

PERANCANGAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI HANGGAR DELIVERY CENTER PT. DIRGANTARA INDONESIA

Handoko Rusiana Iskandar, Een Taryana, Syandy Syaidina

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani.
Jalan Terusan Jenderal Sudirman PO BOX 148, Cimahi, Jawa Barat, Indonesia. 40521.
E-mail: handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Kebutuhan listrik di Indonesia diproyeksikan terus meningkat secara signifikan, untuk mengimbangi pertumbuhan tersebut pemerintah melakukan penambahan kapasitas energi listrik dan pembangunan pembangkit energi baru serta konservasi energi. Latar belakang tersebut mendorong industri untuk melakukan pemenuhan kebutuhan energi listrik secara mandiri perlu dilakukan khususnya di PT. Dirgantara Indonesia. Dalam makalah ini, suatu perancangan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya direncanakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Hanggar Delivery Center PT Dirgantara Indonesia menggunakan perangkat lunak PVsol. Tahapan perancangan ini meliputi studi kapasitas kebutuhan beban, kebutuhan unit panel surya, kebutuhan baterai, pemenuhan kebutuhan irradiansi matahari pertahun dan optimal sudut kemiringan panel surya. Hasil pengujian menghasilkan energi tahunan sebesar 1499.1 kWh, luas area yang dibutuhkan 415.24 m² dengan 214 unit panel surya 325 Wp, kebutuhan baterai 1722 Ah dan 5 unit inverter tring 15 kW terhubung jaringan 220 V/50 Hz, Instalasi sistem PLTS atap gedung pada Hanggar Delivery Center dengan sudut kemiringan tetap 45°.

Kata kunci: Hanggar delivery center, PT Dirgantara Indonesia, *photovoltaic*, PVsol.

Abstract

The demand for electricity in Indonesia is projected to increase significantly, to keep pace with the growth of the government to increase the capacity of electrical energy and the development of new energy generation and energy conservation. This background encourages the industry to fulfill electricity needs independently, especially at PT. Dirgantara Indonesia. In this paper, a design of solar power plant development is planned to meet the needs of electrical energy in Hanggar Delivery Center PT Dirgantara Indonesia simulated by PVsol software. This design stage includes the study of load capacity requirements, solar panel unit requirements, battery requirements, meeting annual solar irradiance needs and optimal slope of the solar panel. The annual test results produce 1499.1 kWh, the required area is 415.24 m² with 214 solar panels 325 Wp, 1722 Ah battery needs and 5 units of 15 kW Inverter String connected to 220 V/50 Hz network, Installation of rooftop Photovoltaic systems in Hanggar Delivery Center with a fixed tilt angle of 45°.

Keywords: Hanggar delivery center, PT Dirgantara Indonesia, *photovoltaic*, PVsol.

PENDAHULUAN

Sumber energi matahari dalam jumlah besar dan bersifat kontinyu mendorong manusia untuk memanfaatkan sumber energi ini sebagai sumber energi baru selain bahan bakar minyak bumi (Iskandar, Purwadi, Rizqiawan, &

Heryana, 2016). Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif pembangkit energi listrik dinilai sebagai terobosan baru karena potensi energi matahari merupakan sumber energi yang sangat besar serta tidak memberi dampak negatif terhadap lingkungan

(Heri, 2012). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikembangkan dan banyak digunakan oleh negara maju dan berkembang sebagai sumber energi selain minyak bumi, seperti Jerman, Cina, Amerika, Jepang dan lain-lain (Breeze, 2005) bahkan kontribusi sumber energi dari PLTS ini di Eropa sanggup mencapai 42 TWh di tahun 2020 (Freris, 2008). Tentu saja sebagai negara tropis, Indonesia tentunya dianugerahi energi matahari yang sangat banyak. Namun, cahaya matahari ini belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai sumber energi. Padahal potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 Giga Wp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 Mega Wp (supriyadi....).

Hanggar *Delivery* merupakan bangunan yang digunakan sebagai tempat penyimpanan, *minor maintenance* sebelum pesawat diserahkan di hanggar tersebut. Bangunan ini memiliki karakteristik lokasi, luas serta kondisi lingkungan yang berbeda dengan bangunan lainnya. Sekarang ini penggunaan sistem tenaga listrik tidak lepas dari aktivitas pekerjaan sehari-hari sehingga berakibat kepada tingginya tingkat kebutuhan dan pemanfaatan tenaga listrik. Tetapi yang kondisi berlawanan adalah masalah sumber energi listrik. Hal ini berbanding terbalik dengan kebutuhan yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Tahun 2017 – 2026 kebutuhan listrik di Indonesia diproyeksikan meningkat yaitu rata-rata sebesar 8.3% khusus dalam kebutuhan listrik untuk sektor industri sebesar 9.2% (PLN, 2016). Sehingga, untuk mengimbangi pertumbuhan kebutuhan listrik tersebut pemerintah harus melakukan penambahan kapasitas serta melakukan pembangunan unit pembangkit baru dengan investasi yang cukup besar dan lamanya proses pengerjaan dalam pembangunan pembangkitan tersebut. Solusi untuk membantu dan mengurangi beban pemerintah yaitu PLN dalam hal ini sebagai pemasok utama sumber energi listrik di Indonesia, maka sebagai konsumen harus turut membantu untuk mengurangi dengan mencari energi terbarukan yang mandiri. Sebagai negara yang berada di kawasan khatulistiwa, Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp (PLN, 2017) dengan potensi yang cukup besar tersebut dapat dijadikan sebagai energi

alternatif untuk membantu mengurangi beban pemerintah sebagai pemasok utama, selain itu energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dengan sumber dayanya yang tidak terbatas, umur dari panel surya *relative* panjang serta mudahnya pemasangan dan perawatan.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bekerja dengan mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung menggunakan *photovoltaic array* dengan efek *photoelectric*, listrik yang dihasilkan merupakan arus searah dan disalurkan ke baterai sebagian penyimpanan daya serta *Solar Charge Controller* sebagai sistem kendali pengisian baterai agar tidak terjadi *over charging* yang akan merusak sistem kemudian dari baterai akan didistribusikan ke masing-masing beban, untuk beban AC sumber listrik akan di konversi dari arus searah DC menjadi arus bolak-balik AC dengan menggunakan *DC to AC Inverter*. Dimana daya keluaran *DC to AC inverter* dikombinasikan dengan listrik dari PLN menggunakan *change over switch* agar menjaga kehandalan sistem tersebut pada saat salah satu sumber tidak berkerja.

