

**PERENCANAAN PEMBANGUNAN PLTS *HYBRID*
DI PONDOK PESANTREN AL-ANWAR 4 SERANG,
KABUPATEN REMBANG, PROVINSI JAWA TENGAH**

ENGINEERING DESIGN FOR HYBRID PV PLANT DEVELOPMENT
IN AL ANWAR 4 SERANG ISLAMIC BOARDING SCHOOL,
REMBANG DISTRICT, CENTRAL JAVA PROVINCE

Andrian Mayka Ariawan¹, Nazaruddin Sinaga²

¹ Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah
Jl. Madukoro Blok AA-BB No. 44, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah

Magister Energi, Universitas Diponegoro

Email: andrianmayka@yahoo.com

Jl. Imam Bardjo SH. No. 5, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah

² Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah

Jl. Imam Bardjo SH. No. 5, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah

Email: nsinaga19.undip@gmail.com

ABSTRAK

Dalam menyikapi fenomena tingginya emisi karbon di dunia, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah turut berkomitmen untuk meningkatkan rasio pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) dengan target sebesar 21,32% pada tahun 2025. Sampai dengan tahun 2020 realisasi bauran EBT di Jawa Tengah baru mencapai 11,89%, sehingga masih perlu peningkatan sebesar 9,43% dalam kurun waktu 5 (lima) tahun. Dalam rangka mencapai target tersebut Pemerintah Provinsi Jawa Tengah gencar melakukan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), salah satunya melalui sosialisasi kepada masyarakat dengan membangun PLTS pada lembaga yang memiliki nilai edukatif dan berperan membentuk karakter sumber daya manusia di masa yang akan datang seperti pondok pesantren. Pembangunan PLTS membutuhkan biaya investasi cukup tinggi, sehingga dibutuhkan perencanaan yang baik dari sisi kelayakan lokasi, desain *engineering*, perhitungan total kapasitas pembangkitan, dan jenis PLTS yang dibutuhkan agar dapat bermanfaat dengan optimal. Mendasari hal tersebut, tulisan ini akan membahas contoh perencanaan pembangunan PLTS di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah. Rekomendasi desain PLTS yang dibangun pada area seluas 80 m² adalah sistem PLTS *hybrid* yang dipasang membentuk kanopi dengan modul surya berkapasitas 340 Wp sebanyak 30 buah dengan total kapasitas 10,2 kWp dilengkapi dengan sistem backup baterai, rumah daya, dan penangkal petir. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* PV*SOL, PLTS tersebut dapat menghasilkan energi listrik hingga 38,49 kWh per hari atau setara dengan 14.052 kWh per tahun dengan *performance ratio* sebesar 81,9% sehingga dapat melakukan penghematan biaya listrik hingga Rp. 12.646.800,- per tahun atau setara dengan Rp. 1.053.900,- per bulan.

Kata Kunci : *PLTS, Hybrid, Modul Surya, Desain, Pondok Pesantren Al-Anwar 4*

ABSTRACT

In responding to the phenomenon of high carbon emissions globally, the Central Java Provincial Government is also committed to increasing the ratio of new and renewable energy (RE) utilization with a target of 21.32% by 2025. Until 2020, the realization of the RE energy mix in Central Java has only reached 11.89%, so it still needs an increase of 9.43% within 5 (five) years. To achieve this target, the Central Java Provincial Government is aggressively developing a Solar Power Plant (PV Plant), one of which is through socialization to the community by building PV Plant in institutions that have educational value and play a role in shaping the character of human resources in the future such as Islamic boarding schools. The construction of a PV Plant requires quite high investment costs, so it requires good planning in terms of location feasibility, engineering design, calculation of the total generation capacity, and the type of PV Plant needed to be of optimal use. This paper will discuss an example of a PV Plant development plan at the Al-Anwar 4 Serang Islamic Boarding School, Rembang Regency, Central Java Province. The recommended PV Plant design that is built on an area of 80 m² is a PV Plant hybrid system that is installed to form a canopy with 30 solar modules with a capacity of 340 Wp with a total capacity of 10.2 kWp equipped with a battery backup system, powerhouse, and lightning rod. Based on the simulation results using the PV*SOL software, the PV Plant can generate electrical energy up to 38.49 kWh per day or equivalent to 14.052 kWh per year with a performance ratio of 81.9% so that it can save electricity costs of up to Rp. 12,646,800,- per year or equivalent to Rp. 1,053,900,- per month.

Keywords: *PV Plant, Hybrid, Solar Module, Design, Al-Anwar 4 Islamic Boarding School*

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka menyikapi fenomena tingginya emisi karbon di dunia, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan rasio penggunaan Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) paling sedikit mencapai 23% (dua puluh tiga persen) pada tahun 2025 sebagaimana dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)^[1]. Sebagai turunan dari kebijakan tersebut, Pemerintah telah menyusun Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional yang di dalamnya juga mengamanatkan kepada Pemerintah Provinsi untuk segera menyusun Rencana Umum Energi Daerah Provinsi (RUED-P)^[2]. Sesuai data yang dirilis oleh Dewan Energi Nasional (DEN), per periode bulan Maret 2021, Provinsi Jawa Tengah

merupakan salah satu dari 20 (dua puluh) Provinsi yang telah mengundang Peraturan Daerah tentang RUED-P^[3]. Melalui Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah, Gubernur Jawa Tengah menargetkan capaian porsi EBT pada bauran energi (*energy mix*) di Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2025 sebesar 21,32%^[4].

