

Pemodelan dan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Disnakertrans Kabupaten Bandung Barat

Handoko Rusiana Iskandar

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531
handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id

Abstract

Solar Power Plants (SPP) in Indonesia are increasing rapidly after a range of government regulations have been standardized to encourage the growth of the New and Renewable Energy (NRE) and to support other energy sources other than fossil energy. Rooftop photovoltaic (PV) systems are necessary for government buildings to support electrical energy and even utility grids. This paper presents the generation potential, the measurement of the solar panel capacity, the mounting system, the estimation of the power and number of batteries and the option of the inverter power with the option of the capacity and autonomous day variations for government buildings, namely the Manpower and Transmigration Office of West Bandung Regency. Based on the results of the measurements and experiments and simulations carried out, the power of solar panels with an output of 351 MWh in one year with a total output of 958 225 Wp solar panels with an output of 13.6 %. The power generated by the rooftop PV system is 215550 Wp with the number of batteries is configured to have a capacity that ranges based on the available autonomous days and the actual battery capacity achieved for 12V/100Ah is 2925000Wh, 4 autonomous days is 3900000Wh and 5 autonomous days is 4875000Wh. In the meanwhile, the power and number of inverters are 2, 5 and 9 for each inverter capacity of 25 kW, 50 kW and 100 kW respectively.

Keywords : *Mounting System, Manpower And Transmigration Office of West Bandung Regency, Solar Power Plant, Rooftop PV System,*

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia berkembang pesat setelah beberapa peraturan pemerintah dibakukan sebagai peran dalam mendorong peningkatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dan mendukung sumber energi lain selain energi fosil. Sistem PLTS atap diwajibkan bagi gedung pemerintah guna menunjang energi listrik bahkan bisa mendukung listrik jaringan utilitas. Dalam makalah ini suatu desain mencakup potensi pembangkitan, perhitungan kapasitas panel surya, *mounting system*, estimasi kapasitas dan jumlah baterai serta pilihan kapasitas inverter dengan pilihan kapasitas dan variasi hari otonom dipaparkan untuk gedung pemerintah yaitu dinas ketenagakerjaan dan transmigrasi (Disnakertrans) Kabupaten Bandung Barat. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian serta simulasi yang telah dilakukan kapasitas panel surya dengan daya pembangkitan sebesar 351 MWh dalam satu tahun dengan total panel surya sebanyak 958 buah 225Wp dengan efisiensi 13,6% dan daya yang dibangkitkan oleh PLTS atap adalah sebesar 215550 Wp. Jumlah baterai didesain memiliki kapasitas yang beragam sesuai dengan hari otonom yang tersedia dan maksimum kapasitas baterai yang diperoleh untuk 12V/100Ah adalah 2925000Wh, otonom 4 hari sebesar 3900000Wh dan otonom 5 hari sebesar 4875000Wh. Sedangkan kapasitas dan jumlah inverter sebanyak 2, 5, dan 9 buah untuk masing – masing kapasitas inverter 25 kW, 50kW dan 100kW berturut-turut.

Kata kunci : Gedung Disnakertrans Kabupaten Bandung Barat, Hari Otonom, *Mounting System*, PLTS Atap

I. PENDAHULUAN

Pembangkit energi terbarukan sudah menjadi pilihan banyak negara termasuk Indonesia[1][2]. Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[3]. Tidak hanya menyasar masyarakat yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi alternatif, namun sistem PLTS menjadi kebutuhan fasilitas publik dan bersifat komunal di Indonesia [4][5]. Termasuk kebutuhan penerangan jalan umum (PJU) namun juga PLTS berperan dalam sumber energi di Laboratorium[6][7]. PLTS dikembangkan hingga perangkat elektronik berbasis *Internet of Things* (IoT)[8][9]. PLTS ini menjadi perhatian dan digunakan untuk sistem residensial[10]. Sistem residensial memiliki keuntungan untuk bisa terhubung dengan jaringan PLN 220VAC/50Hz dengan karakteristik tertentu baik dalam rumah tetapi juga digunakan untuk gedung yang dapat digunakan sebagai *back up* energi selain PLN[11].

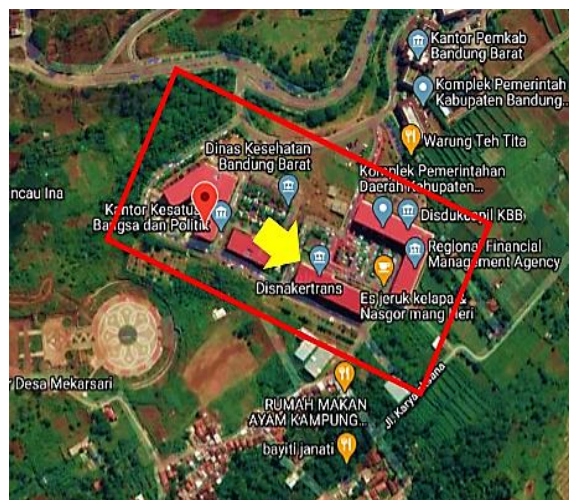
Pemerintah mengatur semua kegiatan PLTS atap disetiap bangunan atau gedung. Hal ini sesuai dengan rekomendasi berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) dalam Lampiran 1 Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional[12] yang berisi “memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh gedung pemerintah”, kemudian “memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap (*rooftop*) bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen, kompleks melalui Izin Mendirikan Bangunan (IMB)”. Selain itu dikutip dari Peraturan Menteri (Permen) dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh konsumen PT. PLN (Persero)[13] Pasal 5 bahwa kapasitas sistem PLTS Atap dibatasi paling tinggi 100% dan kapasitas tersebut ditentukan berdasarkan kapasitas total inverter. Selanjutnya dijelaskan dalam Pasal 6 untuk peraturan kWh Ekspor 65%. kWh ekspor – impor (*ex-im*) ini dikenal dengan sistem *net metering*. Semua penjelasan tersebut diperkuat dengan adanya kapasitas pembangkit tenaga listrik untuk kepentingan sendiri yang dilaksanakan berdasarkan izin operasi dalam Permen ESDM Tahun 2019[14]. Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam makalah ini dijelaskan suatu