Berdasarkan atas latar belakang masalah yang ada, dalam makalah ini akan dipaparkan permasalahan pokok dalam proses perancangan sistem PLTS untuk memenuhi kebutuhan di Hanggar Delivery Center PT. Dirgantara Indonesia sebagai berikut, yang pertama adalah bagaimana cara kerja sistem PLTS terhubung jaringan PLN 220/50 Hz, analisa kebutuhan komponen apa saja pada sistem PLTS terhubung jaringan PLN dan perhitungan kapasitas beban yang akan disuplai oleh PLTS sehingga diperlukan analisis jumlah dan kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk mensuplai beban selama 24 jam. Perhitungan dan penentuan kapasitas *MPPT Solar Charging Controller* yang diperlukan untuk dapat melakukan pengisian pada baterai dengan mempertimbangkan kapasitas *inverter* yang diperlukan untuk dapat mensuplai beban AC pada Hanggar DC. Serta melakukan simulasi energi yang diterima dalam satu tahun.

Perencanaan ini meliputi perhitungan pada peralatan untuk menentukan peralatan PLTS diantaranya modul sel surya, baterai, *MPPT solar charge controller*, Inverter dan ukuran konduktor atau kabel dengan beban yang akan disuplai, pembuatan gambar sistem kelistrikan sistem PLTS dan simulasi kebutuhan

energi perangkat lunak di PVSOL. Peralatan Inverter, MPPT Charger & Baterai hanya dilakukan penentuan kapasitas saja tidak dilakukan simulasi.



Gambar 1. Lokasi dan koordinat Hanggar DC dari Google Map

Table 1. Informasi data tahunan

Bulan	Solar Insolation (kWh/m ² /hari)	Rata-rata temperatur (°C)	Kecepatan angin (m/det)
Jan	4.18	24.6	3.31
Feb	4.25	24.7	3.33
Mar	4.76	25	2.66
Apr	4.82	25.2	3.02
Mei	4.74	25.2	3.97
Jun	4.58	24.9	4.34
Jul	4.86	24.6	5.29
Agu	5.24	24.8	5.38
Sep	5.56	24.9	4.94
Okt	5.32	25	3.71
Nop	4.8	24.9	3.09
Des	4.63	24.7	2.69

METODE

Metode yang digunakan dalam perencanaan ini dilakukan dengan beberapa tahapan, studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan beberapa referensi jurnal, artikel ilmiah dari beberapa penelitian terkait dengan sistem PLTS terhubung jaringan *On-Grid* lalu pengumpulan data dilakukan di PT Dirgantara Indonesia yang di jadikan studi kasus, pada tahap desain sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan berbagai macam

aspek teknis seperti kehandalan sistem serta efisiensinya. Analisa sistem dilakukan secara manual sedangkan untuk simulasi akan menggunakan beberapa *software* yang berhubungan dengan sistem PLTS ini.

Lokasi Hanggar *Delivery Center*

Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian yang dilakukan yaitu, di PT Dirgantara Indonesia (Persero) di Jalan Padjadjaran.No 154, Bandung. Hanggar *Delivery Center* dijadikan lokasi perencanaan PLTS karena mempunyai beberapa kriteria mulai dari luasnya lahan, tidak adanya penghambat dari *insolation* matahari serta lengkapnya dokumen teknik untuk dijadikan referensi perencanaan. Hanggar *Delivery Center* berada di 6°53 menit 48.7 detik Lintang Selatan dan 107°34 menit 33 detik Bujur Timur. Penempatan PLTS ini di rencanakan pada *Rooftop* hanggar dengan luas tersedia sebesar 952.56 m², PLTS ini direncanakan untuk mensuplai beban listrik stop kontak, Penerangan di lantai 5 dan peralatan utama sistem Fire Alarm serta sistem Telepon. Berdasarkan *NASA Surface Meteorologi & Solar Energy* lokasi ini *Insolation* matahari sebesar 4.81 kWh/m²/day, dengan kecepatan angin 3.81 m/detik serta suhu rata-rata 24.9°C seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1.

Listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan listrik arus searah (DC) yang dipasang secara seri sehingga mendapatkan tegangan yang diinginkan yaitu 220 VDC dan disalurkan ke *battery bank* sebagai penyimpan daya dengan *solar charge controller* sistem *maximum power point tracker* sebagai sistem kendali pengisian baterai yang bekerja untuk mengoptimalkan transfer daya antara panel surya dengan baterai serta agar tidak terjadi *over charging* yang akan merusak sistem, kemudian dari baterai akan didistribusikan ke masing-masing beban yang terdiri dari beban peralatan elektronik untuk mencatu sistem *fire alarm* dan sistem telepon pada hanggar *delivery center*, kemudian Beban PLTS digunakan untuk mencatu beban penerangan dan stop kontak yang didisain pada lantai 5. Beban Bolak-balik (AC) sumber listrik akan dikonversi dari DC menjadi arus AC dengan menggunakan *inverter*. Keluaran inverter akan dikombinasikan dengan listrik dari PLN menggunakan *Automatic Change Over Switch* agar menjaga kehandalan sistem tersebut jika salah satu sumber tidak berkerja.