Sampai dengan tahun 2020 realisasi bauran EBT di Jawa Tengah adalah sebesar 11,89%^[5], sehingga Provinsi Jawa Tengah masih harus meningkatkan bauran EBT sebesar 9,43% dalam kurun waktu 5 (lima) tahun untuk mencapai target 21,32% pada tahun 2025. Agar dapat mencapai target tersebut, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah harus membuat berbagai terobosan dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan potensi EBT yang ada, salah satunya adalah melalui pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Jawa Tengah merupakan salah satu Provinsi di Indonesia yang memiliki potensi energi surya cukup melimpah, yaitu sekitar 58.355 MW (Potensi Teoritikal) dan 8.753 MW (Potensi Teknis)^[6]. Dengan potensi sebesar itu, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah telah membangun beberapa PLTS atap (*rooftop*) di gedung pemerintah, seperti atap gedung Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (2017), BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah (2018) dan Sekretariat DPRD Provinsi Jawa Tengah (2019) demi memenuhi kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh gedung pemerintah^[7]. Sebagai langkah akselerasi Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, baik melalui Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) maupun Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN), terus melakukan sosialisasi kepada masyarakat untuk memanfaatkan penggunaan PLTS dengan cara melakukan pembangunan PLTS pada lembaga nirlaba yang memiliki nilai edukatif dan berperan dalam pembentukan karakter sumber daya manusia di masa yang akan datang yaitu pondok pesantren^[8]. Di Jawa Tengah pondok pesantren dan para ulamanya masih memegang peranan yang sangat penting di masyarakat, sehingga diharapkan dengan keterlibatan mereka dapat meningkatkan kesadaran masyarakat Jawa Tengah untuk menggunakan PLTS dalam kehidupan sehari-hari. Kampanye penggunaan PLTS sangat diperlukan karena selain dapat mempercepat pencapaian porsi EBT dalam bauran energi, PLTS memiliki keunggulan sebagai sumber energi bersih yang ramah lingkungan karena sangat sedikit menimbulkan jejak karbon dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya^[9].

Pembangunan PLTS membutuhkan biaya investasi awal yang cukup tinggi serta harga per kWh listrik yang dibangkitkan juga masih relatif tinggi yaitu sekitar \$USD 3-5/Wp^[10]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu perencanaan yang baik dari sisi kelayakan lokasi, seperti luasan

lahan yang tersedia maupun desain *engineering*, termasuk perhitungan total kapasitas PLTS yang dibangkitkan, dan jenis PLTS agar hasil pembangunan PLTS nantinya dapat bermanfaat dengan optimal.

Sebagai institusi pendidikan, pondok pesantren membutuhkan jaminan pasokan energi listrik untuk kegiatan operasionalnya, terutama pada waktu situasi penting seperti saat ujian nasional. Mendasari hal tersebut tulisan ini akan membahas tentang contoh perencanaan pembangunan PLTS *hybrid* di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah yang memiliki sistem penyimpanan energi, sehingga PLTS dapat digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung^[11].

2. METODOLOGI

Studi perencanaan PLTS ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu: studi pustaka, observasi lapangan dan pengolahan data.

2. 1. Studi Pustaka

Metode ini digunakan untuk mengetahui secara mendalam tentang objek studi melalui pengamatan dan kajian terhadap dokumen teknis, catatan, laporan dan data lain yang telah didokumentasikan.

2. 2. Observasi Lapangan

Metode ini dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi secara langsung di lapangan melalui pengamatan dan pengukuran ke lokasi. Kegiatan pengukuran di lapangan meliputi pengukuran intensitas cahaya, pengukuran luasan area dan pencatatan titik koordinat. Adapun alat kerja yang dibutuhkan dalam observasi lapangan tercantum pada tabel 1.

Tabel 1. Alat Kerja

No.	Nama Alat	Fungsi	Kapasitas
1.	Lux Meter	Mengukur intensitas cahaya	0 s/d999 lux
2.	Meteran	Mengukur luasan area	0 s/d999meter

3.	Handheld GPS	Mengambil titik koordinasi lokasi	-
4.	Kamera	Mendokumentasikan kondisi lapangan	<i>wide angle, auto focus</i>

2. 3. Pengolahan Data

Metode ini dilakukan dengan mengolah data hasil pengukuran di lapangan untuk menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS melalui simulasi menggunakan *software* PV*SOL 6.43. *Software* PV*SOL adalah aplikasi untuk menghitung kapasitas modul surya sesuai data lokasi penelitian dan spesifikasi konstruksi modul surya [12].