perancangan sistem PLTS Atap Gedung Pemerintah dengan memanfaatkan luas atap gedung tersebut. Jumlah energi yang bisa dibangkitkan oleh PLTS dibuat berdasarkan simulasi PLTS atap dan jenis atau karakteristik panel surya yang digunakan sehingga jumlah inverter dan sistem baterai dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di gedung tersebut.

II. METODE

A. Lokasi dan Meteorologi

Gambar 1 menunjukkan gedung yang dipilih yaitu Gedung Dinas Ketenagakerjaan dan Transmigrasi (Disnakertrans) Pemerintah Kabupaten Kabupaten Bandung Barat. Aplikasi *google map* membantu untuk mencari koordinat lokasi gedung tersebut. Koordinat gedung disnakertrans Kabupaten Bandung Barat adalah berada pada garis lintang $62^{\circ}S$ dan garis bujur $107.9^{\circ}E$ (lihat Tabel 1). Sehingga parameter data meteorologi dapat digunakan untuk menentukan besar irradiansi (kWh/m^2), temperatur ($^{\circ}C$), dan kecepatan angin (m/s) rata – rata dalam 1 Tahun (kWh/m^2). Data yang diperoleh dimasukkan dalam perangkat lunak untuk simulasi.



Gambar 1. Lokasi Gedung Disnakertrans Kabupaten Bandung Barat

Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi terbagi menjadi 3 kategori. Energi atau sinar matahari yang sampai hingga permukaan bumi akibat hamburan atau serapan awan disebut sebagai radiasi *diffuse*, untuk energi atau radiasi matahari yang sampai hingga permukaan bumi namun dipantulkan sebagian oleh air, tumbuhan atau benda lain disebut sebagai sinar *albedo*. *Albedo* ini dalam simulasi menggunakan

TABEL 1. DATA METEOROLOGI GEDUNG DISNAKERTRANS KAB. BANDUNG BARAT

Bulan	Global Horizontal (kWh/m ² .mth)	Diff. Horizontal (kWh/m ² .mth)	Beam Horizontal (kWh/m ² .mth)	Beam Normal (kWh/m ² .mth)	Global Irradiation (kWh/m ² .mth)	Temp. (°C)	Wind Velocity (m/s)
Jan	138	68,1	69,99	99,5	109,1	27,20	3,1
Feb	144	15,00	78,99	109,1	121,0	26,90	3,6
Mar	150	70,00	79,99	114,0	138,3	26,90	3,6
Apr	138	64,01	73,99	105,5	139,7	27,30	3,1
Mei	133	61,00	72,01	111,3	146,1	27,20	3,1
Jun	131	57,00	74,01	116,9	150,5	26,80	3,1
Jul	138	60,00	78,00	121,2	155,7	26,10	3,6
Agus	141	64,00	77,01	112,2	147,9	26,50	3,6
Sept	134	64,00	70,01	97,6	127,9	27,90	3,6
Okt	137	67,00	70,01	92,1	120,6	28,90	3,6
Nov	118	62,02	55,99	77,6	97,1	28,60	3,6
Des	124	64,00	60,00	85,6	96,7	28,00	3,6

perangkat lunak akan diberikan sekitar 20%. Sedangkan untuk sinar yang sampai hingga permukaan tapi rugi – rugi hamburan atau pantulan disebut sebagai sinar radiasi langsung (*beam*). Sinar inilah yang kita rasakan dalam permukaan kulit ketika terkena radiasi tersebut. Rata – rata radiasi yang diterima dalam 1 tahun.

B. Karakteristik Panel Surya

Harga maksimum puncak (*peak*) akan terlihat pada kondisi *Peak Sun Hour* (PSH), Indonesia memiliki 4 – 5 jam PSH dalam 1 hari. Spesifikasi panel surya tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.

