RANCANG BANGUN KOMPONEN UTAMA PLTS OFF-GRID UNTUK MENUNJANG OPERASI INCINERATOR SIPESAT®

Noor Hidayati^{1✉}, Arifia Ekayuliana²

¹Program Studi Terapan Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

✉ e-mail : ¹noor.hidayati@mesin.pnj.ac.id, ²arifia.ekayuliana@mesin.pnj.ac.id

Abstract

To increase reliability of SIPESAT® Incinerator, off-grid solar powerplant was installed. The aim of this paper is to designing the requirement of the main equipment for the solar powerplant. 270 w, 3 autonomies days were used as the main parameter. GHI gathered from NASA's data, VRLA battery type with MPPT inverter type was chosen to design the solar powerplant system. based on calculation results, the solar powerplant system need two solar panels 150watt each, and two VRLA battery 24V 200 Ah each,

Keywords : solar powerplant, SIPESAT®, Incinerator, Off-grid

Abstrak

Untuk meningkatkan kehandalan mesin incinerator milik SIPESAT® dilakukan pemasangan PLTS dengan system Off-Grid. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesign kebutuhan alat utama pada PLTS. Adapun Parameter yang ditentukan adalah kebutuhan daya incinerator sebesar 270 Watt dengan hari otonomi selama 3 hari. Untuk data GHI menggunakan data NASA. Tipe baterai terpilih adalah tipe VRLA, dan jenis MPPT inverter digunakan untuk system PLTS ini. setelah dilakukan perhitungan dibutuhkan 2 buah panel surya berdaya 150w dengan 2 baterai VRLA berkapasitas 24V 200 Ah untuk memenuhi kebutuhan daya incinerator milik SIPESAT®.

Kata kunci : PLTS, SIPESAT®, Incinerator, Off-grid

Pendahuluan

Latar Belakang

SIPESAT® merupakan Perusahaan yang bergerak di bidang Pengelolaan sampah. Saat ini SIPESAT® memiliki modular incinerator untuk membakar sampah secara pyrolysis. Dalam modular tersebut terdapat fan dan blower. Hingga saat ini Fan dan blower pada modular incinerator milik SIPESAT® masih menggunakan listrik dari PLN.

Untuk meningkatkan kehandalan mesin incinerator maka direncanakan untuk membuat listrik mandiri menggunakan tenaga surya. Listrik yang dihasilkan dari panel surya akan dimanfaatkan untuk menggerakkan fan dan blower yang terdapat dalam mesin incinerator tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang komponen utama system

kelistrikan menggunakan system PLTS secara offgrid pada mesin incinerator milik SIPESAT® agar dapat beroperasi mandiri tanpa memerlukan listrik dari PLN. Komponen utama yang akan ditentukan adalah jenis, jumlah, serta susunan panel surya, baterai, dan inverter PLTS.

Dasar Teori

Kebutuhan daya bangkitan diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$P_{\text{hari}} = t \times P_{\text{alat}}$$

P_{hari} = kebutuhan daya per hari (watt)

P_{alat} = kebutuhan daya pada alat (watt)

t = Waktu (jam)

Luasan area pada PLTS dapat ditentukan berdasarkan intensitas radiasi pada lokasi yang ditentukan, serta suhu maksimum pada lokasi pemasangan. Adapun persamaan untuk menentukan luas minimum area

pemasangan PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [1]:

$$PV \text{ area} = \frac{P_{\text{hari}}}{G_{\text{min}} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{\text{out}}}$$

P_{hari} = kebutuhan daya per hari (watt)

PV_{area} = Luas untuk Panel PV (m^2)

G_{min} = GHI minimum

TCF = Thermal correction Factor

η_{PV} = efisiensi solar panel

η_{out} = efisiensi system

Global Horizontal Irradiance (GHI) atau radiasi matahari yang diukur pada permukaan horizontal, umumnya diukur menggunakan Solarimeter, Pyranometer, atau radiometer. Bilamana, pyranometer tidak tersedia maka radiasi matahari dapat dihitung berdasarkan sinar matahari tercerah [2]. Terdapat dua sumber terpercaya dalam menyediakan data radiasi matahari global yaitu Website NASA [3] dan TUTIEMPO [4]. Pada data NASA data radiasi matahari diambil berdasarkan obeservasi menggunakan satelit, sedangkan data TUTIEMPO menggunakan data pengukuran darat. NASA menggunakan data rata-rata bulanan, sedangkan pada TUTIEMPO berbasiskan data perhari. Pada penelitian saat ini data menggunakan data NASA karena kelengkapan data dari tahun sebelumnya [2].