Tabel 2. Beban Eksisting Hanggar *Delivery Center*

No.	Beban	Jumlah	Daya (VA)	Daya (kW)	Jam Kerja (Jam)	PF
1	Lampu <i>Emergency</i> TL 2x36 W	44	3960	3618	14	0.8
2	Lampu <i>Emergency</i> TL 1x36 W	3	135	108	14	0.8
3	Lampu <i>Emergency</i> TL 2 x 18 W	22	495	396	14	0.8
4	Lampu <i>Emergency</i> TL 1 x 18 W (TKI)	14	315	252	14	0.8
5	Lampu <i>Emergency</i> TL 1 x 18 W (TKO)	14	315	252	14	0.8
6	Lampu <i>Emergency</i> TL DC 1 x 18 W	5	112.5	90	24	0.8
7	Stop Kontak 1 P 250 VA	9	2250	1800	14	0.8
8	Peralatan Utama FA/MCFA 20 Zona	1	1250	1000	24	0.8
9	MCFA Printer	1	375	300	24	0.8
10	Peralatan Utama Telepon CTBT-HU	1	1250	1000	14	0.8

Data Beban Eksisting

Beban eksisting terdiri dari beban penerangan dan stop kontak yang dicatu oleh Panel LP.

Tabel 3. Spesifikasi baterai sistem

VRLA AGM, Trojan 31-AGM		
No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Cell	6 buah
2	Tegangan	12 Volt
3	Kapasitas	82Ah@5hr-rate 1.75V per cell @ 27°C
4	Float Tegangan Pengisian	13.5 VDC/unit, rata – rata di Temp. 25°C
5	Temperatur Operasi	-20°C - 50°C tergantung kondisi temperatur
6	Kapasitas Pengisian	177 Mienit di 25 A
7	Material	Polypropylene
8	Berat	69 kg
9	Umur Desain	10 tahun
10	Ukuran (mm)	P 13.42 x P 6.81 x T 9.18

EG LT 5, sistem kebakaran dan sistem telepon dialiri sumber dari panel LP A/EA di lantai

basement. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi masing masing beban eksisting yang ada di lantai 5 hanggar *delivery center*, dengan beberapa lampu *Emergency* TL, printer dan telepon berdasarkan jam kerja besar daya dan jumlah masing – masing komponen kelistrikan.

Perhitungan Kapasitas Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dan dijadikan referensi dalam simulasi yaitu baterai, modul PLTS, DC to AC *converter*, MPP Charge Controller & Penampang kabel dimana secara detail dapat dilihat pada masing – masing tabel spesifikasi peralatan PLTS. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi baterai yang akan digunakan untuk menunjang kebutuhan sistem yang akan dibuat. Kapasitas baterai ditentukan berdasarkan kebutuhan beban secara spesifik berdasarkan jenis, ukuran baterai dengan waktu kerja yang telah ditentukan. IEEE 485 dijadikan referensi dalam melakukan perhitungan kapasitas baterai ini. Kapasitas baterai ditentukan dengan persamaan (1) sebagai berikut,

$$C_{min} = \frac{E_d \times (K_a \times K_c \times K_t)}{V_{DC} \times K_{dod}} \quad (1)$$

Persamaan (1) tersebut menunjukkan bahwa C_{min} merupakan kapasitas arus baterai

minimum dalam jam (Ah), E_d adalah disain energi (kVAh), V_{DC} merupakan tegangan kerja nominal pada baterai (V), K_a adalah faktor usia baterai, K_c dan K_t merupakan faktor kapasitas rating baterai dan faktor koreksi temperatur, sedangkan K_{dod} adalah *depth of discharge* maksimum (Fang, Guo, Zhang, & Liang, 2012).

Tabel 4. Faktor Diversitas

No. Jenis Project	Faktor Diversitas		
	$\sum Lc$	$\sum Li$	$\sum LS$
1. <i>Conceptual Design</i>	1.0-1.1	0.5-0.6	0.0-0.1
2. <i>Front-end Engineering</i>	1.0-1.1	0.5-0.6	0.0-0.1
3. <i>Detail Design Engineering</i>	0.9-1.0	0.3-0.5	0.0-0.2

Tabel 5. Koefisiensi *Oversupply*

No.	Jenis Pembangkit <i>Renewable Energy</i>	Nilai Koefisien <i>Oversupply</i>
1.	<i>Photovoltaic</i>	1.3 – 2.0
2.	<i>Micro-Hydro</i>	1.15 – 1.5
3.	<i>Wind Turbine</i>	2 – 4

Nilai tegangan operasi diperoleh dengan menentukan kapasitas yang diperlukan sehingga konfigurasi baterai harus dibuat secara seri, untuk menentukan hal tersebut dapat dilakukan dengan persamaan (2) berikut,

$$N_{max} = \frac{V_{DC}(1 + VI_{max})}{V_c} \quad (2)$$

Dimana nilai N_{max} adalah Jumlah Maksimum sel baterai, V_{DC} merupakan tegangan nominal baterai, VI_{max} merupakan besar toleransi tegangan maksimum, dan V_c adalah tegangan *charging cell* baterai. Kemudian untuk menentukan tegangan minimum baterai seperti persamaan (3) berikut,

$$N_{min} = \frac{V_{DC}(1 - VI_{min})}{V_{eod}} \quad (3)$$

Nilai V_{eod} menunjukkan tegangan *end of discharge*, selanjutnya untuk menentukan jumlah sel atau unit baterai yang digunakan ditentukan dengan persamaan (4) berikut,

$$\Sigma_{batt} = \frac{(N_{max} - N_{min})}{2} \quad (4)$$

Penentuan kapasitas peralatan dimulai dari penentuan beban perencanaan dengan pertimbangan tugas dan jenis beban, beban desain dapat dihitung dengan persamaan (5) berikut,