TABEL 2. SPESIFIKASI PANEL SURYA

No	Parameter	Keterangan
1	Manufacture	AMP Solar AM 225
2	Jenis Sel Surya	Si - Mono
3	Daya Op. Maks. (Pmax.)	225 Wp
4	Arus Op.Maks. (Imp)	8,9 A
5	Teg. Op. Maks (Vmp)	25,1 V
6	Arus Hub. Singkat (I _{sc})	9,4 A
7	Teg. Rang. Terbuka (V _{oc})	31,1 V
8	Dimensi Modul	1650 x 988 mm

Tabel spesifikasi tersebut menunjukkan daya maksimum. Operasi maksimum panel surya adalah 225Wp dengan asumsi saat kondisi *Standard Test Condition* (STC) yaitu ketika besar irradiasi menghitung berapa besar faktor pengisian panel surya (*fill factor*) sehingga akan menentukan berapa besar efisiensi energi yang mampu diterima panel surya. Efisiensi panel

surya saat ini adalah jenis silikon monokristalin. Untuk menghitung efisiensi panel surya gunakan persamaan berikut[15].

$$Eff(\%) = \frac{P_{max} \times fill_{factor}}{Dimensi (PV) \times Solar_{Irr}} \quad (1)$$

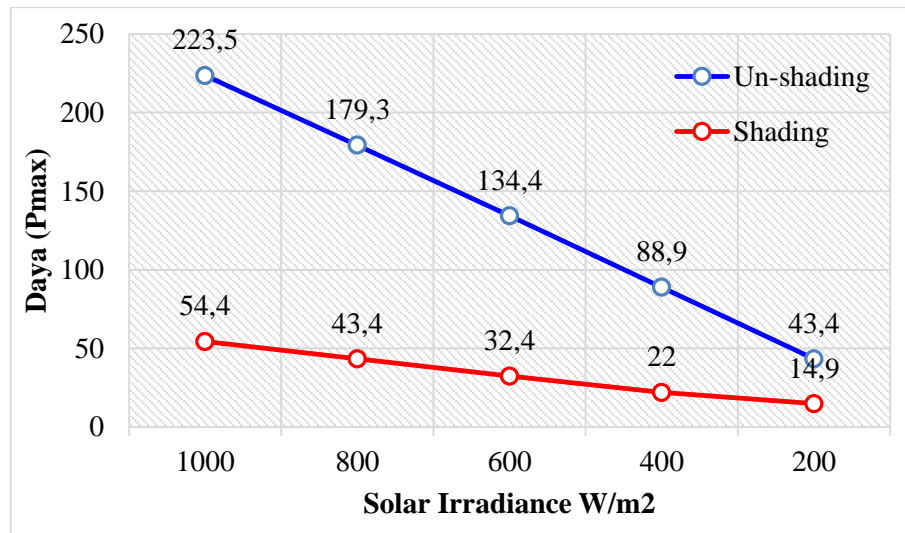
$$fill_{factor} = \frac{(V_{mp} \times I_{mp})}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (2)$$

Karakteristik panel surya dibutuhkan untuk melihat performa dari panel surya yang akan digunakan. Kurva karakteristik panel surya akan menunjukkan semua operasi daya maksimum bergantung pada *Irradiance* matahari (1000 W/m²) dan temperatur ideal pada panel surya (25°C atau 77°F).

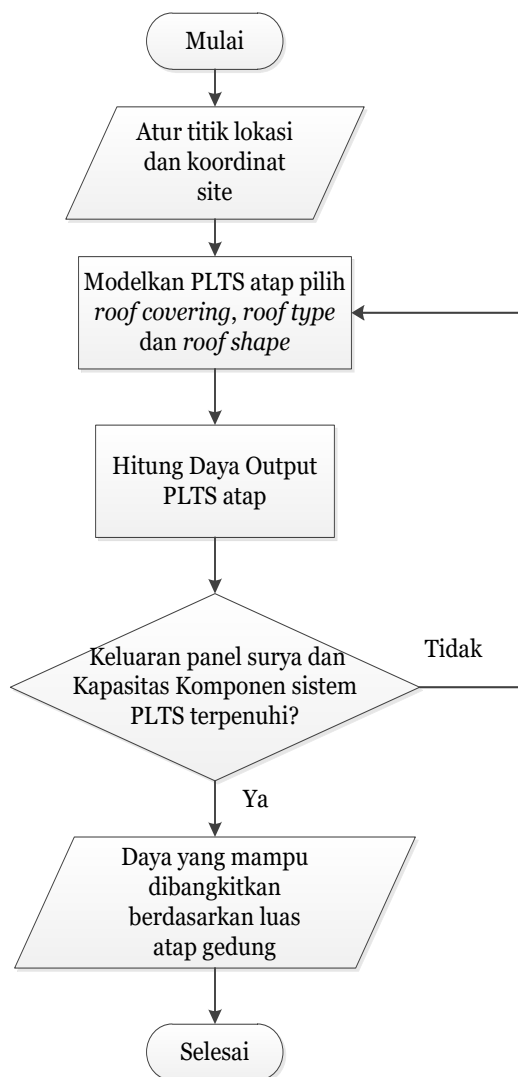
C. Sudut Kemiringan dan Bayangan

Karakteristik panel surya tidak terlepas dari rugi – rugi lain. Penentuan sudut yang optimal dapat dilihat dari besar *irradiation* yang diterima. Dalam makalah ini sudut panel surya didesain dengan sudut 15° mengikuti jenis atap pada gedung. Sudut dan kecepatan angin akan berpengaruh pada sistem pemasangan PLTS atap. Bayangan (*shading*) akan sangat bergantung juga pada penempatan PLTS. *Shading* dapat berupa pengaruh dari dekat (*near shading*) atau pengaruh dari jauh (*far shading*). Orientasi bidang harus sesuai dengan yang ditentukan di bagian "Orientasi". Area tersebut harus cukup untuk memposisikan PLTS. Bayangan dapat berpengaruh terhadap maksimum operasi daya yang dihasilkan. Dalam simulasi, pengaruh *shading* dan *Un-shading* (yang tidak terbayangi) penurunan *output* 20%. Ratio bayangan dapat ditentukan mulai dari 80% - 20% sehingga rugi – rugi *shading* dan *Un-shading* diketahui dan ditunjukkan dalam Gambar 2.