Temperature Correction Factor (TCF) Merupakan factor koreksi yang diperhitungkan untuk mengetahui performa panel surya. Perlu diketahui bahwa tiap kenaikan 1°C dari suhu oprasi panel surya. Maka panel surya tersebut akan mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,5% [1]. Oleh karenanya, TCF perlu untuk dihitung, berdasarkan persamaan berikut [1]:

$$P_{\Delta T} = 0,5\% \times P_{Mpp} \times \Delta T$$

$$P_{Top} = P_{Mpp} - P_{\Delta T}$$

$$TCF = \frac{P_{\Delta T}}{P_{Mpp}}$$

$P_{\Delta T}$
= Daya maksimum dihasilkan pada saat temperature mengalami kenaikan ΔT (watt)

P_{Mpp}
= Daya pada kondisi maksimum power point (watt)

ΔT

= Perbedaan temperature pada kondisi standar panel dengan kondisi operasi ($^\circ\text{C}$)

P_{Top}

= Daya maksimum yang dihasilkan pada temperature operasi (watt)

Panel Surya, Secara garis besar terdapat berbagai macam teknologi panel surya. Baik panel surya yang terbuat dari kristalin maupun dari Thin film. Perusahaan independent NREL telah memplotkan perkembangan efisiensi panel surya sesuai pada Gambar 2 [5]

Berdasarkan Gambar 2, teknologi solar panel dibagi menjadi 4 teknologi besar yaitu sel surya berbasis multi junction, sel surya berbasis crystalline silica, sel surya berbasis teknologi thin film, dan sel surya berbasis teknologi PV terbaru (emerging PV). Hingga sekitaran tahun 2016 teknologi berbasis multi junction memiliki efisiensi tertinggi yaitu 46%, untuk teknologi berbasis Kristal silika, konsentrator Kristal tunggal perusahaan Amonix memiliki efisiensi tertinggi sebesar 27,6%. Sedangkan monocrystalline non-concentrator tertinggi dimiliki oleh Sun-Power sebesar 25%, dan polycrystalline silica oleh panasonik sebesar 25,6%. Dari Teknologi thin film, CIGS konsentrator memiliki efisiensi sebesar 23,3%. Dan dari teknologi terbaru emerging PV, CZTSSe memiliki efisiensi tertinggi di kelasnya dengan efisiensi 12,6%.

Dari data pada **Gambar 3**, diketahui teknologi yang sudah dipakai secara luas dan komersial di dunia adalah teknologi kristal silika, baik berupa poly-cristaline/multi-cristaline dan mono-cristaline. Aplikasi panel surya teknologi kristalin sudah banyak digunakan di berbagai belahan bumi, sementara untuk teknologi thin-film masih dalam skala laboratorium maupun skala percontohan. Sampai sekarang, teknologi muti-junction masih menjadi teknologi sel surya yang terbaik dan banyak dipakai untuk program angkasa luar karena tahan terhadap radiasi dan panas, namun material dan teknologi fabrikasi untuk produksi massal masih terkendala. Panel surya yang digunakan harus mempunyai spesifikasi

tertentu sesuai dengan sistem PLTS yang direncanakan. Parameter teknis panel mencakup hal-hal sebagai berikut:

- Jenis modul adalah Mono/Polycrystalline Silicon.
- Output Modul Surya (Peak Power Output) per unit (ex: 150 Wp), karakteristik hasil tegangan tes Produsen harus terbaca pada modul (Manufacture, Serial Number, Peak Watt Rating, Peak Current, Peak Voltage, Open Circuit Voltage dan Short Circuit Current).
- Efisiensi modul surya minimum 16%.
- Koneksi antar modul surya menggunakan koneksi plug-insocket.
- Keluaran array modul surya langsung ke String Inverter bergantung pada spesifikasi jumlah input String Inverter

Inverter, berfungsi mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Listrik yang dibangkitkan oleh modul (panel) surya merupakan listrik arus searah (DC – direct current), sedangkan yang digunakan untuk kebutuhan manusia sehari-hari adalah listrik arus bolak balik (AC – alternating current). Agar sistem PLTS dapat bekerja paralel dengan jaringan sistem kelistrikan yang ada, diperlukan perangkat inverter.

Saat ini inverter telah dilengkapi dengan SCC/BCC yaitu solar charge controller/baterai charge controller. Fungsi alat ini untuk melindungi baterai dari over charge dari panel surya atau over discharger [7]. Inverter yang digunakan harus mempunyai spesifikasi tertentu sesuai dengan sistem PLTS yang direncanakan. Parameter teknis inverter mencakup hal-hal sebagai berikut:

- Harus mampu memproduksi gelombang sinus murni
- Mempunyai efisiensi $\geq 95\%$
- Total Harmonic Distortion (THD) $\leq 5\%$
- Mempunyai sistem proteksi terhadap over current, over load, short circuits, over suhu, over/under voltage, reverse polarity
- Indicator (LCD display): power output, inverter voltage & current, inverter frequency