$$D_{load} = 1.1 \times O_L + 0.1 \sum LS \quad (5)$$

D_{load} adalah *Design Load* dalam (kVA atau kW) *Design Load* ini merupakan beban yang akan direncanakan dalam penentuan kapasitas peralatan D_{load} harus memiliki margin pertumbuhan atau penambahan beban tak terduga yang mungkin muncul setelah tahap perancangan ataupun kesalahan pada saat estimasi beban. $\sum LS$ merupakan *Standby Load* yaitu beban yang hanya sesekali digunakan pada saat perbaikan atau sebagai *backup* jika beban lain tidak beroperasi dalam (kW or kVA). O_L merupakan *Operating Load* yaitu beban yang digunakan pada saat keadaan normal (kVA atau kW) dan dapat dihitung menggunakan persamaan (6) sebagai berikut

$$O_{load} = \sum Lc + 0.5 \times \sum Li \quad (6)$$

$\sum Lc$ mendefinisikan *Continuous Load* beban yang beroperasi secara terus-menerus dalam kurun waktu 24 jam (kW or kVA). $\sum Li$ digunakan sebagai *Intermittent Load* yaitu beban yang beroperasi sepersekian periode dalam kurun waktu 24 jam dalam (kW or kVA). Nilai faktor diversitas ditunjukkan oleh tabel 4. Penentuan kapasitas peralatan Solar Panel & baterai merujuk kepada (AS/NZS 4509.1, 2009) dimana solar panel dapat ditentukan sebagai berikut,

$$N = \frac{E_d \times f_o}{P_{mod} \cdot G \cdot \eta_{PVSS}} \quad (7)$$

N adalah jumlah Modul PV/panel surya yang diperlukan, E_d merupakan total energi harian (VAh), total energi harian berdasarkan *design Load* yang telah ditentukan. Nilai G adalah radiasi matahari dalam (kWh/m²/day), η_{PVSS} merupakan Efisiensi *Sub-system* dan f_o adalah koefisien *Oversupply*. Nilai koefisien *Oversupply* memiliki nilai yang berbeda dari masing – masing pembangkitan (lihat tabel 5).

Penentuan Effisiensi η_{PVSS} dapat ditentukan dengan persamaan (8) sebagai berikut,

$$\eta_{PVSS} = \eta_{PV_{batt_{load}}} \cdot \eta_{PV_{inv}} \cdot \eta_{PV_{inv_{chg}}} \cdot \eta_{batt.} \cdot \eta_{inv(invt)} \quad (8)$$

Dari Persamaan (8) diketahui $\eta_{PV_{batt_{load}}}$ adalah efisiensi energi pada konduktor PV array dan beban yang melewati inverter dan baterai, $\eta_{PV_{inv}}$ merupakan efisiensi energi PV inverter, $\eta_{PV_{inv_{chg}}}$ adalah efisiensi energi baterai utama inverter saat mode charging, $\eta_{batt.}$ adalah nilai efisiensi energi baterai dan $\eta_{inv(invt)}$ adalah efisiensi energi baterai utama inverter pada saat mode inverter.

Berdasarkan tugas dan jenis beban serta desain kebutuhan di masa yang akan datang kapasitas inverter ditentukan dengan persamaan (9) sebagai berikut,

$$N_{inv} = \frac{P_{out_{PV}}}{\eta_{inv} \times P_{out_{inv}}} \quad (9)$$

Nilai η_{inv} adalah efisiensi dari inverter yang digunakan dalam spesifikasi sistem. Tabel 6 menunjukkan spesifikasi panel surya yang dipilih dengan jenis material semikonduktor *silicon-polycrystalline* dengan efisiensi penyerapan sel surya 17%, dengan karakteristik koefisien temperatur pada saat daya maksimum (P_{max}) $-0.41\%/^{\circ}\text{C}$, koefisien temperatur (V_{OC}) $-0.33\%/^{\circ}\text{C}$ dan koefisien temperatur ketika hubung singkat $-0.067\%/^{\circ}\text{C}$. Spesifikasi ini ditunjukkan dengan daya maksimum (P_{max}), tegangan (V_{mp}) dan arus operasi maksimum (I_{mp}), tegangan operasi maksimum (V_{OC}) dan arus hubung singkat Arus (I_{SC}) sesuai *Standard Test Condition* (S_{TC}) dan *Normally Operation Test Condition* (NO_{TC}).

Tabel 7 menunjukkan Spesifikasi Inverter *Grid Tied String Inverter Fronius Primo 15.0-1, 1 Phase*. Spesifikasi MPPT *charge controller* beroperasi pada tegangan 220 VDC dan arus > 81 A (IEC 60364, 2002).

Pertimbangan pemilihan luas penampang kabel akan mempengaruhi persentasi rugi – rugi pada sistem PLTS seperti pada (Iskandar, Rizqiawan, & Heryana, 2015). Lihat tabel 8 dan

tabel 9 untuk spesifikasi kabel DC yang digunakan dalam sistem PLTS di Hanggar *Delivery Center*. Luas penampang kabel akan ditentukan dengan 2 metode yaitu Kuat Hantar Arus (*Ampacity*) dan tegangan jatuh untuk meyakinkan bahwa kabel yang digunakan handal. Metode kuat hantar arus dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut dalam persamaan (10).

$$I_B = I_C \times K_D \quad (10)$$

Dimana, I_B merupakan kuat hantar arus kabel dalam (A) dan I_C adalah arus beban dalam (A), dan K_D adalah *derating factor*. Karena kabel dipasang di atas permukaan tanah sehingga dihitung berdasarkan *ambient* temperatur dan *derating factor* pemasangan di atas permukaan tanah (Demoulias, Labridis, Dokopoulos, & Gouramanis, 2007).

$$K_D = K_{amb} \times K_g \quad (11)$$

Persamaan (11) diatas menunjukkan bahwa K_{amb} adalah *derating factor* temperatur lingkungan sekitar dan K_g adalah *derating factor* pada *group* kabel (lihat tabel 8).