Analisis spasial untuk mendapatkan gambaran calon lokasi pemasangan PLTS dilakukan melalui survei lapangan dan analisis citra melalui *software* Google Earth. Pekerjaan studio dilanjutkan dengan pembuatan gambar desain PLTS menggunakan *software* AutoCAD dan analisis struktur penopang modul surya dengan bantuan *software* SAP2000.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

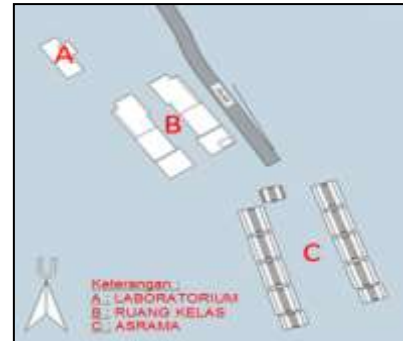
Pondok Pesantren Al-Anwar 4 berlokasi di Desa Kalipang, Kecamatan Sarang, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya berada pada koordinat 6.732363 LS dan 111.656611 BT.



Gambar 1. Lokasi Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Berdasarkan Satelit Google Maps

Lokasi studi terletak di areal persawahan yang jauh dari bangunan bertingkat dan posisi lahan berada pada

elevasi yang cukup tinggi, sehingga bebas dari bayangan objek sekitar. Hasil pemetaan posisi bangunan yang ada di area studi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pemetaan Posisi Bangunan Pondok Pesantren Al-Anwar 4

3.1. Analisis Kondisi dan Ketersediaan Lokasi Pembangunan PLTS

Hasil pengukuran intensitas cahaya matahari yang diperoleh pada saat survei adalah sebesar 911 lux. Besarnya hasil pengukuran intensitas cahaya matahari di atas 800 lux menunjukkan lokasi tersebut ideal untuk dipasang sistem.

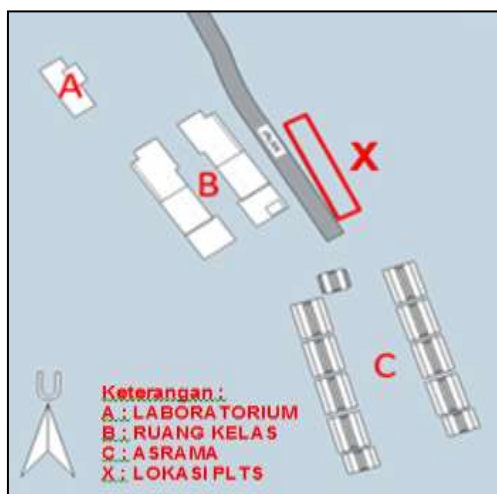
Berdasarkan hasil survei, lokasi di pondok pesantren yang memiliki potensi untuk dibangun PLTS berada di depan gedung ruang kelas yang terletak di sisi jalan pintu masuk utama. Adapun pertimbangan pemilihan lokasi tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Permukaan tanah yang sudah rata;
- 2) Dijadikan sebagai sarana sosialisasi pemanfaatan EBT, karena penempatan PLTS di sisi pintu masuk utama mudah dilihat oleh pengunjung dan masyarakat;
- 3) Pembuatan PLTS di depan gedung kelas utama dengan desain berbentuk kanopi dimanfaatkan sebagai tempat kegiatan santri dan penutup lahan parkir agar tidak terpapar matahari langsung;
- 4) Atap gedung eksisting tidak direkomendasikan terkait pengembangan pondok pesantren, sehingga dapat dibongkar sewaktu-waktu untuk penambahan jumlah lantai bangunan.



Gambar 3. Potensi Area Pemasangan PLTS di Pondok Pesantren Al-Anwar 4

Berdasarkan hasil pengukuran, luasan area yang tersedia adalah sebesar 80 m², dengan sisi panjang 16 m dan lebar 5 m. Ilustrasi posisi potensi area pembangunan PLTS ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Posisi Potensi Area Pembangunan PLTS

Dalam rangka keamanan, pada desain PLTS ini dibuat *frame* dengan ketebalan 50 cm dari masing-masing sisi terluar *array*, sehingga sisa area untuk pemasangan modul surya adalah 15 m x 4 m. Jenis modul surya yang digunakan adalah ukuran standar untuk tipe 340 Wp yang memiliki dimensi 1.960 mm x 990 mm, sehingga untuk menghitung jumlah modul surya yang dapat dipasang pada area tersebut dapat menggunakan persamaan (1) berikut:

$$N \text{ modul surya} = \frac{p \text{ area}}{p \text{ modul}} \times \frac{l \text{ area}}{l \text{ modul}} \quad (1)$$

$$N \text{ modul surya} = \frac{(15 \text{ m})}{(0,99 \text{ m})} \times \frac{(4 \text{ m})}{(1,96 \text{ m})}$$

$$N \text{ modul surya} = 30 \text{ modul}$$

Keterangan :