D. Mounting System PLTS



Gambar 2. Perbandingan Daya (Pmax) Kondisi *Shading* dan Tanpa *Shading*



Gambar 3. Diagram Alir Sistem PLTS Atap

Sistem pemasangan (*mounting*) pada PLTS atap yang digunakan adalah perangkat lunak yang *open source* yaitu *K2 Based System*. Ini berarti secara umum mudah diakses dan *user friendly*. Tahap pertama diawali dengan menentukan jenis atap, jenis ini terdiri dari *gable roof*, *flat roof*, dan *monopitch roof*, kemudian tentukan *roof covering*, ketinggian gedung serta sudut atap. Kecepatan angin (m/s) yang didapat dari data meteo kita masukkan sebagai parameter beban mekanis pada desain PLTS atap.

Gambar 3 menunjukkan tahapan desain saat melakukan pemodelan sistem PLTS atap. Pemilihan jenis atap, jarak antar panel, kemiringan atap dan jenis rel dudukan sistem pemasangan sangat diperlukan karena akan menentukan berapa besar berat yang dihasilkan dalam sistem PLTS atap tersebut. Sehingga estimasi beban yang harus ditahan oleh bangunan. Perangkat lunak *K2 Based System* memberikan informasi beban yang harus ditanggung oleh salju atau tidak. Namun karena di Indonesia tidak ada salju maka kita asumsikan 0 atau tanpa salju. Untuk paramter lain dalam sistem pemasangan PLTS atap ditunjukkan dalam Tabel 3 sebagai berikut,

TABEL 3. ROOF AREA (ATAP)

Array	Load Impact (m ²)	Wind Pressure (kN/ m ²)
Area Medan	10,00	0,004
Eaves (Atap)	10,00	0,004
Corner Region	10,00	0,004

<i>Gable Board</i>	10,00	0,004
<i>Ridge</i>	10,00	0,004

Elemen pengikat digunakan untuk mengencangkan sistem rack panel surya. Pengencang *stainless steel* dipilih untuk digunakan di lingkungan lembab dimana korosi lebih mungkin sering terjadi.

Walaupun struktur *mounting* terbuat dari material baja atau *aluminum alloy* jika spesifikasi *stress* melampauinya kegagalan atau kerusakan dapat terjadi. *Stress* ini didefinisikan sebagai Gaya per satuan luas. Tegangan normal akan sama ketika Gaya (*P*) normal dan terdistribusi secara merata di atas area penampang (*A*). Hal ini dapat dihitung menggunakan persamaan sederhana berikut,

$$S = \frac{P(\text{force})}{A(\text{area})} \quad (3)$$

Berikut ini Tabel elastisitas dan kekakuan material untuk struktur *mounting* PLTS atap oleh Roger Messenger dalam Tabel 4 berikut,

TABEL 3. ELASTISITAS DAN KEKAKUAN BAHAN[16]

Jenis Bahan	E, psi	G, psi
<i>Stainless steel, 18-8</i>	27,6 x 10 ⁶	10.6 x 10 ⁶
All steel	(28,6-30,0) x 10 ⁶	(11,0-11,9) x 10 ⁶
<i>Cast Iron</i>	(13,5-21,0) x 10 ⁶	(5,2-8,2) x 10 ⁶
Aluminum alloy	(9,9-10,3) x 10 ⁶	(3,7-3,9) x 10 ⁶
Titanium (99,0 Ti)	(15-16) x 10 ⁶	6,5 x 10 ⁶

E. Kapasitas Komponen Sistem PLTS

Komponen sistem PLTS dihitung untuk memenuhi kebutuhan energi berdasarkan jumlah panel surya dan luas atap sehingga kelebihan energi mampu untuk dikirim ke jaringan utilitas (PLN).

1) Kapasitas Panel Surya

Perhatikan luas panel surya pada Tabel 2 kita ketahui bahwa panel 225Wp yang digunakan memiliki luas 1,63m² maka daya yang digunakan bisa kita kalikan dengan luas yang ada dan dimasukkan dalam parameter pemodelan PLTS

atap. Sehingga energi PLTS dapat kita hitung menggunakan persamaan berikut[17][18].

$$E_{PV} = P_{mod} \times H_{tilt} \times N \quad (4)$$

$$N = \frac{E_d \times f_o}{P_{mod} \times G \times \eta_{PVSS}} \quad (5)$$

Perhitungan kapasitas berdasarkan persamaan (4) dan (5) merujuk kepada standar AS/NZS 45091:2009 menunjukkan jumlah modul/panel surya (*N*) yang diperlukan. Koefisien *oversupply* untuk PV *array* yang digunakan adalah 1,3 hingga 2,0. Nilai η_{PVSS} merupakan perkalian antara beberapa koefisien beban baterai, inverter, energi inverter. Dalam makalah ini koefisien tersebut kita asumsikan sebagai nilai yang ideal yaitu 0.8. Sedangkan nilai P_{mod} diasumsikan sesuai dengan daya maksimum panel surya pada Tabel 1.