Baterai merupakan alat penyimpan energy listrik. Baterai dibutuhkan terutama pada rangkaian off-grid. Dalam perancangan kebutuhan baterai terdapat beberapa factor yang harus diperhatikan seperti Dod (depth of discharge), jumlah siklus, efisiensi baterai, discharge rate dan suhu. depth of discharge merupakan presentasi keluaran energy dari baterai, semakin tinggi nilai Dod semakin pendek umur baterai [7]. Umur baterai juga dilihat dari jumlah siklus. Satu siklus baterai dihitung dari satu kali keluaran dan satu kali pengisian. Semakin banyak jumlah siklus perhari maka umur baterai akan semakin pendek. Sebagai contoh bila dalam satu hari dilakukan satu siklus baterai sedangkan baterai tersebut memiliki 2000 cycle, maka umur baterai adalah 2000 dibagi 365 hari yaitu sekitar 5 tahun, namun apabila dalam sehari dilakukan 3kali siklus maka umur baterai menjadi 2000 dibagi dengan 3/365 hari yaitu 1,8 tahun. Karena baterai juga memiliki internal resisten maka terdapat rugi-rugi didalam baterai. Umumnya dalam 1 siklus efisiensi baterai sekitar 75%.. efisiensi round trip merupakan efisiensi dalam 1 siklus. Untuk suhu, baterai dapat bekerja maksimal pada suhu tinggi, namun hal tersebut dapat mempersingkat umur baterai, suhu ideal baterai adalah 20-25oC [7]. Discharge Rate pada baterai disimbolkan dengan Cxx, Cxx mengartikan arus yang dapat dikeluarkan dalam xx jam. Sebagai contoh pada baterai 1000 ah dengan C20 mengartikan bahwa baterai tersebut dapat mengeluarkan arus 1000 Ah dalam 20 jam. Atau perjamnya $1000\text{Ah}/20\text{jam} = 50\text{ A}$. apabila dalam pemakaian perjamnya baterai harus bekerja diatas kapasitasnya misal 100 A .hal tersebut akan mempersingkat waktu pakai baterai, dapat dilihat secara perhitungan berikut $1000\text{Ah}/100\text{A} = 10\text{ hours}$. Jadi dapat dilihat bila arus yang dikeluarkan perjamnya sebesar 100 A maka waktu pakai baterai akan berkurang setengahnya yaitu hanya 10 jam. Untuk baterai pada system off-grid harus mempertimbangkan factor sebagai berikut [7] :

- Memiliki system ventilasi/ katup pengatur VRLA (Valve Regulated Lead Acid)
- Baterai berjenis deep cycle
- Kapasitas baterai minimal 1800 Ah pada C20 discharge
- Jumlah Cycle baterai minimal adalah 2000 Cycle pada Dod 80%,C20
- Kapasitas baterai yang didesain dapat bertahan untuk 3 hari otonomi
- Dod maksimal 80%
- Dod harian pada off-grid sebesar 50%
- Mampu berkerja pada suhu 45oC

Metode Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai tahapan penelitian yang digambarkan pada Gambar 3. Tahap pertama dilakukan study literature terkait rancang bangun PLTS khususnya pada off-grid. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data kebutuhan listrik dan lokasi pemasangan didapatkan melalui survey alat langsung dan interview. Setelah mengumpulkan data, tahap perancangan selanjutnya adalah menentukan parameter. Tahapa ini diperlukan sebagai batasan dalam mendesign. Adapun parameter yang di tentukan sepeerti jenis baterai, jenis

panel surya,serta jenis inverter yang digunakan.

Gambar 1. Flowchart tahap penelitian

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil interview dan survey lokasi, daya yang dibutuhkan untuk menghidupkan blower dan fan masing-masing sebesar 180watt dan 90watt. Estimasi Waktu pemakaian per hari saat ini 2 jam. Ditambah dengan 1 jam untuk factor keamanan,sehingga total waktu adalah 3 jam, dan untuk daya yang dibutuhkan sebesar 270 watt, didapatkan dari penjumlahan daya 180 dan 90 watt yang berasal dari blower dan fan.Sehingga kebutuhan daya selama satu hari adalah pengkalian 3 jam dengan 270w

$$P_{hari} = t \times P_{alat}$$

$$P_{hari} = 810 \text{ Wh.}$$

Intensitas Matahari dan Suhu Maksimum. Berdasarkan koordinat lokasi. Data GHI atau intensitas radiasi matahari dan suhu maksimum matahari dapat diketahui dengan memasukkan data latitude dan longitude lokasi ke dalam web NASA [3]. Data intensitas radiasi dan suhu maksimum yang diambil dari data NASA dari tahun 1990-2019 dapat dilihat pada Tabel 1.

Data Insolasi Matahari ($\text{kWh/m}^2/\text{Hari}$) diambil pada kondisi all-sky yaitu data radiasi matahari yang jatuh secara horizontal pada permukaan bumi, diambil pada kondisi berawan selama dua puluh sembilan tahun 1990-2019.

Dari data Tabel 1, diambil nilai tahunan minimum sebesar $4.48 \text{ kWh/m}^2/\text{Hari}$. Tujuan dari pengambilan nilai minimum ini adalah agar PLTS dapat tetap berkerja secara optimal pada saat radiasi berada dititik minimumnya. sedangkan untuk suhu, diambil data tertinggi untuk mendapatkan factor koreksi suhu [1]. Dari data NASA yang dapat dilihat pada **Tabel 2**, didapatkan suhu tertinggi selama dua puluh Sembilan tahun adalah $32,92^\circ\text{C}$.

