive space to accommodate distribution transformers and switchgear cubicles. Furthermore, conventional systems relying on power from the distribution grid are highly susceptible to failure; during grid disturbances, relays lose power and become inoperative. To address this, a simple, compact solar power system has been designed, featuring roof-mounted solar panels and a wall-mounted control panel. Implementing this solar power solution maximizes cost-efficiency, saves space, and enhances the reliability of the protection system. With an independent power source, relays remain unaffected by disturbances in either customer installations or the distribution grid, ensuring they are always ready to optimally protect the network against fault currents.

Keywords: Solar Power Plant, Power Supply, Protection Relay, Cubicle Heater, Masonry Substation.

1. PENDAHULUAN

Salah satu pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik adalah pembangkit listrik tenaga surya, atau disingkat PLTS. Fasilitas ini menggunakan teknologi sel surya, yang juga dikenal sebagai fotovoltaiik, untuk menghasilkan listrik. Modul fotovoltaiik, inverter jaringan atau pengontrol pengisian daya surya, baterai, dan sejumlah komponen tambahan membentuk sistem PLTS. Terdapat berbagai jenis sistem PLTS, termasuk sistem mandiri yang tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (off-grid) dan sistem yang terhubung ke jaringan listrik PLN (on-grid)[1]. Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang banyak tersedia di Indonesia. Dengan intensitas matahari harian yang cukup, Indonesia memiliki sumber energi surya yang melimpah karena letaknya yang berada di garis khatulistiwa[2], [3]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 Bab III Bagian Satu Kebijakan Utama Paragraf 3 Pasal 12 ayat (1) bagian b tentang pemanfaatan sumber daya energi nasional, "Pemanfaatan sumber energi terbarukan dari jenis energi surya diarahkan untuk listrik, dan energi non-listrik untuk industri, rumah tangga, dan transportasi"[4]. Peraturan ini menguraikan potensi energi terbarukan Indonesia. Oleh karena itu, optimalisasi pemanfaatan energi surya perlu dilakukan. Dengan kondisi cuaca daerah karawang yang lebih dominan pada cuaca panas setiap harinya, tentunya pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan lebih optimal. Perkembangan industri di wilayah Jawa Barat khususnya Karawang sangat berkembang pesat dan kebutuhan suplay listrik semakin banyak dan lebih handal. Gangguan yang disebabkan oleh instalasi akan menyebabkan instalasi lainnya yang terhubung secara system akan merasakan gangguan tersebut, sehingga peralatan distribusi harus semakin handal dan system proteksi harus semakin handal. Dengan adanya suplay power dari PLTS ini untuk power proteksi, power heater dan penerangan di dalam gardu tembok harapannya system bisa bekerja lebih handal. Bisa dibayangkan apabila adanya gangguan system pada suatu instalasi maka secara otomatis power listrik pada instalasi tersebut sudah pasti berhenti bekerja, namun ada satu system yang diharapkan tidak ikut berhenti bekerja apa bila terjadi kondisi tersebut yaitu "Sistem Proteksi". Sistem proteksi harus akan dapat bekerja di suplay power pada alat normal, dengan adanya power suplay dari PLTS ini maka system proteksi tidak akan ikut padam jika adanya gangguan internal pada suatu instalasi[5], [6]. Begitu juga heater merupakan 1 komponen penting dalam kubikel 20KV. Fungsinya sangat penting untuk menjaga kelembapan dalam instalasi kubikel 20KV. Beberapa kasus terjadinya gangguan kubikel 20KV yang terjadi akibat dari tidak berfungsinya heater [7], [8], [9].

2. METODE

2.1 Analisis Kebutuhan Beban

Perancangan diawali dengan mengidentifikasi total konsumsi energi harian pada gardu tembok. Komponen beban mencakup relay proteksi DC, heater kubikel AC, dan lampu penerangan AC.