2) Energi Baterai

Kebutuhan energi baterai dalam sistem diperhitungkan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) dimana kebutuhan energi baterai dihitung berdasarkan hari otonom di 3, 4 dan 5 hari.

$$Kebut_{E,Batt} = E_{harian} \times Ot_{oDay} \quad (6)$$

$$Cap_{Batt.} = \frac{Kebut_{E,Batt}}{Teg_{E,Batt}} \quad (7)$$

$$Jml_{Batt.} = \frac{Cap_{Batt.}}{Ampere_{H_Batt}} \quad (8)$$

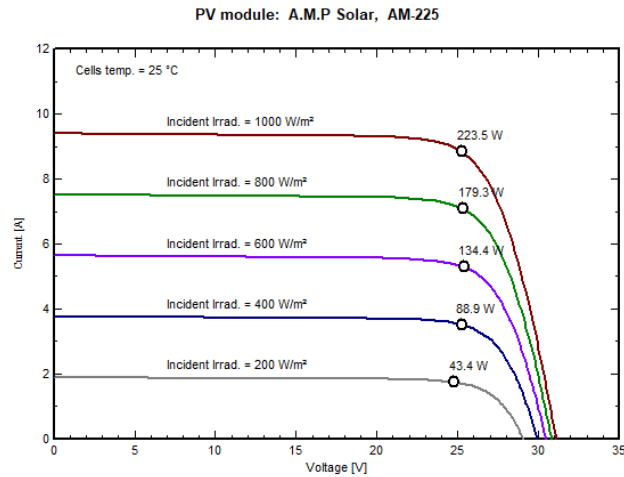
Hari otonom perlu diperhatikan untuk mengetahui jumlah atau lamanya sistem dapat bekerja dan beroperasi dengan baik dalam kondisi yang buruk atau kondisi saat tidak adanya matahari dalam 1 minggu.

3) Jumlah Inverter

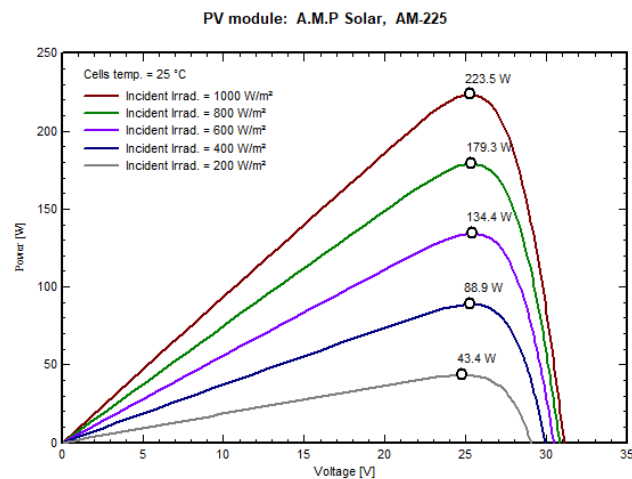
Kapasitas *inverter* dapat dihitung dan ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini contohnya di Gedung Disnakertrans Kab. Bandung Barat dengan menggunakan persamaan berikut,

$$N_{inv} = \frac{P_{outPV}}{\eta_{inv} \times Cap_{inv}(kW)} \quad (9)$$

Jumlah inverter dapat kita asumsikan menjadi jumlah maksimum dan minimum. Nilai ini dipilih berdasarkan efisiensi desain pabrikan/manufaktur yang tertera pada *nameplate* inverter.



Gambar 4. Kurva Arus terhadap Tegangan



Gambar 5. Kurva Daya terhadap Tegangan

III. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi pada perangkat lunak yang telah dilakukan maka beberapa pembahasan diambil sesuai dengan metode yang tersusun dalam makalah ini. Pembahasan tersebut antara lain dijelaskan dalam sub-bab sebagai berikut.

A. Data Meteo

Potensi pembangkitan rata – rata energi yang dapat dimanfaatkan dalam sistem PLTS atap Gedung Disnakertrans memiliki GHI sebesar 1626,1 kWh/m² dengan beam 766,05 kWh/m².

B. Karakteristik Panel Surya

Efisiensi panel surya dalam tabel 1 dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) menghasilkan faktor pengisian (ff) sebesar 0,76 Dengan efisiensi panel surya 225Wp sebesar 13,6%. Panel surya memiliki efisiensi relatif yang

berhubungan dengan efisiensi STC. Nilai yang dapat diterima tidak melebihi + 0,5% hingga + 1% untuk masing – masing tingkatan *irradiance* (W/m^2) yang berbeda khususnya dengan panel surya jenis kristal.