Penentuan Parameter

Dalam mendesain PLTS terutama secara off-grid ada beberapa parameter yang harus ditetapkan seperti Durasi Pengoperasian, Hari Tanpa Matahari, Dod (deep of discharge) dan Peak Sun Hour. Durasi Pengoperasian merupakan lamanya waktu fan dan blower digunakan selama sehari. Berdasarkan hasil interview diketahui bahwa alat berkerja selama 2 jam ditiap harinya, namun karena mempertimbangkan faktor kenyamanan dan keamanan maka ditentukan waktu pengoperasian alat diestimasi selama 3 jam tiap harinya.

Untuk mendesign kebutuhan baterai maka terlebih dahulu ditentukan kemungkinan hari tanpa matahari/otonimi. Dalam rancangan ini ditentukan 3 hari tanpa matahari. Hal ini bertujuan agar alat fan dan blower dapat tetap menyala meskipun tidak terdapat

matahari atau dalam tiga hari mendung maupun hujan.

Selain hari tanpa matahari, salah satu factor yang ditentukan adalah Dod (deep of discharge). Dod merupakan parameter yang menunjukkan besarnya keluaran energy dari baterai yang ditunjukan dalam bentuk presentase dari nominal kapasitas baterai. Semakin besar angka Dod maka semakin besar energy yang dikeluarkan dari baterai tersebut. Hal ini akan berpengaruh pada keawetan umur baterai. Semakin tinggi Dod maka umur baterai semakin pendek. Oleh karena itu umunya dalam PLTS, Dod didesain sebesar 25% - 30%. Apabila Dod ditentukan sebesar 25%-35% umur baterai dapat diperkirakan sampai 5 tahun. Baterai dengan DoD 50% akan memiliki umur lebih panjang dua kali. Jika DoD 10%, maka umurnya akan bertambah 5 kali dari DoD 50%. Konsekuensinya adalah tingginya biaya baterai [7]. Untuk mencapai keseimbangan antara keawetan dan keekonomisan harga maka ditentukan Dod dalam system PLTS kali ini sebesar 50%.

Parameter penting lainnya yaitu Peak Sun Hour, merupakan Waktu optimal pengisian daya oleh matahari kepada system PLTS. di Indonesia waktu optimal pengisian matahari dalam sehari hanya selama 4 jam [7]. tipe baterai ditentukan dengan baterai yang memiliki tegangan 24V 200 AH jenis VRLA, sedangkan untuk jumlah dan susunan baterai akan diketahui melalui perhitungan disubab selanjutnya. Dalam menentukan kebutuhan baterai sangat erat kaitanya dengan jenis inverter yang dipilih. Dalam hal ini jenis inverter terpilih adalah inverter dengan tipe MPPT efisiensi inverter 95% dengan tegangan output inverter 220 VAC

Selain baterai parameter lain yang ditentukan adalah jenis, efisiensi, dan spesifikasi panel yang akan digunakan. Penentuan panel dilakukan diawal guna mempermudah penentuan jumlah keperluan panel dan komponen lainnya. Dalam rancangan kali ini didesain menggunakan panel surya tipe polycrystalin dengan daya Pmpp 150 Watt,

dan efisiensi 16% , memiliki V_{mp} 17,6 V dengan I_{mp} 8,55 A.

Menghitung Kebutuhan Alat Utama dan Susunannya

Setelah mengetahui kebutuhan daya, energy yang di peroleh dari matahari, dan menentukan parameter, langkah berikutnya adalah menentukan kebutuhan dan susunan alat berdasarkan parameter yang telah ditentukan, dan sumber energy yang ada.

Perhitungan Luas Area .

Panel surya akan mengalami penurunan performa apabila dioperasikan pada suhu tinggi [8].oleh karena itu perlu dilakukan koreksi daya keluaran berdasarkan suhu. Solar panel pada kondisi standar yaitu pada 25°C akan mengalami penurunan performa apabila dipasangkan pada kondisi suhu maksimum 32,92°C. dari data tersebut diketahui selisih suhu standar dengan suhu maksimum sebesar 7,92°C. dengan daya maksimum *power point* (P_{MPP}) Panel diketahui sebesar 150 watt,dan penurunan efisiensi panel sebesar 0,5%. maka daya yang hilang pada suhu maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut [1].

$$P_{\Delta T} = 0,5\% \times P_{Mpp} \times \Delta T$$

$$= 5,94 \text{ W}$$

Dari perhitungan diatas diketahui, bahwa pada suhu maksimum panel akan kehilangan daya sebesar 5,94 watt, sehingga daya yang keluar pada suhu operasi yaitu selisih dari daya maksimum *power point* (P_{MPP}) Panel dengan daya yang hilang pada suhu maksimum, yaitu 144,06 Watt, sesuai perhitungan dibawah ini.

$$P_{Top} = P_{Mpp} - P_{\Delta T}$$

$$= 144,06 \text{ W}$$

Untuk mengetahui berapa persen factor koreksi daya keluaran panel yang disebabkan oleh suhu operasi dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$TCF = \frac{P_{Top}}{P_{Mpp}} \times 100\%$$

$$TCF = 96\%$$

Dari persamaan di atas diketahui, nilai TCF didapatkan dengan membagi daya keluaran pada temperature operasi yaitu 144,06 watt dengan daya maksimum panel yaitu 150,

dikalikan 100% maka didapatkan nilai TCF adalah 96%.