Tabel 1. Rincian Kebutuhan Energi Harian Gardu Tembok

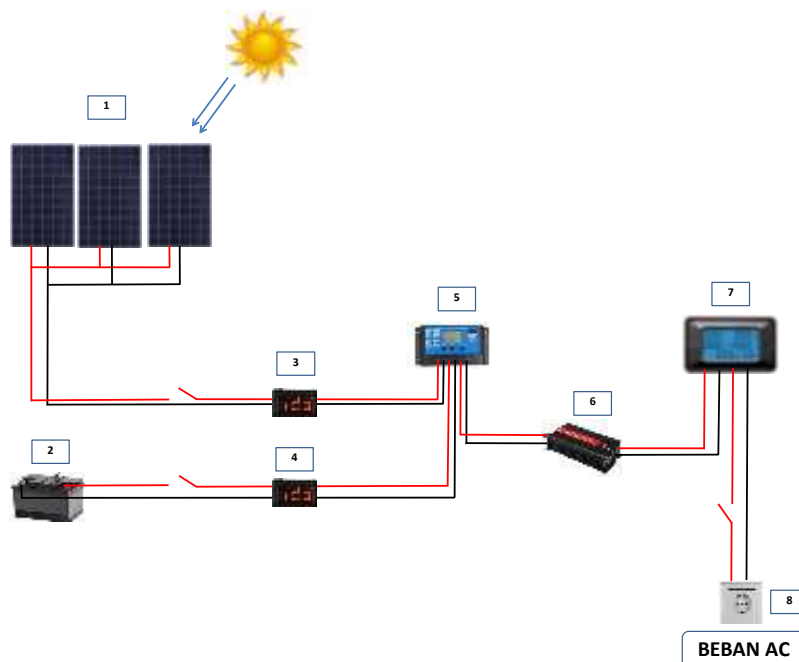
No	Peralatan/Beban	Daya (W)	Jumlah	Total Daya (W)	Durasi (Jam)	Konsumsi (Wh)
1	Relay Proteksi (DC)	5	1 unit	5	24	120
2	Heater Kubikel (AC)	55	3 unit	165	24	3.960
3	Lampu Penerangan (AC)	30	2 unit	60	3	180
Total Konsumsi Energi				185 W		4.260 WH

2.2 Diagram Skematik

Gambar 2 mengilustrasikan diagram skematik dan pengawatan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Off-Grid Photovoltaic System) yang dirancang untuk menyuplai daya ke beban Alternating Current (AC) pada gardu tembok.

Arsitektur dan komponen utama dari rangkaian PLTS ini terdiri dari:

1. Modul Panel Surya (PV Array) (1): Terdiri dari tiga unit panel surya yang dihubungkan secara paralel untuk menangkap radiasi sinar matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik arus searah (Direct Current / DC).
2. Baterai / Akumulator (2): Berfungsi sebagai media penyimpan energi listrik (energy storage system) guna menjamin ketersediaan daya secara berkesinambungan (uninterruptible power supply).
3. Voltmeter/Digital Meter PV (3): Berfungsi untuk memantau nilai tegangan dan arus listrik DC yang dihasilkan oleh panel surya secara real-time.
4. Voltmeter/Digital Meter Baterai (4): Berfungsi untuk mengawasi status tegangan dan pengisian/pengosongan (charging/discharging) pada Baterai.
5. Solar Charge Controller / SCC (5): Berperan sebagai pengatur regulasi daya, mengontrol tegangan dan arus dari panel surya menuju baterai, serta melindungi baterai dari risiko overcharge maupun overdischarge.
6. Power Inverter (6): Berfungsi mengonversi tegangan arus searah (DC) dari baterai/SCC menjadi tegangan arus bolak-balik (AC) bertegangan 220 Volt.
7. Digital Power Meter AC (7): Berfungsi memantau dan menampilkan parameter kelistrikan beban AC secara lengkap, meliputi tegangan, arus, daya, dan frekuensi (50 Hz).
8. Terminal/Stopkontak Beban AC (8): Tempat mendistribusikan daya listrik AC hasil konversi ke peralatan gardu, seperti relai proteksi, pemanas (heater) kubikel, dan lampu penerangan.



Gambar 2. Diagram Skematik

Prinsip kerja sistem diawali dengan penyerapan radiasi matahari oleh tiga modul panel surya (1). Energi listrik DC yang dihasilkan dialirkan menuju *Solar Charge Controller* (SCC) (5) melalui sakelar pengaman dan alat ukur digital (3). SCC mengatur pengisian arus ke baterai (2) yang kondisinya dipantau oleh pemantau tegangan (4). Selanjutnya, arus DC dari SCC dialirkan ke *power inverter* (6) untuk diubah menjadi arus bolak-balik (AC 220V/50Hz). Keluaran dari *inverter* melewati *digital power meter* (7) untuk mengukur parameter konsumsi daya sebelum akhirnya disalurkan melalui terminal (8) menuju beban AC gardu tembok.