Dalam karakteristik ini secara langsung nilai I_{mp} , V_{mp} , I_{sc} , V_{oc} diukur pada iradiasi yang berbeda kemudian menghasilkan efisiensi yang relatif sama. Simulasi untuk 5 tingkat radiasi berbeda (1000, 800, 600, 400, 200 W/m^2), maka ditunjukkan dalam kurva arus terhadap tegangan (I-V) dan kurva tegangan terhadap daya (P-V) berturut – turut ditunjukkan dalam Gambar 4 dan Gambar 5.

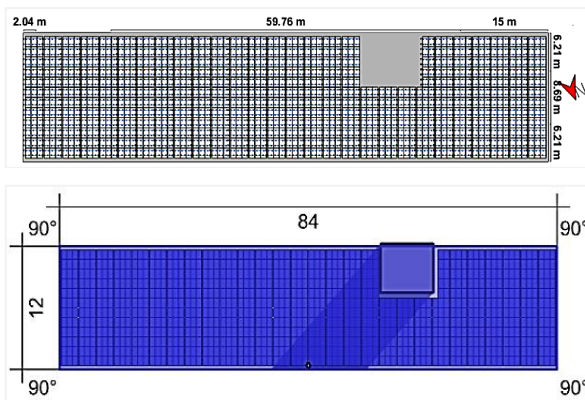
C. Sudut Kemiringan Panel Surya

Optimasi sistem melalui desain atap 15° menghasilkan beberapa parameter baru diantaranya besar faktor transposisi, rugi-rugi kemiringan, dan jumlah irradiance yang mampu diterima oleh penampang panel. Semua

parameter ini dibagi menjadi 3 skema. Yang pertama skema berdasarkan musim panas dan musim dingin serta jumlah keseluruhan total dalam 1 Tahun. Mengetahui faktor transposisi bertujuan untuk menunjukkan orientasi yang paling sesuai untuk sistem PV, atau apa yang hilang jika tidak berorientasi secara optimal. Faktor Transposisi (TF) adalah rasio iradiasi datang pada panel surya, terhadap iradiasi horizontal yaitu, apa yang Anda dapatkan (atau hilang) saat memiringkan bidang kolektor. Oleh karena itu TF memberikan estimasi dan kemungkinan untuk memilih periode optimasi berdasarkan 1 Tahun, musim dingin, musim panas, atau bulan yang dipilih. Lihat Tabel 4.

TABEL 4. PARAMETER YANG DITERIMA PADA SUDUT 15° DAN AZIMUTH 0°

Parameter	Summer	Winter	Yearly Yield
Trans. Factor	0,94	1,06	1.00
Loss by Respect to Optimum (%)	-6,1	-1,2	0,0
Glob. On the plane (kWh/m ²)	867	761	1629



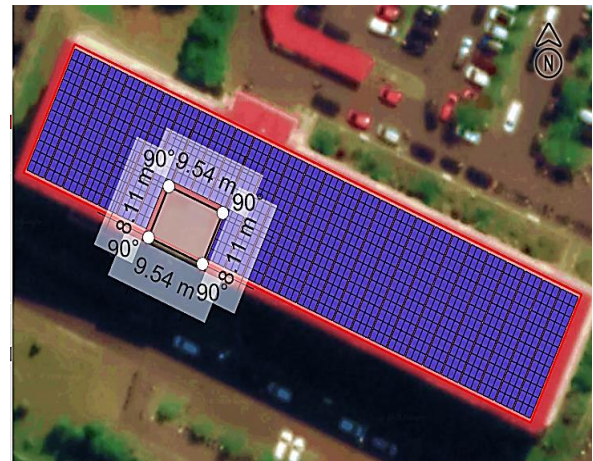
Gambar 6. Luas *Mounting* pada Atap Gedung Disnakertrans

Tabel 4 menunjukkan hasil simulasi pada perangkat lunak PVsyst. Optimasi bergantung pada kondisi bayangan jauh (*far shading*) tertentu misalnya pegunungan. Sudut kemiringan didesain tetap 15° dengan azimuth 0°.

D. Sistem Mounting Panel Surya

Secara umum rangka atau *bracket* panel surya ini berjenis aluminum alloy dan material *stainless steel* yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Selain untuk jenis rak atap, rak ini dapat dipergunakan

sebagai rak panel surya pada *Open land systems* atau di sebut juga *Ground mounted systems*. Berdasarkan hasil simulasi luas atap yang digunakan adalah memiliki luas yang disesuaikan dengan Gedung yaitu 1894,8 m² dengan obstruction atau halangan atap 77,4 m² sehingga luas total yang dapat dimanfaatkan adalah 1817,4 m². Lihat Gambar 6 dan Gambar 7 hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak K2 Base System. Jumlah panel yang mampu dimanfaatkan dengan luas area sebanyak 958 buah panel surya.