Dengan Nilai TCF sebesar 96%, dengan mengasumsikan efisiensi system PLTS sebesar 95%, serta kebutuhan daya perhari sebesar 0,81 kWh, dan Global horizontal irradiance minimal tahunan yang didapatkan dari data nasa sebesar $4,48 \frac{kWh}{m^2 \text{ day}}$ dan efisiensi panel 16%, maka kebutuhan luas aktif dari PV dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [1] :

PV area

$$= \frac{P_{hari}}{G_{min} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out}}$$

$$PV \text{ Area} = 1,24 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa luasan aktif area minimal sebesar 1,24 m²

Perhitungan Kebutuhan Panel

Nilai TCF digunakan juga untuk menentukan kebutuhan solar panel. Diketahui kebutuhan daya harian adalah sebesar 810 Wh/hari, dan pada penentuan parameter telah ditentukan panel dengan daya bangkitan maksimum (P_{mpp})150 Wp,dengan PSH selama 4 jam maka jumlah solar panel yang dibutuhkan dapat dicari menggunakan perhitungan berikut :

$$P_{max \text{ ideal}} = P_{mpp \text{ Panel}} \times PSH$$

$$P_{max \text{ ideal}} = 600 \text{ wh}$$

600 Wh merupakan daya keluaran pada kondisi ideal yang diukur pada suhu 25°C. oleh karenanya nilai tersebut harus dikoreksi dengan factor suhu (TCF) . sehingga daya bangkitan dengan memperhitungkan factor suhu operasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{Wp \text{ tem}} = P_{max \text{ ideal}} \times TCF$$

$$P_{Wp \text{ tem}} = 600 \text{ wh} \times 96\%$$

$$P_{Wp \text{ tem}} = 576 \text{ wh}$$

Untuk mengetahui berapa banyak panel yang diperlukan untuk membangkitkan 810 Wp per hari dapat dilakukan dengan membagi Kebutuhan daya harian yaitu 810 Wh dengan $P_{Wp \text{ tem}}$ 576 Wh

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{Kebutuhan daya harian}}{P_{Wp_{tem}}}$$

$$\text{Jumlah Panel} = 1,4 \text{ Buah}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai 1,4 buah panel Dibulatkan menjadi 2 panel. Jadi untuk memenuhi kebutuhan daya 810 kWh/hari dibutuhkan dua buah solar panel dimana, tiap satu panel memiliki daya sebesar 150 watt. Sehingga total daya bangkitan menggunakan 2 panel menjadi 300 Wp.

Penyusunan Seri parallel Panel surya

Untuk mengetahui susunan seri atau parallel suatu solar panel harus terlebih dahulu dipahami konsep pada saat panel surya disusun secara seri yaitu kutub positif dipertemukan dengan kutub negative panel lainnya, maka hal tersebut akan menaikkan nilai tegangan dan nilai arus tetap. Sedangkan, saat panel disusun parallel dimana kutub positif bertemu dengan kutub positif panel lainnya, akan menaikkan nilai arus dengan nilai tegangan tetap [7].

Selain itu, untuk mendapatkan jenis susunan panel perlu diketahui tegangan system baterai yang dipilih, dalam hal ini tegangan yang dipilih adalah 24 V dan V panel 17,6 V. maka jumlah panel disusun seri sebanyak:

$$\text{jumlah panel seri} = \frac{V_{\text{baterai}}}{V_{\text{panel}}}$$

$$\text{jumlah panel seri} = 1,36$$

Dibulatkan menjadi 2 buah disusun secara seri. Dan jumlah panel disusun parallel dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{jumlah panel paralel} \\ = \frac{\text{jumlah panel disusun seri}}{\text{jumlah panel yang dibutuhkan}} \end{aligned}$$

Jumlah panel disusun seri sebanyak 2 buah, dan jumlah panel yang dibutuhkan sebanyak 2. Sehingga didapatkan jumlah panel disusun parallel sebanyak 1 buah Dengan tegangan panel perbuah sebesar 17,6 V dan jumlah seri 2 panel maka dapat dicek tegangan string sebesar 35,2 V

$$\begin{aligned} V_{\text{panel seri}} &= V_{\text{panel}} \times \text{jumlah panel seri} \\ V_{\text{panel seri}} &= 35,2 \text{ V} \end{aligned}$$

Diketahui dari perhitungan untuk tegangan string panel sebesar (V_{string}) 35,2V dan arus tetap 8,55 A maka daya yang dibangkitkan dapat dihitung dengan mengkalikan tegangan dan arus string sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= I_{\text{string}} \times V_{\text{string}} \\ P &= 300,96 \text{ W} \end{aligned}$$

Nilai bangkitan sebesar 300,96 watt mendekati 300 watt. Sehingga sesuai dengan daya bangkitan yang diperlukan.