Tabel 6. Spesifikasi Panel Surya

No.	Spesifikasi Panel Surya	Si-Poly Solar SUNTECH Power STP-325	
		S_{TC}	NO_{TC}
1.	Daya (P_{max})	325 W	240 W
2.	Teg. Op. (V_{mp})	37.3 V	34.2 V
3.	Arus. Op. (I_{mp})	8.72 A	6.99 A
4.	Teg. (V_{OC})	45.9 V	42.2 V
5.	Arus (I_{SC})	9.26 A	7.49 A

Tabel 7. Spesifikasi Inverter

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Efisiensi (η)	96.5%
2.	Input PV (rekomendasi)	18000 Watt
3.	Teg. Input Maks.	600 V
4.	Arus Input Maks.	51 A
5.	Teg. MPPT Min.	240 V
6.	Teg. MPPT Maks.	480 V
7.	Jumlah MPPT	2
8.	Frekuensi (Hz)	50 – 60 Hz

9. Teg. Operasi	80 V min. 600 mak
10. Dimensi	8.9 x 20.1 x 28.5 in

Tabel 8. Spesifikasi Kabel DC

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Penampang Kabel (mm ²)	2.5, 6, dan 16
2.	Rating Tegangan (V)	0.6/1 kV
3.	Ins. Resistance (Ω/km)	1000 Ω/km
4.	Cond. Resistance (Ω/km)	8.2 Ω/km
5.	Ambient Temperature (°C)	-40 - +90°C

Tabel 9. Spesifikasi Kabel AC (NYY)

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Penampang Kabel (mm ²)	3x10 dan 3 x 18
2.	Rating Tegangan (V)	0.6/1 kV
3.	Ins. Resistance (Ω/km)	1000 Ω/km
4.	Cond. Resistance (Ω/km)	1.37 - 2.19 Ω/km
5.	Ambient Temperature (°C)	30°C

Design load harus dipertimbangkan, tegangan kerja serta kapasitas baterai maka kapasitas *solar charge* dapat dihitung menggunakan persamaan (12) sebagai berikut,

$$I_C = \frac{P_{in_Inv}}{V_{in_min}} \quad (12)$$

Nilai I_C dalam persamaan (12) adalah kapasitas baterai *charger* dalam (A), P_{in_Inv} merupakan daya masukan inverter (W) dan V_{in_min} merupakan nilai tegangan masukan minimum *inverter* (V). Metode perhitungan *voltage drop* (tegangan jatuh) ditentukan berdasarkan jenis arus yang digunakan diantaranya, perhitungan tegangan jatuh untuk sistem arus DC dapat dihitung dengan persamaan (13), sebagai berikut,

$$V_{DC} = \frac{2I \times R_C \times L}{1000} \quad (13)$$

Nilai V_{DC} adalah tegangan jatuh (V), I adalah arus beban (A), dan R_C merupakan nilai tahanan kabel atau konduktor (Ω/km) dan L adalah panjang kabel (km). Selanjutnya penentuan tegangan jatuh untuk sistem arus bolak - balik 1 fasa dapat dihitung dengan persamaan (14), sebagai berikut,

$$V_{1\phi} = \frac{2I (R_C \cos \phi + X_C \sin \phi) L}{1000} \quad (14)$$

Nilai $V_{1\phi}$ adalah tegangan jatuh 1 fasa dalam (V), I adalah arus beban (A), R_C tahanan kabel (Ω/km), X_C adalah reaktansi kabel (Ω/km), ϕ adalah faktor daya dan L adalah panjang kabel (m).

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Perhitungan Disain Beban

Perencanaan beban ditentukan berdasarkan kondisi dan kapasitas beban eksisting dengan mempertimbangkan tugas dan jenis masing – masing beban serta *design margin* untuk kebutuhan di masa yang datang.

Tabel 10. Hasil perhitungan disain beban

No. Jenis Beban	Konsumsi Beban			
	(W)	(Wh)	(VA)	(VAh)
1. <i>Tot.ContLoad</i>	7683	122598	9603	153372
2. <i>Tot.intLoad</i>	2917	45000	3646	56250
3. <i>Tot.standbyLoad</i>	0	0	0	0
4. <i>Peak.Load</i>	9141	145198	11426	181497
5. <i>Op.Load</i>	9141	145198	11426	181497
6. <i>DesignLoad</i>	10055	159718	12569	199647