Gambar 7. Panel surya pada Atap Gedung Disnakertrans

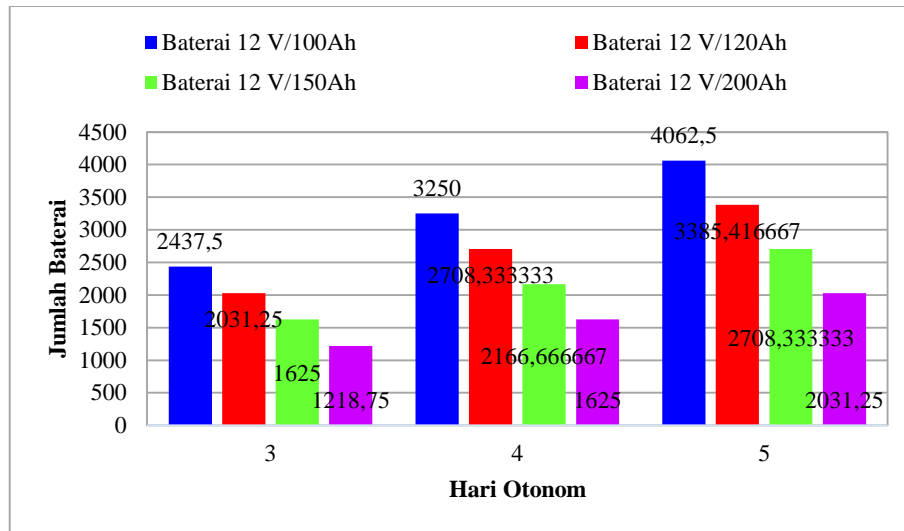
E. Kapasitas Sistem PLTS

1) Panel Surya

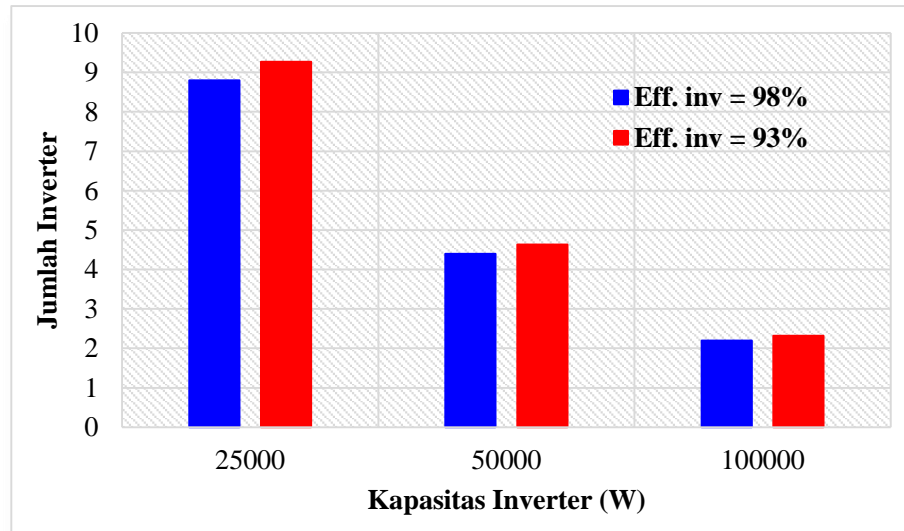
Berdasarkan luas panel surya berdasarkan Tabel 1 maka luas panel tanpa jarak *inter-row shading* adalah 1,63 m² dikalikan dengan jumlah panel surya yaitu 958 maka luas efektif panel adalah 1561,54m² dengan energi panel surya sepanjang tahun dalam keadaan PSH menggunakan persamaan (4) adalah 351MWh. Analisis terhadap jarak antar panel surya adalah dengan mengurangi luas atap dengan luas yang mampu dimanfaatkan panel surya. Maka 1817,4 m² - 1561,54m² jarak antar panel untuk 958 adalah 255,9 m². Untuk besar daya yang dapat dibangkitkan berdasarkan jumlah panel surya dengan spesifikasi di Tabel 2 yaitu 225 Wp dikalikan dengan jumlah panel 958 buah adalah 215,550 kWp.

2) Kapasitas Baterai System

Asumsi energi yang dibutuhkan adalah menggunakan hasil perhitungan kapasitas panel surya dengan energi selama satu tahun, sehingga untuk energi harian kita bagi per 30 hari (1 bulan) menjadi 975 kWh/hari.



Gambar 8. Jumlah Baterai Berdasarkan Hari Otonom Dengan Spesifikasi Berbeda



Gambar 9. Jumlah Inverter Berdasarkan Besar Efisiensi

TABEL 5. HASIL PERHITUNGAN KEBUTUHAN ENERGI DAN KAPASITAS BATERAI 12/100AH

No	Hari Otonom	Kebutuhan Energi Baterai (Wh)	Kapasitas Baterai (Ah)
1	3	2925000	243750
2	4	3900000	325000
3	5	4875000	406250

Sehingga untuk beberapa waktu otonom kita tentukan kebutuhan energi baterai ditunjukkan oleh Tabel 5. Gambar 8 menunjukkan kebutuhan jumlah baterai berdasarkan kemungkinan jika terjadi hari otonom ekstrim misal terjadi di rentang 3 – 5 hari dalam 1 minggu tidak ada matahari. Kemudian dalam grafik menunjukkan kebutuhan jumlah baterai dengan berbagai spesifikasi baterai yang ada di pasaran yaitu 12 dengan 100Ah hingga 200Ah.