N modul surya = Jumlah modul surya
 p area = Panjang area yang tersedia

p modul = Panjang modul surya
 l area = Lebar area yang tersedia

l modul = Lebar modul surya

Berdasarkan jumlah modul surya yang diperoleh dari perhitungan di atas, dapat dilakukan kalkulasi terhadap kapasitas maksimum pembangkit menggunakan persamaan (2) berikut:

$$Peak \text{ Power} = N \text{ modul} \times P \text{ max modul} \quad (2)$$

$$Peak \text{ Power} = 30 \text{ modul} \times 340 \text{ Wp}$$

$$Peak \text{ Power} = 10.200 \text{ Wp} = 10,2 \text{ kWp}$$

Keterangan :

Peak Power = Kapasitas daya maksimum PLTS

N modul = Jumlah modul surya

P max modul = Daya maksimum dari modul surya yang digunakan

Sedangkan untuk menentukan potensi hasil energi per hari yang dihasilkan (E) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut:

$$E = \text{Peak Power} \times \text{Effective Sun Hour} \quad (3)$$

$$E = 10,2 \text{ kWp} \times 4 \text{ jam}$$

$$E = 40,8 \text{ kWp}$$

Keterangan :

E = Potensi hasil energi per hari

Peak Power = Kapasitas daya maksimum PLTS rooftop

Peak Sun Hour = Lama penyinaran efektif matahari rata-rata (4 jam per hari)

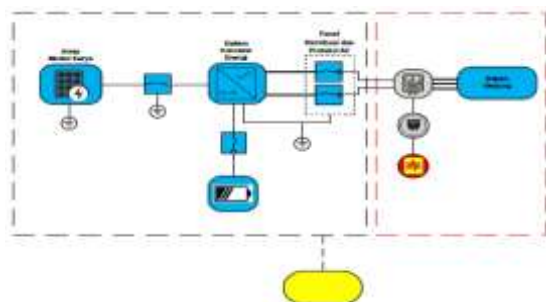
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) di atas, didapat potensi energi maksimal yang dapat dihasilkan oleh PLTS terpasang adalah sebesar 40,8 kWh per hari.

3.2. Perancangan Sistem PLTS

Perancangan sistem PLTS diawali dengan menentukan topologi sistem PLTS yang cocok, dilanjutkan dengan pembuatan *layout* pemasangan PLTS dan penentuan komponen pendukung sistem PLTS.

1) Topologi Sistem PLTS

Topologi sistem PLTS yang cocok dipasang di area Pondok Pesantren Al-Anwar 4 adalah topologi PLTS *hybrid*. Dengan sistem PLTS *hybrid* ini, energi yang dihasilkan oleh modul surya dapat langsung dikonsumsi oleh beban listrik yang terhubung ke sistem PLTS. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS berlebih, maka akan disimpan ke dalam baterai. Sebaliknya, apabila sistem PLTS tidak menghasilkan energi listrik dan energi di baterai sudah habis, maka sistem PLTS masih dapat mengeluarkan listrik dengan dukungan dari jaringan listrik PLN yang tersedia. Secara sederhana, gambaran dari topologi pemasangan sistem PLTS *hybrid* ini ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5. Topologi Jaringan PLTS *Hybrid*

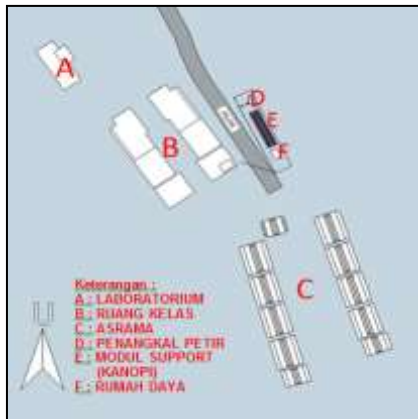
Array modul surya yang terpasang di atap/kanopi dihubungkan ke inverter yang berfungsi melakukan konversi energi dari modul surya untuk diteruskan ke *output* sistem PLTS dan mengatur pengisian energi ke baterai. Inverter mengubah energi listrik DC (*Direct Current*) yang dihasilkan modul surya atau yang tersimpan pada baterai menjadi listrik AC (*Alternate Current*) 3-phase dan langsung dihubungkan ke PDB (*Power Distribution Box*). Melalui PDB, keluaran arus listrik yang didistribusikan akan dikonsumsi oleh peralatan listrik. Apabila konsumsi listrik lebih besar dari produksi energi listrik sistem PLTS, maka kekurangan energi listrik akan diambil dari PLN melalui *bidirectional energy meter*. Sebaliknya, apabila ada kelebihan produksi listrik maka akan disalurkan ke jaringan PLN.

Pada saat modul surya menghasilkan energi listrik, inverter akan mengelola energi untuk digunakan ke beban listrik dan mengisi baterai, sedangkan pada kondisi modul surya tidak menghasilkan energi listrik inverter akan menggunakan energi dari baterai untuk memberikan daya pada *output* sistem PLTS. Apabila energi yang tersimpan pada baterai melemah dan mencapai kondisi pemutusan daya (*cut off*) dan modul surya tidak menghasilkan energi listrik, maka secara otomatis sistem PLTS akan melakukan penggantian sumber daya menggunakan energi listrik PLN menuju *output* sistem PLTS untuk selanjutnya digunakan ke beban listrik.