Menentukan Kapasitas Baterai

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan berikut [1]:

$$\begin{aligned} C_{\text{baterai}} &= \frac{\text{Hari tanpa matahari} \times \text{Kebutuhan daya}}{\text{tegangan sistem} \times \text{DOD} \times \eta} \\ C_{\text{baterai}} &= 145,33 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dengan hari tanpa matahari selama 3 hari, dengan daya yang dibutuhkan perhari 810 w, dan tegangan system sebesar 35,2 V dan DOD baterai 50% serta efisiensi baterai 95% maka didapatkan kapasitas baterai yang dibutuhkan sebesar 145,33 Ah

Karena telah ditentukan baterai yang dipilih memiliki spesifikasi 24V 200 Ah maka susunan baterai dapat diketahui sebagai berikut

$$N_{\text{baterai seri}} = \frac{V_{\text{string}}}{V_{\text{Baterai}}}$$

Dengan nilai tegangan string sebesar 35,2 V dan tegangan baterai terpilih sebesar 24 V maka jumlah baterai yang disusun seri sebesar 1,47 dibulatkan menjadi 2 buah.

Untuk baterai yang disusun parallel dapat dicari dengan membagi kapasitas baterai 145,33 Ah dengan kapasitas baterai terpilih yaitu 200 Ah

$$\begin{aligned} N_{\text{baterai Paralel}} &= \frac{C_{\text{baterai}}}{C_{\text{Ah terpilih}}} \\ N_{\text{baterai Paralel}} &= 0,7 \end{aligned}$$

Sehingga baterai disusun seri dibulatkan sebanyak 1 buah. Perlu diketahui bahwa saat baterai disusun secara parallel maka akan meningkatkan tegangan dan arus tetap, namun saat baterai disusun seri akan menaikan arus dan tegangan tetap, Kebalikan dari konsep seri parallel pada panel surya. Dan baterai disusun seri adalah 1. Sehingga output baterai 48V 200 Ah.

Menentukan Kapasitas Inverter

Inverter yang sudah dilengkapi SCC secara internal maka SCC external dapat ditiadakan. Jenis inverter yang dipilih saat ini adalah MPPT karena dapat mengambil energi maksimal dari solar panel.kapasitas inverter yang dibutuhkan dapat dilihat berdasarkan persamaan berikut [7]

$$C_{inverter} = \text{factor safety} \times \text{beban puncak}$$

Factor safety ditentukan sebesar 125% dengan beban puncak sebesar 270 W didapatkan $C_{inverter}$ sebesar 351 w

Dimana tegangan system baterai atau Vdc sebesar 48V yang juga diseting menjadi tegangan pada inverter

$$I_{inverter} = \frac{C_{inverter}}{V_{inverter}}$$

$$I_{inverter} = 7,03 \text{ A}$$

KESIMPULAN

Untuk memenuhi kebutuhan *fan* dan *blower* dibutuhkan dua buah solar panel polikristalin berdaya 150Wp. yang disusun secara seri.Yang dilengkapi dengan Inverter bertipe MPPT yang telah dilengkapi dengan SCC dengan kapasitas minimum 351 watt dan harus mampu dilewati arus sebesar 7,03A. system PLTS bersifat *off-grid* atau *stand alone* yang harus dilengkapi dengan baterai bertipe VRLA berjumlah 2 buah yang disusun secara seri sehingga *output* baterai sebesar 48V 200AH.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Singgih Lelono sebagai pendiri dari SIPESAT[®] atas kerja samanya serta kepada Bapak Fachruddin atas kesempatan yang diberikan dan bimbingannya.

Daftar Pustaka

- [1] V. R. Kossi, "Perencanaan Plts Terpusat (Off-Grid) Didusun Tikalong Kabupaten Mempawah," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2018.
- [2] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degreve dan G.Caceres, "Concentrated solar power plants: Review and design methodology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 466-481, 2013.
- [3] Stackhouse, Jr., Ph.D, Paul ; Barnett, A Jason ; Macpherson, Bradley; Zhang, Taiping ; Mikovitz, Colleen ;, "NASA POWER," NASA langley Research Center, 25 February 2020. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Diakses 2 February 2021].
- [4] <https://en.tutempo.net/>,[Online].
- [5] N.Kopidakis, <https://www.energy.gov/eere/solar/downloads/research-cell-efficiency-records> [Online]. [Diakses 9 february 2021].
- [6] "https://www.energy-transition-institute.com/insights/solar-photovoltaic," A.T Kearney Energy Transition Institute. [Online]. [Diakses 9 february 2021].
- [7] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik," *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 61-78, 2014
- [8] S. Bailey dan R. Raffaele, "Operation of Solar Cells in a Space Environment," dalam *Practical handbook Of Photovoltaics Fundamental And Applications*,Waltham-MA-USA, Elsevier Ltd, 2012, p. 870

Gambar 2. Timeline kenaikan Efisiensi Solar Panel

Figure 2
Technology maturity curve¹

¹ As of April 2017, investment valley of death refers to two critical stages: the early demonstration stage, in which capital required tends to outstrip the resources of a typical lab and where the high technology risk deters some private-sector investors, and the early deployment stage, in which high investment requirements and further risk-taking are needed to push the project from demonstration to deployment.