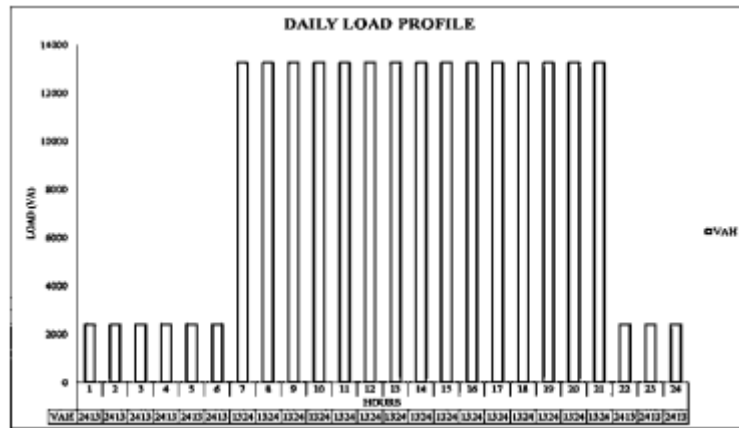
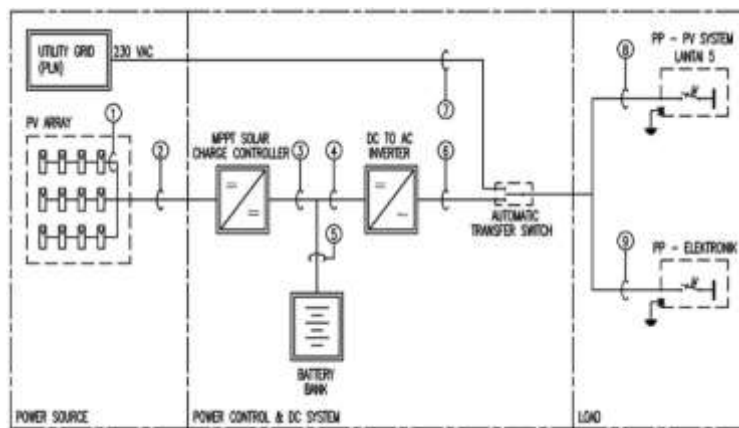
Beban tersebut ditentukan berdasarkan persamaan (15). Untuk mendapatkan P_{Load} gunakan persamaan (5) dan persamaan (6). Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan oleh tabel 10.

$$P_{Load} = \sum LC + 0.5 \times \sum LI + 0.1 \times \sum LS \quad (15)$$

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan kebutuhan beban sesuai disain dengan parameter konsumsi beban dalam (Watt), (Watt hour), (VA) dan (VAh). Masing – masing dihitung berdasarkan jenis beban yaitu total beban kontinyu, total beban berselang, total beban pada saat *standby*, pada saat beban puncak (*peak*), dan beban yang didisain.

Hasil Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Hasil perhitungan kapasitas panel surya harus diperhatikan P_{load} adalah *derated power output* dalam Watt (W) yaitu daya keluaran module dari hasil perkalian antara daya modul surya dan *derating factor*. Dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan temperatur efektif sel surya dapat dihitung dengan persamaan (16) dan Berdasarkan temperatur efektif sel surya dan koefisien

Gambar 2. Grafik beban harian sistem PLTS *on-grid* dengan *back-up* baterai

Gambar 3. Konfigurasi Penomoran Kabel

temperatur daya pada spesifikasi peralatan maka *derating factor* temperatur dapat dihitung dengan persamaan (17),

$$T_{Cell_{eff.}} = T_{a_{day}} + T_{STC} \quad (16)$$

$$F_{temp.} = 1 - \gamma (T_{Cell_{eff.}} - T_{STC}) \quad (17)$$

$$P_{mod} = P_{STC} \cdot f_{man} \cdot f_{temp} \cdot f_{dirt} \quad (18)$$

Hasil persamaan (16) dan (17) temperatur efektif untuk sel surya adalah 49.9°C dengan temperatur ambient harian berdasarkan data 24.9 °C dan temperatur T_{STC} di 25°C.

Nilai $F_{temp.}$ faktor temperatur dengan nilai γ (gamma 0.0041) adalah 0.89. Sedangkan hasil perhitungan dari persamaan (18) untuk nilai faktor penurunan akibat suhu dengan asumsi debu pada saat bersih 1.0, rendah 0.98, menengah 0.97, dan tinggi 0.92 nilai 280.23 Watt. Sehingga jumlah modul PV dapat ditentukan berdasarkan persamaan (7) adalah 213.9 panel surya. Maka total modul surya yang digunakan untuk mensuplai sistem ini

sebanyak 214 buah dengan kapasitas total 69550 Wp yang dipasang secara seri setiap 6 Panel untuk mendapatkan nominal tegangan 223 Volt.

Hasil Perhitungan Kapasitas Baterai

Berdasarkan desain beban, serta beberapa faktor jumlah kapasitas baterai dapat dihitung dengan persamaan (19). Nilai E_d 199647.9, nilai K_a 1.25, nilai K_c 1.1 dan K_t 0.95. Asumsi untuk nilai tegangan adalah 220 V, nilai K_{dod} 0.8 dan K_e 0.9. Maka hasil perhitungan kapasitas baterai minimum adalah 1646.4 Ah.

$$C_{min} = \frac{E_d(K_a \cdot K_c \cdot K_t)}{V_{DC} \cdot K_{dod} \cdot K_e} \quad (19)$$

Untuk mendapatkan nilai tegangan sesuai dengan tegangan operasi maka konfigurasi baterai disusun secara seri. Dimana jumlah sel maksimal didapat 117.3 sel dengan menggunakan persamaan (2), sedangkan jumlah sel minimal didapat 113.1 sel dengan menggunakan persamaan (3). Maka jumlah sel

yang digunakan dalam persamaan (4) adalah 115.2 sel baterai. Jumlah baterai yang di gunakan sebanyak 121 sel 21 Unit 12V, dipasang secara seri 19 unit 115 sel untuk mendapatkan nominal tegangan 220 VDC dan 3 unit dipasang paralel dengan kapasitas total 1722 Ah dalam kurun waktu 5 jam.

Hasil Perhitungan Kapasitas Inverter

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (9), yaitu sebesar 5 dari hasil perbandingan daya keluaran panel surya 69550 Wp, dengan efisiensi inverter 0.965 Inverter yang digunakan menggunakan *string inverter*, tegangan keluran 230 VAC 1 Phase 15 kW.