2) *Layout* Pemasangan PLTS

Rekomendasi desain yang optimal untuk dibangun pada lokasi tersebut adalah PLTS yang dipasang membentuk kanopi dengan menggunakan total 30 buah modul surya dengan estimasi kapasitas pembangkitan listrik hingga 10,2 kWp, serta dilengkapi dengan sistem *backup* baterai, rumah daya, dan penangkal petir. Penggunaan baterai untukantisipasi ketidakstabilan jaringan listrik dan kebutuhan *backup* beban listrik pada area-area vital. Pembangunan rumah daya bertujuan untuk menyimpan baterai dan

perlengkapan kelistrikan pendukungnya karena bangunan pondok pesantren yang ada saat ini belum menyediakan ruangan kelistrikan. Desain juga dilengkapi dengan penangkal petir dengan tujuan untuk melindungi sistem PLTS dari sambaran petir. Ilustrasi *layout* pemasangan PLTS *hybrid* di area Pondok Pesantren Al-Anwar 4 berdasarkan desain optimal yang direkomendasikan ditunjukkan gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi *Layout* Pemasangan PLTS *Hybrid*

3) Komponen Pendukung Sistem PLTS

a. Modul Surya

Dalam perancangan ini digunakan modul surya yang mudah ditemukan di pasaran, memiliki garansi pabrikan minimal 20 tahun untuk degradasi output < 20%, efisiensi minimum 17%, diproduksi lokal di Indonesia dengan komposisi TKDN di atas 40%, bersertifikat SNI dan jaminan garansi produk minimal 5 tahun. Modul surya yang dipilih adalah produksi JSKYE (Sky Energy) tipe ST72M340 dengan daya 340 Wp, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Rincian Spesifikasi Teknis Modul Surya

Produsen	JSKYE(SkyEnergy)
Tipe	ST72M340
Maximum Power (Wp)	340
Cell Type	Monocrystalline
Jumlah cell	72
Voc (V)	45.6

Vmp (V)	38.8
Isc (A)	9.3
Imp (A)	8.8
Efficiency (%)	17.61
Dimension (mm)	1950x990x45
Weight (kg)	25.8

b. Sistem Konversi Energi (Inverter)

Dalam perancangan ini digunakan sistem konversi energi (inverter) yang mudah ditemukan di pasaran, bersertifikat SNI, multi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), memiliki fungsi grid PLN dan sistem penyimpanan energi. Inverter yang dipilih adalah merk Sofarsolar tipe SOFARSOLARHYD 6000-ES dengan daya 8 kW, dengan spesifikasi sebagaimana dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rincian Spesifikasi Teknis Inverter

Merek	Sofarsolar
Tipe	SOFARSOLAR HYD 6000-ES
Effisiensi	
MPPT Efficiency	99,9 %
European Efficiency	97,5 %
Input (PV side)	
Max. DC Usable Power	7980 W
Max. Input Voltage (V)	600
Max. Current per MPPT	12 A / 12A
Max. Short Circuit Current per MPPT	15A / 15A
Min. Operating Voltage / Start Input Voltage	120 V
Full Power MPPT Voltage Range	300V – 520V
MPPT Operating Voltage Range	90-580V
Rated Input Voltage	360V
Number of MPP Trackers	2

Output AC (Grid Side)	
Rated AC Active Power (W)	6000
Max. AC Apparent Power (VA)	6000
Rated Output Voltage (V)	180 ~ 276
Rated AC Grid Frequency	44-55Hz / 54-66Hz
Max. Output Current (A)	27,3
Max. Total Harmonic Distortion (%)	<3
Output AC (Emergency Power Supply)	
EPS Rated Power	3000 VA
EPS Rated Current	13 A

- c. Sistem Penyimpanan Energi (Baterai)
 Dalam perancangan ini digunakan sistem penyimpanan energi jenis baterai *lithium*, tegangan nominal baterai dengan kisaran 48 Volt dan memiliki garansi produk minimal 1 (satu) tahun.
- d. Panel Distribusi dan Proteksi AC
 Dalam perancangan ini panel distribusi dan proteksi AC menggunakan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dan SPD (*Surge Protection Device*), dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus MCB, terminal dan busbar dengan tegangan system : 380 - 400 VAC, 50 Hz, 3 Fasa.
- e. Panel Diskoneksi dan Proteksi
 Dalam perancangan ini panel diskoneksi dan proteksi DC menggunakan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dan SPD (*Surge Protection Device*) berbahan *polycarbonate*.
- f. Kabel
 Dalam perancangan ini dibutuhkan 3 (tiga) jenis kabel yaitu: kabel modul surya minimum 1000VDC dibungkus insulasi dengan tipe XLPO, kabel baterai menggunakan jenis kabel DC dengan tipe NYAF dan kabel listrik AC menggunakan jenis kabel AC dengan tipe NYA dan AAAC.