² III-V MJIs are the leading technology for space and CPV applications due to their high resistance to radiation, low sensitivity to temperature, and high efficiency but are uncommon in conventional solar PV applications.

Notes: PV is photovoltaic; CPV is concentrated photovoltaic.

Source: A.T. Kearney Energy Transition Institute

Gambar 3. Grafik Kematangan Teknologi Panel

Tabel 1. GHI Cawang-Jakarta 1990-2019 pada all sky condition [3]

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
1990	3.77	4.73	4.49	5.11	4.71	4.65	4.76	4.8	5.53	5.69	5.64	4.42	4.85
1991	4.24	3.65	5	4.71	4.93	4.97	5.06	5.67	5.92	5.77	4.9	4.54	4.95
1992	4.85	4.84	5.12	5	4.78	4.87	4.83	4.62	4.88	4.19	4.54	4.43	4.74
1993	4.19	4.53	5.05	4.69	4.71	4.57	5.01	5	5.63	5.84	4.55	4.01	4.82
1994	3.66	4.02	4.58	4.43	4.86	4.79	5.27	5.53	5.79	5.75	5.1	4.77	4.89
1995	3.91	4.44	4.71	5.05	4.76	4.26	4.59	5.42	4.87	3.88	3.78	4.59	4.59
1996	4.04	4.31	4.74	4.71	4.72	4.49	4.72	5.16	5.28	4.48	4.67	3.8	4.59
1997	4.32	4.23	5.54	4.58	4.7	5.1	5.15	5.58	6.13	5.98	5.35	4.99	5.14
1998	4.84	4.64	5.04	4.51	4.55	3.96	4.16	4.83	5.41	4.29	4.02	4.19	4.54
1999	3.82	3.99	4.66	4.67	4.37	4.7	4.93	5.38	5.78	5.11	4.49	4	4.66
2000	4.04	4.34	4.25	4.77	4.5	4.25	4.71	5.14	5.81	4.99	4.05	5.05	4.66
2001	4.42	3.78	4.3	4.9	4.58	4.56	4.73	5.3	5.34	4.26	3.97	5.08	4.61
2002	4.44	3.86	4.89	4.61	4.48	4.57	4.55	5.3	5.98	6.01	4.85	4.3	4.83
2003	5.03	3.72	4.61	4.72	4.78	4.67	5.24	5.35	5.31	4.71	4.81	3.95	4.75
2004	4.53	3.67	4.9	5.11	4.35	4.54	4.68	5.57	5.46	5.74	4.52	4.16	4.77
2005	4.61	4.27	4.33	4.61	4.73	4.4	4.85	5.26	5.09	4.79	4.88	3.92	4.65
2006	4.1	4.52	4.31	4.37	4.69	4.53	4.91	5.79	6.35	6.2	5.66	4.42	4.99
2007	5	4.21	4.16	4.37	4.48	4.44	4.76	5.67	6.02	5.5	5.22	3.79	4.81
2008	5.13	3.87	4.69	4.67	4.98	4.74	5.36	4.95	5.67	5.21	4.23	4.43	4.83
2009	4.32	4.24	5.37	4.85	4.46	4.65	5.19	5.62	5.95	5.52	4.75	4.93	4.99
2010	4.38	5.05	4.87	5.39	4.09	3.89	4.21	4.79	4.6	4.71	4.55	4.16	4.55
2011	4.32	4.72	4.52	4.69	4.4	4.74	4.92	5.69	5.92	5.27	4.77	4.78	4.89
2012	4.2	5.3	5.06	4.87	4.54	4.81	5.1	5.66	6.01	5.48	4.63	4.71	5.03
2013	3.67	5	5.27	4.48	4.08	4.18	3.88	5.5	5.4	5.43	4.93	4.46	4.69
2014	3.97	4.45	4.96	4.98	4.48	4.2	4.39	5.39	6.02	5.63	4.89	4.38	4.81
2015	4.33	4.69	4.72	4.5	4.83	4.85	5.05	5.59	5.89	6.03	5.07	4.63	5.02
2016	4.94	4.13	4.8	4.82	4.04	4.24	4.59	4.88	4.75	4.01	4.25	4.28	4.48
2017	4.51	3.76	4.82	4.79	4.4	4.13	4.62	5.25	5.33	5.05	4.6	4.22	4.61
2018	4.09	4.8	5.15	4.82	4.64	4.51	5.21	5.36	5.42	5.43	4.55	4.62	4.87
2019	4.55	5.23	4.59	4.89	4.75	4.95	5.16	5.51	5.92	6.07	5.81	4.7	5.14
Rata-rata	4.34	4.37	4.78	4.76	4.58	4.54	4.82	5.32	5.60	5.27	4.74	4.40	4.79
Maksimum	5.13	5.30	5.54	5.39	4.98	5.10	5.36	5.79	6.35	6.20	5.81	5.08	5.14
Minimum	3.66	3.65	4.16	4.37	4.04	3.89	3.88	4.62	4.60	4.01	3.88	3.78	4.48

Tabel 2. Suhu Maksimum di Cawang-Jakarta dari tahun 1990-2019 [3].