2.3 Perhitungan Komponen Utama PLTS

1. Kapasitas Panel Surya (P_{pv})

Untuk mencari total kapasitas panel surya, kita perlu mengetahui total kebutuhan energi harian dan rata-rata durasi penyinaran matahari efektif di lokasi pemasangan, yang biasa disebut dengan Peak Sun Hours (PSH). Di Indonesia, nilai PSH rata-rata berkisar antara 3.5 hingga 4.5 jam (tergantungan wilayah dan kondisi cuaca). Untuk perhitungan aman kita menggunakan angka 4 jam. Untuk Faktor rugi-rugi (Losses Factor) kita gunakan 1,25 (artinya ada cadangan 25% untuk mengkompensasi rugi-rugi akibat efisiensi panel yang turun karena panas, rugi kabel, kotoran/debu dan efisiensi Solar Charge Controller). Jadi untuk menghitung total kapasitas panel surya yang dibutuhkan dalam satuan Watt Peak (Wp), kita gunakan rumus :

$$P_{pv} = \frac{\text{Total Energy}}{\text{PSH}} \times \text{loss} \quad (1)$$

$$= \frac{4260 \text{ Wh}}{4 \text{ h}} \times 1.25 = 1.331,25 \text{ Wp}$$

Kebutuhan ini setara dengan 14 unit panel surya berkapasitas 100 Wp.

Tabel 2. Spesifikasi Panel Surya yang digunakan

Solar Panel 100 WP Poly Crystalline	
Kapasitas	Nilai
Model GH 100P	18 Volt
Rate Maksimum (Pmax)	100W
Toleransi	3%
Voltage at Pmax (Vmp)	18,30V
Current at Pmax (Imp)	5,47A
Open-Circuit Voltage (Voc)	22.5 V
Short Circuit Current (Isc)	5,91A
Normal Operating Cell Temp (NOCT)	47°C
Maksimum System Voltage	1000VDC
Maksimal Series Fuse Rating	15 A
Operating Temperature	40 – 85 °C
Application Class	Class A
Cell Technology	Poly-Si
Weight	8.5 kg
Dimension (mm)	1020*670*30 mm

2. Kapasitas Baterai (C_{bat}):

Tegangan sistem dirancang sebesar 12 V dengan Depth of Discharge (DoD) baterai sebesar 80% (0,8):

$$C_{bat} = \frac{\text{Total Energy}}{\text{Tegangan Sistem} \times \text{DoD}} \quad (2)$$

$$= \frac{4260Wh}{12 V \times 0.8} = 443,75 Ah$$

Kapasitas ini dipenuhi oleh 5 unit baterai 12 V 100 Ah yang dirangkai paralel.

3. Inverter

Daya kontinyu total beban AC dan DC adalah 185 W. Untuk menjamin efisiensi dan mengantisipasi lonjakan daya (surge power) awal, dipilih inverter tipe High Frequency berkapasitas minimum 400 W[10].

4. Solar Charge Controller (SCC)

Arus minimum SCC dihitung berdasarkan total daya beban terhadap tegangan sistem:

$$Arus SCC = Jumlah Panel \times \frac{Daya Beban}{Tegangan} \quad (3)$$

$$= 14 \times \frac{185 W}{12 V} = 215,74 A$$

2.4 Desain Perangkat Keras

Dalam pembuatan dan perakitan rangka panel surya dibutuhkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses rancangan.

Tabel 3. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
a. Las	a. Kabel Serabut & Kabel Tunggal
b. Mesin Bor	b. Panel Surya
c. Gerinda	c. Baut & Mur
d. Kipas Angin	d. Aki
e. Tang Potong dan Kombinasi	e. Inverter
f. Beng + dan Obeng –	f. Besi <i>Hollow</i>
g. Miltimeter	g. Panel Box
	h. Digitas Wattmeter
	i. MCB
	j. Stok Kontak dan
	k. <i>Solar Charge Controller</i>
	l. Saklar ON/OFF

2.5 Prosedur Perakitan Rangka Panel Surya

Prosedur pembuatan dan perakitanrangka panel surya yaitu sebagai berikut :

- Menyiapkan alat dan bahan.
- Melobangi panel untuk komponen-komponen yang ada pada panel surya.
- Menempatkan seluruh komponen pada lobang yang sudah dibuatkan pada panel surya.
- Mengencangkan seluruh komponen dalam panel.
- Merangkai seluruh komponen sesuai dengan desain yang sudah dibuatkan.
- Melakukan pengujian rangkaian dengan menggunakan Multit tester.
- Melakukan pengujian dengan instalasi yang sudah selesai dirangkai.