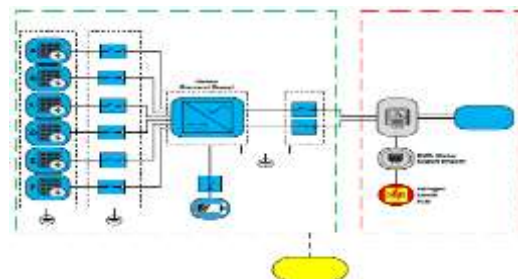
- g. Rumah Daya
 Dalam perancangan ini, untuk pembangunan rumah daya menggunakan material standar yang biasa dipakai,

- dengan spesifikasi sebagai berikut:
- Bahan *polyurethane*, atap menggunakan *zinc aluminium* atau *zincalume*.
 - Pondasi menggunakan batu kali/setara berbentuk *sloof*, lantai dibuat dari cor beton bertulang *finishing plur* dan dipasang keramik.
- h. Sistem Monitoring Terintegrasi
 Dalam perancangan ini digunakan sistem monitoring terintegrasi dengan kriteria sebagai berikut:
- Kompatibel dengan perangkat inverter yang digunakan dalam Sistem PLTS.
 - Memiliki *user interface* untuk menampilkan informasi kelistrikan sistem PLTS.
 - Memiliki standar *interface* protokol komunikasi data industri minimal SNMP/RS-232/RS-485/TCP/IP.
 - Menggunakan penyimpanan *Flash Memory Redundant Backup*.
- i. Sistem *Grounding* dan Penangkal Petir
 Dalam perancangan ini digunakan sistem penangkal petir aktif yang dapat melindungi area sekitar pemasangan PLTS.

3.3. Pemasangan Sistem PLTS

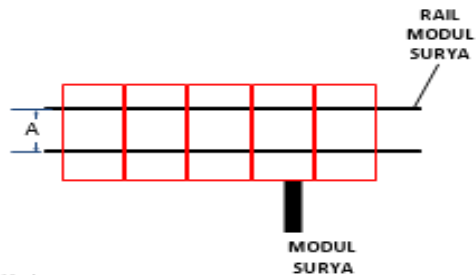
Pemasangan sistem PLTS diawali dengan pembuatan *Single Line Diagram* (SLD), dilanjutkan dengan pemasangan modul surya, peletakkan komponen PLTS dan pengkabelan komponen PLTS.

- 1) *Single Line Diagram* (SLD)
Single Line Diagram (SLD) merupakan sebuah diagram listrik yang merepresentasikan komponen instalasi listrik dan bagaimana komponen tersebut saling berhubungan untuk menunjukkan interkoneksi antar komponen dalam rangka pengoptimalan jaringan listrik^[13].



Gambar 7. SLD PLTS Hybrid Pondok Pesantren Al-Anwar 4

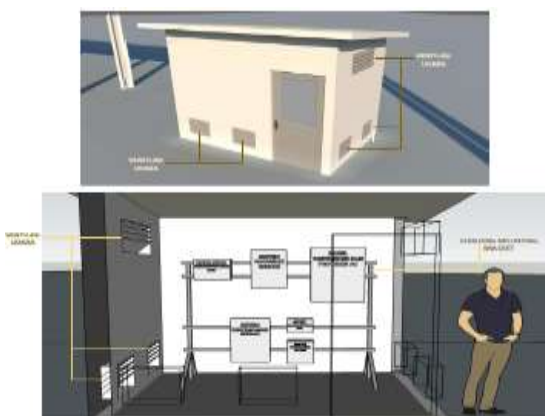
Modul surya yang dipasang di atap kanopi terdiri dari 6 buah *array*, dimana satu *array* terdiri dari 5 buah modul surya dengan jarak antara *rail* modul surya adalah selebar 1 m. *Layout* pemasangan dari sebuah *array* modul surya ditunjukkan pada gambar 11.



Keterangan:
 A = 1 meter (Jarak antar Rail Modul Surya)
 Gambar 11. Layout PV Rail dan Support

3) Peletakkan Komponen PLTS

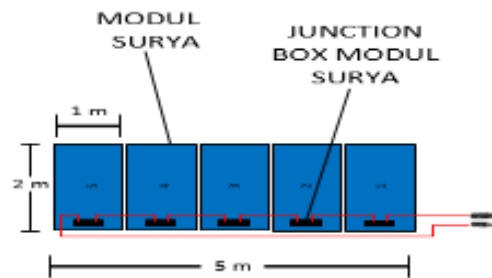
Peletakkan komponen kelistrikan sistem PLTS selain modul surya, seperti sistem konversi energi, sistem monitoring terintegrasi, sistem penyimpanan energi dan panel proteksi pada desain PLTS *hybrid* ini ditempatkan di dalam rumah daya. Rumah daya dibangun dengan ukuran 3 m x 2 m dan tinggi 2,7 m serta dilengkapi dengan ventilasi udara dan pintu untuk akses keluar masuk. Rumah daya juga dilengkapi dengan kipas (*exhaust fan*) yang dioperasikan secara otomatis oleh *thermostat* dan *standing mounting bracket* untuk meletakkan komponen pendukung PLTS. Sketsa rumah daya dan penempatan komponen PLTS ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Rumah Daya dan Peletakkan Komponen PLTS Hybrid