3) Jumlah Kebutuhan Inverter

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah inverter (lihat Gambar 9) terdapat 2 bagian, yang pertama adalah berdasarkan besar efisiensi maksimum di 98% dan minimum di 93%. Kedua pilihan lain berdasarkan kapasitas (kW) inverter. Berdasarkan jumlahnya maka inverter dipilih menjadi 3 kapasitas yaitu 25 kW, 50 kW dan 100

kW. Dapat kita bulatkan jumlah 9 buah inverter untuk 25kW, 5 buah inverter untuk 50 kW, dan 2 buah inverter untuk kapasitas 100kW.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain, simulasi, perhitungan hingga pengujian yang telah dilakukan. sistem PLTS atap di Gedung Disnakertrans adalah sebagai berikut:

1. Jumlah iradiasi berdasarkan titik lokasi *open area* pada atap Gedung menghasilkan GHI sebesar 1626,1 kWh/m² dengan sinar langsung 766,05 kWh/m².
 2. Jumlah panel yang mampu dimanfaatkan dengan luas area 1817,4 m² sebanyak 958 buah panel surya dengan kapasitas 225Wp per panel surya dengan efisiensi panel 13,6%. Daya yang dibangkitkan oleh PLTS atap adalah sebesar 215550 Wp
 3. Jumlah kapasitas baterai 12V/100Ah yang terbagi berdasarkan nilai otonom 3 hari adalah 2925000Wh, otonom 4 hari sebesar 3900000 dan otonom 5 hari sebesar 4875000.
 4. Jumlah untuk pilihan spesifik baterai berbeda sesuai dengan perhitungan yang dilakukan untuk 12V/100Ah, 12V/120Ah, 12V/150Ah dan 12V/200Ah dan hari otonom yang bervariasi
 5. Jumlah inverter dengan berbagai pilihan yang tersedia adalah 9 buah inverter untuk 25 kW, 5 buah inverter 50 kW dan 2 buah untuk 100 kW.
- [6] A. Purwadi, A. Rizqiawan, R. Fachrizal, and N. Heryana, "Modeling of 1 . 6 kWp Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System," in *The 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 2015, pp. 552–557.
 - [7] H. R. Iskandar, E. Darmawan, Y. B. Zainal, G. A. Setia, N. Winanti, and F. Haz, "Design of Solar Power Plant for Electrical Engineering Department Laboratory," in *2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 145–150.
 - [8] A. L. Vargas, F. Manuel, and M. Vivar, "IoT application for real-time monitoring of Solar Home Systems based on ArduinoTM with 3G connectivity," vol. 1915, pp. 1–39, 2014.
 - [9] H. R. Iskandar, S. Sambasri, D. I. Saputra, N. Heryana, A. Purwadi, and Marsudiono, "IoT Application for On-line Monitoring of 1 kWp Photovoltaic System Based on NodeMCU ESP8266 and Android Application," in *2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2019, pp. 230–234.
 - [10] M. Usama, M. N. Qaiser, and H. A. Khan, "Solar Irradiance, Wind and Temperature Monitoring for Residential PV Applications," 2015.
 - [11] H. R. Iskandar, Y. B. Zainal, and A. Purwadi, "Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System," in *Seminar Nasional Penerapan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4)*, 2017, pp. 174–183.
 - [12] Perpres, "Lampiran 1 Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional." Jakarta, pp. 1–115, 2017.
 - [13] Permen, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero)." Jakarta, pp. 1–18, 2018.
 - [14] Permen, "Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik untuk Kepentingan Sendiri yang Dilaksanakan Berdasarkan Izin Operasi," *Berita Negara Republik Indonesia*, vol. 1019, pp. 1–10, 2019.
 - [15] S. White, *Solar Photovoltaic Basics : A Study Guide for the NABCEP Entry Level Exam*. 2015.
 - [16] R. A. Messenger and J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, 2nd ed. Florida: CRC Press LLC, 2005.
 - [17] New Zealand Electricity (Safety) Regulations, "Australian/New Zealand Standard (Stand-alone Power System)," in *New Zealand Edict*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] EPIA, "Global market outlook for photovoltaics 2014-2018," 2014.
- [2] M. Rumbayan, A. Abudureyimu, and K. Nagasaka, "Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 1437–1449, 2012.
- [3] M.-Q. Dang, "Solar Energy Potential in Indonesia," in *19Th International Conference of Young Scientist*, 2017, no. September 2017, p. 199.
- [4] N. Heryana, B. Widodo, Qamaruzzaman, R. Purba, A. Soebagio, A. Purwadi, and H. R. Iskandar, "Analisis Ketahanan Energi dalam Elektrifikasi Fasilitas Umum di Pulau Sabira-Kepulauan Seribu dengan Hybrid Power Source - PV Grid Connected," in *Seminar Nasional 2018, Renewable Energy & Smart Energy Systems*, 2018, pp. 130–136.
- [5] A. Purwadi, Y. Haroen, F. Y. Ali, N. Heryana, D. Nurafiat, and A. Assegaf, "Prototype Development of a Low Cost Data Logger for PV Based LED Street Lighting System," in *International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 2011, no. July, pp. 11–15.

- of Government*, vol. 2, AS/NZS, 2010, pp. 1–112.
- [18] H. R. Iskandar, E. Taryana, and S. Syaidina, “Perancangan Kebutuhan Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Hanggar Delivery Center PT. Dirgantara Indonesia,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SEMNASSTEK)*, 2018, pp. 1–12.