Gambar 3. Panel PLTS Tampak Depan



Gambar 4. Panel PLTS Tampak Samping



Gambar 5. Wiring Panel PLTS



Gambar 6. Solar Panel 100 WP

2.6 Rangkaian Sistem

Prosedur pembuatan rangkaian sistem yaitu :

1. Menyiapkan panel surya, panel box dan beban
2. Memasang komponen pada panel box yang terdiri dari *MCB*, *digital multimeter*, *Solar Charge Controller*, *Inverter*, Stop Kontak, Saklar ON/OFF, *Volt meter*.
3. Memasang Aki dan menghubungkan ke Panel box.
4. Memasang Panel Surya dan menghubungkan ke Panel box.
5. Memasang beban.



Gambar 7. Hasil Perancangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian PLTS Tanpa Beban

Tabel 4. Pengujian Tanpa Bebas

No	Waktu	wattmeter PLTS					Tegangan Panel	Tegangan Accu	Keterangan
		Tegangan	Arus	Pout (W)	Kwh	PF			
1	10.00	234	0,03	0.00	0.02	0.06	13	12.8	Cerah
2	10.30	236	0,03	0.00	0.02	0.06	13.2	13.0	Cerah
3	11.00	237	0,03	0.00	0.03	0.06	13.2	13.2	Cerah
4	11.30	239	0,03	0.00	0.03	0.06	13.5	13.5	Cerah
5	12.00	239	0,03	0.00	0.03	0.06	13.5	13.5	Cerah
6	12.30	240	0,03	0.00	0.03	0.06	13.7	13.6	Cerah
7	13.00	242	0,03	0.00	0.03	0.06	13.8	13.8	Cerah
8	13.30	246	0,03	0.00	0.03	0.06	14.6	14.4	Cerah
9	14.00	245	0,03	0.00	0.03	0.06	14.5	14.5	Cerah
10	14.30	234	0,03	0.00	0.03	0.06	12.7	12.7	Mulai Berkurang

Pengujian tanpa beban dilaksanakan pada interval waktu pukul 10:00 WIB hingga 14:30 WIB. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa mulai pukul 10:00 WIB, panel surya mampu menghasilkan arus pengisian yang efektif menuju baterai. Pada pukul 14:30 WIB, terjadi penurunan intensitas radiasi matahari secara gradual, yang mengakibatkan tegangan keluaran panel surya menurun hingga mendekati nilai tegangan baterai.

3.2 Pengujian PLTS Berbeban

Tabel 5. Pengujian PLTS Berbeban

No	Waktu	Panael Surya	Output Baterai	Kwh Digital			
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Arus	Pout(W)	PF
1	10.00	12,3	12.2	226	0.26	55.41	0.95
2	10.30	12.5	12.5	228	0.26	55.43	0.95
3	11.00	12.8	12.7	229	0.26	56.29	0.95
4	11.30	12.8	12.7	229	0.26	56.29	0.95
5	12.00	12.8	12.7	229	0.26	56.29	0.95
6	12.30	12.9	12.8	231	0.26	56.30	0.95
7	13.00	13.0	12.9	232	0.26	57.00	0.95
8	13.30	13.1	13	233	0.26	57	0.95
9	14.00	13.1	12.9	232	0.26	57	0.95
10	14.30	12.3	12.3	226	0.26	55.67	0.09

Pengujian sistem berbeban menggunakan simulasi beban AC berupa kipas angin berdaya 50 Watt / 220 Volt. Berdasarkan hasil uji jalan, inverter dan sistem penyalur daya PLTS mampu mengoperasikan beban tersebut secara kontinu tanpa mengalami gangguan operasional maupun penurunan tegangan sistem yang drastis.