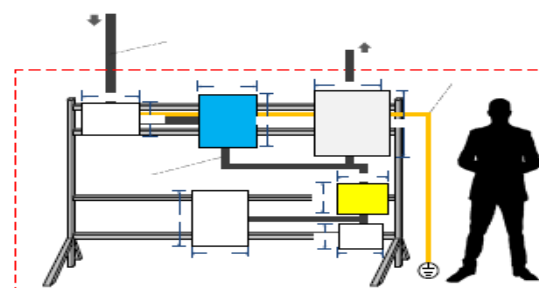
4) Pengkabelan Komponen PLTS

Pengkabelan dalam sistem PLTS dibagi menjadi pengkabelan jaringan listrik DC dan pengkabelan jaringan listrik AC. Pada pengkabelan jaringan listrik DC, dimulai dengan menghubungkan masing-masing modul yang telah dipasang di atap kanopi. Gambar 13 menunjukkan pemasangan kabel modul surya dalam sebuah *array*. Seluruh modul surya dalam satu *array* dihubungkan secara seri.



Gambar 13. Pengkabelan Array Modul Surya

Selanjutnya kabel dari *array* modul surya dihubungkan ke jaringan kabel DC di dalam rumah daya. Di dalam rumah daya, jalur kabel DC menghubungkan *output array* modul surya dengan modul surya *disconnection box*, sistem konversi energi dan sistem penyimpanan energi. Sketsa desain pengkabelan di dalam rumah daya ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Sketsa Pengkabelan di Dalam Rumah Daya

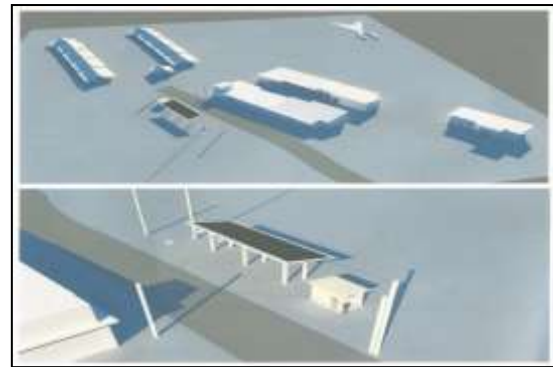
Pada jalur pengkabelan AC, jalur kabel menghubungkan listrik AC hasil konversi ke panel distribusi dan proteksi AC agar tersambung ke jaringan listrik di dalam pondok pesantren. Sketsa pengkabelan jalur kabel DC dan jalur kabel AC dari *array* modul surya hingga ke

dalam jaringan listrik pondok pesantren ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15. Sketas Jalur Pengkabelan PLTS Hybrid

Dari hasil uraian di atas, rekomendasi desain PLTS hybrid di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 dapat dilihat pada gambar 16 berikut:



Gambar 16. Desain PLTS Hybrid di Pondok Pesantren Al-Anwar 4

3.4. Potensi Hasil Energi Per Hari

Berdasarkan konfigurasi pemasangan optimal, dapat diperoleh perhitungan kapasitas PLTS optimal dan energi yang dihasilkan per hari dengan catatan seluruh array modul surya menghasilkan energi listrik secara maksimal, seperti ditunjukkan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Kapasitas Pembangkit PLTS dan Energi yang Dihasilkan Per Hari

Jumlah PV	Konfigurasi (seri)	Jumlah String	Modul(Wp)
30	5	6	340
Total PV Modul			30
Total Daya PV (Wp)			10.200
Total Energi PV* (Wh)			40.800
*) Lamanya penyinaran efektif matahari = 4jam			

Perhitungan kapasitas juga dilakukan dengan menggunakan aplikasi PV*SOL 6.43. Hasil simulasi aplikasi PV*SOL dengan menggunakan data luasan area, kemiringan (*tilt*), orientasi (*azimuth*), koordinat lokasi, jenis dan tipe modul surya dan inverter serta konfigurasi pengkabelan modul surya adalah sebagai berikut:

PV System	
PV Generator Output	10,2 kWp
Spec. Annual Yield	1.377,67 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	61,9 %
Yield Reduction due to Shading	1,9 %/Year
Grid Feed-in	14.052 kWh/Year
Grid Feed-in in the first year (incl. module degradation)	14.052 kWh/Year
Standby Consumption (Inverter)	31 kWh/Year
CO ₂ Emissions avoided	6.605 kg /year