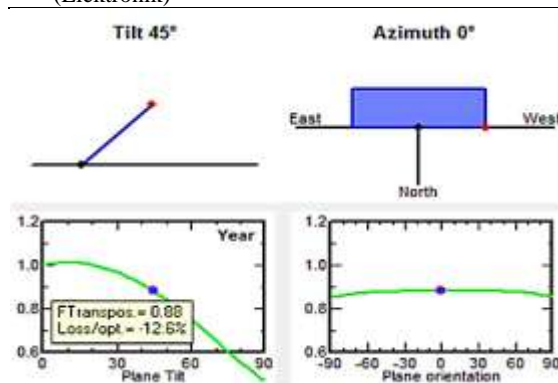
Tabel 11. Hasil Perhitungan Ampacity Kabel

No.	Kabel	Ampacity (A)	
		Kabel	Beban
1.	Modul PV – PV Combiner	22	5.35
2.	PV Combiner – SSC	95	39.9
3.	SSC - Inverter	52	39.9
4.	Kabel SSC – Baterai	52	39.9
5.	Baterai – Inverter	52	39.9
6.	Inverter – Automatic Transfer Switch Utility (PLN) –	76	39.9
7.	Automatic Transfer Switch Automatic	79	39.9
8.	Transfer Switch – PP (Lantai 5) Automatic	60	21.46
9.	Transfer Switch – PP (Elektronik)	60	13.06

Tabel 12. Hasil Luas Penampang

No.	Nama Kabel	Tegangan Jatuh		A (mm ²)
		Teg. (V)	Beban (%)	
1.	Modul PV – PV Combiner	0.01	0.00	1.5
2.	PV Combiner – SSC	7.08	3.22	16
3.	SSC - Inverter	7.47	3.52	6
4.	Kabel SSC – Baterai	7.47	3.52	6

5.	Baterai – Inverter	7.47	3.52	6
6.	Inverter – Automatic Transfer Switch Utility (PLN) –	0.194	0.09	10
7.	Automatic Transfer Switch Automatic	0.12	0.05	6
8.	Transfer Switch – PP (Lantai 5) Automatic	0.11	0.05	10
9.	Transfer Switch – PP (Elektronik)	0.07	0.03	10



Gambar 4. Sudut kemiringan panel surya

Hasil Perhitungan Kapasitas MPPT SSC

Hasil perhitungan kapasitas, antara tegangan kerja inverter serta kapasitas baterai, kapasitas MPPT dapat dihitung dengan persamaan (12), dimana P_{in_Inv} daya masukan inverter 18000 W dan V_{in_min} tegangan masukan minimum inverter 220 V nilai I_C adalah 63 A. Karena menggunakan 5 string inverter dengan kapasitas 15000 kW dengan dua MPPT dalam satu inverter. Maka MPPT SSC yang digunakan 220 VDC, 35 A dengan jumlah 10 unit.

Hasil Perhitungan Kapasitas Kabel

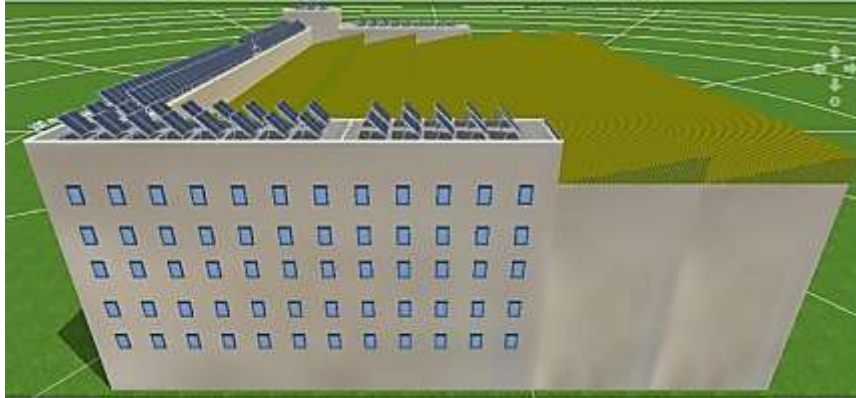
Kapasitas kabel ditentukan dengan menggunakan 3 metode dengan perhitungan kuat hantar arus dilakukan dengan persamaan (10), Gambar 3 menunjukkan hasil perhitungan kapasitas kabel dan kuat hantar arus dalam Ampere (A), ditunjukkan oleh Tabel 11, perhitungan diatas dan berdasarkan jenis kabel, nilai resistansi serta panjangnya. Hasil perhitungan tertera pada Tabel 12 luas penampang dalam mm² dan tegangan jatuh

dalam (V) dan presentase pada beban dalam (%).

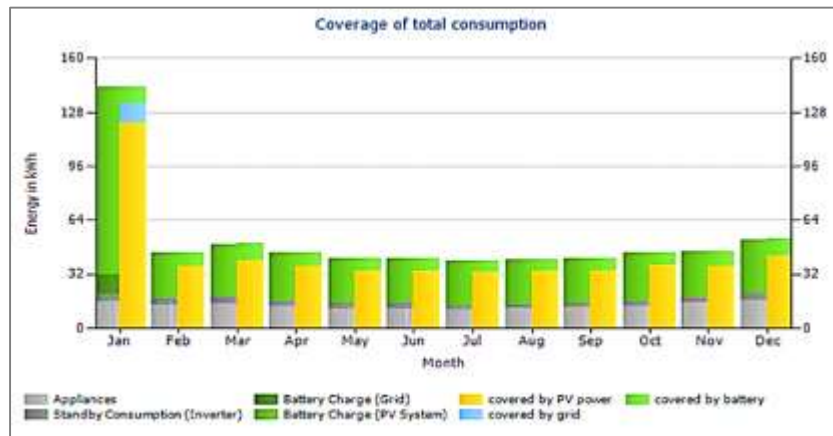
Simulasi Optimum Kemiringan Modul PV

Hasil simulasi aplikasi PVSOL dengan konfigurasi sistem pada lahan yang digunakan 415.24 m², 214 unit panel PV 325 Wp, Baterai 21 dan dipasang seri 19 Unit 12 V, 87 Ah dan 5 unit *inverter string* 15 kW serta sumber utilitas