3.3 Pengujian Ketahanan Baterai (Tanpa Panel Surya)

Tabel 6. Pengujian PLTS Berbeban tanpa Panel Surya

No	Waktu	Panael Surya	Output Baterai	Kwh Digital			
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Arus	Pout(W)	PF
1	16.00	0	12.2	225	0.25	51.5	0.90
2	16.15	0	12.0	223	0.24	47.8	0.89
3	16.30	0	11.9	222	0.24	47.27	0.89
4	16.45	0	11.7	220	0.22	46.77	0.89

Pengujian ini bertujuan untuk menguji keandalan baterai dalam menyuplai beban saat panel surya tidak menghasilkan daya (kondisi malam hari atau cuaca buruk). Dengan

menggunakan baterai uji coba kapasitas 12 V 12 Ah dan beban simulasi 50 W, baterai mampu bertahan selama 45 menit.

Melalui pendekatan ekstrapolasi linear untuk kebutuhan durasi 24 jam:

$$\text{Kapasitas 24 Jam} = \frac{1440 \text{ menit}}{45 \text{ menit}} \times 12 \text{ Ah} = 384 \text{ Ah}$$

Hasil ekstrapolasi ini membuktikan bahwa kapasitas baterai hasil perancangan sebesar 443,75 Ah sangat memadai dan handal untuk menjaga kontinuitas catu daya sistem proteksi dan heater kubikel secara nonstop.

4. KESIMPULAN

1. Rancang bangun PLTS off-grid berhasil diimplementasikan sebagai solusi alternatif catu daya mandiri yang efisien dan handal pada gardu tembok terisolir.
2. Penerapan sistem PLTS meningkatkan keandalan sistem proteksi kubikel 20 kV secara signifikan karena catu daya relay terpisah secara independen dari jaringan utama, sehingga relay tetap bertegangan (always-on) dan siap memutuskan arus gangguan saat terjadi outage pada jaringan.
3. Pengoperasian heater kubikel secara berkesinambungan terbukti efektif menjaga tingkat kelembapan interior kubikel untuk mencegah terjadinya bahaya korona dan kerusakan isolasi.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] H. B. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai solusi energi terbarukan rumah tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [2] M. Aksa, Radhiah, and N. Safitri, "Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya di lahan pertanian sebagai alternatif sumber energi," *J. Tektro*, vol. 8, no. 2, pp. 112–118, Sep. 2024.
- [3] N. Sartika, A. N. R. Fajri, and L. Kamelia, "Analisis kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi," *TRANSMISI: J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 1, pp. 1–9, Jan. 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.1.1-9.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional," Jakarta, 2014. [Daring]. Tersedia: <https://jdih.esdm.go.id/peraturan/PP%20No.%2079%20Thn%202014.pdf>.
- [5] S. A. D. Prasetya, F. Kurniawan, and A. Supriyadi, "Evaluasi keandalan catu daya DC pada sistem proteksi dan kontrol gardu induk 150 kV," *J. Energi & Kelistrikan*, vol. 14, no. 2, pp. 120–129, Dec. 2022.
- [6] F. Rahmawati, I. G. N. S. Buana, and A. A. N. Amrita, "Analisis keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV akibat gangguan arus lebih pada gardu distribusi," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 4, pp. 88–96, Dec. 2022.

- [7] R. Amelia and M. S. Hasibuan, "Sistem kendali heater otomatis untuk mencegah penurunan tahanan isolasi pada panel kontrol 150 kV gardu induk," *J. Tek. Elektrik*, vol. 10, no. 1, pp. 45–52, Apr. 2021.
- [8] M. I. Arifin and W. Wahyudi, "Prototype monitoring suhu dan kelembapan pada kubikel 20 kV berbasis IoT untuk pencegahan partial discharge," *TRANSMISI: J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 3, pp. 115–122, Jul. 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.3.115-122.
- [9] A. H. Ramadhan, M. R. Hidayat, and D. Prasetyo, "Analisis pengaruh kelembaban terhadap terjadinya discharge pada kubikel 20 kV gardu distribusi," *J. Elektrika*, vol. 13, no. 2, pp. 88–95, Oct. 2022.
- [10] M. Z. Fikar dan S. Winardin, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off Grid 500 Watt di Dusun Baku Desa Sumi Kecamatan Lambu," *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, vol. 4, no. 1, hlm. 1837–1841, 2025.