Gambar 17. Hasil Simulasi PV*SOL

Berdasarkan hasil simulasi PV*SOL pada gambar 17, sistem PLTS dapat menghasilkan energi listrik hingga 14.052 kWh per tahun atau setara dengan 38,49 kWh per hari dengan *performance ratio* sebesar 81,9%. Apabila disesuaikan dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT. PLN (Persero), dimana untuk pelanggan golongan S2 berkapasitas di atas 2200 VA ditetapkan tarif dasar listrik per kWh adalah sebesar Rp. 900,-^[14], maka potensi besarnya penghematan biaya listrik yang dirasakan oleh pengelola Pondok Pesantren Al-Anwar 4 dalam 1 (satu) tahun dapat mencapai sebesar Rp. 12.646.800,- atau setara dengan Rp. 1.053.900,- per bulan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil studi perencanaan pembangunan PLTS *hybrid* di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Rekomendasi desain PLTS yang dibangun pada area seluas 80 m² adalah sistem PLTS *hybrid* yang dipasang membentuk kanopi dengan modul surya berkapasitas 340 Wp sebanyak 30 buah dengan total kapasitas 10,2 kWp, serta dilengkapi dengan sistem *backup* baterai, rumah daya, dan penangkal petir.
- 2) Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* PV*SOL, sistem PLTS *hybrid* di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 dapat menghasilkan energi listrik hingga 38,49 kWh per hari atau setara dengan 14.052 kWh per tahun dengan *performance ratio* sebesar 81,9%.
- 3) Potensi penghematan biaya listrik yang dirasakan oleh pengelola pondok pesantren dalam 1 (satu) tahun dapat mencapai sebesar Rp. 12.646.800,- atau setara dengan Rp. 1.053.900,- per bulan.

4.2. Saran

Sebagai saran dan tindak lanjut untuk studi selanjutnya dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Diperlukan studi kestabilan penetrasi listrik PLTS ke jaringan listrik terpasang, dengan pertimbangan faktor profil daya, spesifikasi komponen kelistrikan dan pembagian beban listrik di Pondok Pesantren Al-Anwar 4 untuk akses injeksi listrik dari PLTS *hybrid*.
- 2) Pondok Pesantren Al-Anwar 4 memiliki ketersediaan lahan yang cukup luas, sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan penambahan kapasitas PLTS *hybrid* di kemudian hari.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Ir. Sujarwanto Dwiatmoko, M.Si., selaku Kepala Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, Kepala Cabang Dinas ESDM Wilayah Kendeng Selatan, rekan-rekan di Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah dan Pengelola Pondok Pesantren Al-Anwar 4 Serang atas bantuan dan masukan dalam penyelesaian tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih untuk Sdr. Yudhi Towira yang telah memberikan asistensi dan saran perbaikan dalam pengolahan data dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Republik Indonesia. 2017. Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.
- Dewan Energi Nasional. 2021. "Perkembangan Penyusunan RUED Provinsi 34 Provinsi" (tanggal 19 Maret 2021) diakses melalui : <https://den.go.id/index.php/dinam>

- ispage/index/863-perkembangan-penyusunan-rued-provinsi-34-provinsi.html (diakses pada tanggal 17 Mei 2021).
- Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. 2018. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah.
- Pratiwi, F. 2021. "Ganjar: Realisasi EBT Jateng 11,89 Persen" (tanggal 16 Februari 2021) diakses melalui : <https://www.republika.co.id/berita/qomah3457/ganjar-realisasi-ebt-jateng-1189-persen> (diakses pada tanggal 17 Mei 2021).
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020. Buku Rencana Strategis (Renstra) Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2020-2024.
- Iskandar, H. R. 2020. Pemodelan dan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Disnakertrans Kabupaten Bandung Barat. *EPSILON : Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, Vol. 18, No. 2, Agustus 2020: 56-65.
- Syafe'i, I. 2017. Pondok Pesantren: Lembaga Pendidikan Pembentukan Karakter. *Al-Tadzkiyyah: Jurnal Pendidikan Islam*, Vol. 8, No. 1, 2017: 61-82.
- Artiningrum, T., Havianto, J. 2019. Meningkatkan Peran Energi Bersih Lewat Pemanfaatan Sinar Matahari. *Geoplanart*, Vol. 2, No. 2, 2019: 100-115.
- Diantari, R. A., Erlina, Widyastuti, C. 2017. Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, Vol. 9, No. 2, Juni-Desember 2017: 120-125.
- Duka, E. T. A., Setiawan, I. N., Weking, A. I. 2018. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga dan Pengairan Kabupaten Badung. *E-Journal SPEKTRUM*, Vol. 5, No. 2, Desember 2018: 67-73.
- Sumbung, F. H., Letsoin, Y., Hardiantono, D. 2016. Penentuan Kapasitas dan Karakteristik Modul PV pada Perencanaan Pembangunan PLTS Komunal di Distrik Okaba. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*, Vol. 5, No. 2, Agustus 2016: 181-195.
- Hussain, A., Aslam, M., Arif, S. M. 2018. A standards-based approach for Auto-drawing single line diagram of multivendor smart distribution systems. *Electrical Power and Energy Systems* 96, 2018: 357-367.
- Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT. PLN (Persero).