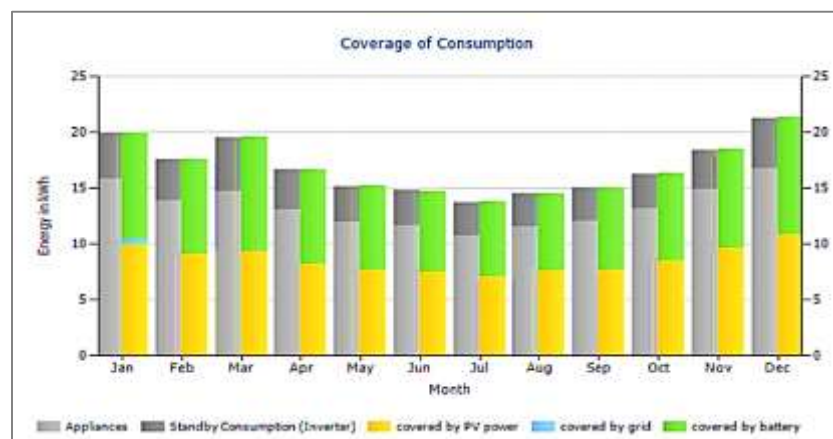
yang di suplai oleh PLN sebesar 220 VAC, pemasangan dilakukan di atas atap atau *rooftop* hangar dengan sudut tetap 45° (lihat Gambar 4). Dari hasil simulasi PVSOL energi tahunan atau global radiasi yang diterima pada permukaan horizontal sebesar 1499.1 kWh sedangkan pada permukaan panel sebesar 1177.2 kWh.



Gambar 5. Instalasi 3D Sistem PLTS Hanggar *Delivery Center*



Gambar 6. Total energi yang dibangkitkan tahunan



Gambar 7. Total energi yang dikonsumsi tahunan

Berdasarkan Global radiasi yang diterima permukaan panel dengan luas 415.24 m² didapatkan radiasi solar panel tahunan secara global yang diterima sebesar 488804.2 kWh. Dari total energi tahunan yang diterima sistem arah aliran energi tersebut tersebar ke berbagai macam beban secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 6 dengan total yang dikonsumsi oleh Hanggar *Delivery Center* selama satu tahun dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil simulasi juga menunjukkan temperatur yang mengenai modul surya pertahun berkisar antar $\leq 20^{\circ}\text{C}$ dan temperatur lingkungan $20^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$, dengan besar *global irradiance* rata – rata 1449.1 kWh/m²/tahun dan rugi – rugi yang diakibatkan orientasi dan inklinasi pada permukaan modul surya 21,41%.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas peralatan dapat disimpulkan bahwa yang pertama adalah beban harian dengan pertimbangan jenis dan tugas beban yang harus dicover oleh sistem ini sebesar 159718 Wh atau 199647 Vah, yang kedua jumlah modul surya yang digunakan untuk mensuplai sistem ini sebanyak 214 buah dengan kapasitas total 69550 WP dimana solar panel ini didisain untuk mensuplai beban secara langsung pada siang hari dan beban baterai untuk beban pada malam hari dengan pertimbangan jam kerja dari masing-masing beban, ketiga jumlah baterai yang digunakan untuk mensuplai beban sebanyak 21 unit dengan tegangan sel 12 Volt/Unit 3 Cell/Unit dengan kapasitas 1722 Ah dengan kurun waktu pengisian 5 jam, kemudian yang keempat jumlah *Inverter* yang digunakan sebanyak 5 unit dengan kapasitas 15 KW dengan daya keluaran 1 fasa 230 VAC dengan konfigurasi *string inverter*, selanjutnya jumlah MPPT *Solar Charge Controller* yang digunakan sebanyak 10 unit dengan kapasitas 220 V, 35 Ampere minimum.

Berdasarkan hasil simulasi *PV System Energy Balance* yang dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsol dapat disimpulkan bahwa besar radiasi *global* pada modul PV hanya diterima sebesar 1177.2 kWh/m², besar radiasi global pada solar panel dengan luas total 415.24 m² yaitu 488804 kWh.

DAFTAR PUSTAKA

- AS/NZS 4509.1. (2009). Australian / New Zealand Standard TM Stand-alone power systems Part 1 : Safety and installation. In 1 (p. 8).
- Breeze, P. (2005). *Power Generation Technologies. Biomass CHP Technology*.
- Demoulias, C., Labridis, D. P., Dokopoulos, P. S., & Gouramanis, K. (2007). Ampacity of low-voltage power cables under nonsinusoidal currents. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(1), 584–594.
- Fang, X., Guo, Q., Zhang, D., & Liang, S. (2012). Capacity credit evaluation of photovoltaic generation based on system reserve capacity. In *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*. h
- Freris, L. (2008). *Renewable Energy in Power Systems. A John Wiley and Son*. ht
- Heri, J. (2012). Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cell Kapasitas 50 WP. *Engineering*, 4, No 1, 47–55. Retrieved from
- IEC 60364. (2002). *IEC 60364-7-712. IEC* (Vol. 2002). Retrieved from <http://cdsweb.cern.ch/record/1227824>
- Iskandar, H. R., Purwadi, A., Rizqiawan, A., & Heryana, N. (2016). Prototype Development of a Low Cost Data Logger and Monitoring System for PV Application. In *ICPERE* (pp. 171–177). Yogyakarta: ISBN: 978-1-5090-5108-3.
- Iskandar, H. R., Rizqiawan, A., & Heryana, N. (2015). Perhitungan dan Penentuan Ukuran Kabel DC untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. In *Seminar Nasional Ketenagalistrikan dan Aplikasinya (SENKA)*.
- PLN. (2017). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2017-2026. Ruptl* (Vol. 1).