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
1990	27.68	28.51	28.7	29.94	29.91	29.07	29.06	29.41	30.7	31.76	30.92	28.69	29.53
1991	28.15	27.72	28.66	28.45	29.3	29.22	29.01	30.1	31.84	32.27	29.38	28.92	29.43
1992	28.27	27.91	29.11	28.57	28.79	29.19	28.87	28.58	29.05	28.67	28.38	27.92	28.61
1993	27.19	27.62	28.45	28.02	28.83	28.59	28.79	28.79	29.81	30.6	29.92	28.68	28.78
1994	27.45	27.54	27.79	28.47	28.63	28.56	28.39	29.39	30.97	31.73	30.89	29.16	29.09
1995	27.67	27.48	28.35	28.59	28.98	28.63	28.28	29.46	29.8	29.57	28.88	28.17	28.66
1996	26.81	26.81	28.11	28.93	29.41	28.74	29.26	29.13	30.04	29.58	29.03	28.13	28.67
1997	26.94	27.2	28.97	28.35	29.1	29.21	28.69	29.4	31.47	32.92	31.79	29.86	29.5
1998	30.31	29.08	28.96	29.29	29.65	28.6	28.44	29.33	29.67	28.64	28.45	28.44	29.07
1999	27.58	27.32	28.22	28.93	28.64	28.66	28.53	29.33	30.97	29.96	28.95	28.42	28.8
2000	27.45	27.57	28.04	28.66	28.79	28.79	29.17	29.65	31.36	30.39	29.17	30.27	29.11
2001	28.13	28.15	28.14	28.91	29.38	28.55	28.66	29.37	30.46	29.6	28.67	29.36	28.95
2002	27.97	27.05	28.72	28.65	29.34	29.09	28.71	29.21	30.16	31.99	30.68	29.59	29.28
2003	30.46	27.97	28.77	29.79	29.79	29.89	30.12	30.71	31.02	30.98	29.92	28.6	29.85
2004	28.26	27.61	28.21	29.37	29.24	28.85	28.6	29.29	30.27	31.27	30.33	28.52	29.15
2005	28.1	28.28	27.98	28.96	29.37	28.87	28.73	29.25	29.92	29.84	29.56	28.6	28.96
2006	27.84	28.2	27.9	28.56	28.64	28.75	28.89	29.25	30.87	32.55	31.69	29.55	29.39
2007	30.05	28.04	28.07	28.67	28.89	28.77	28.84	29.2	30.43	30.7	29.94	28.5	29.18
2008	28.83	26.79	27.99	28.39	28.93	28.75	28.88	29.2	30.51	30.5	29.17	28.47	28.88
2009	27.89	27.35	28.5	28.91	28.96	28.89	29.04	29.68	31.06	30.55	29.93	29.38	29.19
2010	28.08	29.06	28.83	29.89	29.45	28.4	28.36	28.52	28.78	28.39	28.35	27.38	28.62
2011	26.91	27.64	27.85	28.6	28.69	28.82	28.7	29.23	30.15	30.14	29.32	29.21	28.78
2012	28.32	28.61	28.6	28.69	29.44	29.09	29.1	30.22	31.53	30.71	29.66	28.99	29.41
2013	27.6	28.22	29.22	28.73	28.79	28.79	28.28	29.2	30.22	30.39	29.51	28.52	28.96
2014	27.14	27.28	28.46	29.21	29.56	29.15	28.93	29.27	30.23	30.75	29.99	28.66	29.06
2015	27.76	27.67	28.28	28.65	29.4	29.31	29.1	29.79	31.38	32.84	31.1	29.54	29.58
2016	29.8	28.77	29.21	29.44	29.47	29.21	28.92	29.46	29.18	28.41	28.32	28.48	29.06
2017	27.92	27.64	28.48	28.58	29.46	28.71	28.96	29.47	30.36	29.82	29.49	28.64	28.97
2018	28.12	27.75	28.98	29.35	29.7	29.29	29.35	29.77	30.75	31.39	29.65	29.38	29.47
2019	28.59	29.23	29.11	29.64	29.72	29.44	29.21	29.67	31.42	32.58	31.72	30.18	30.04
Rata-rata	28.11	27.87	28.49	28.91	29.21	28.93	28.86	29.41	30.48	30.65	29.76	28.87	29.13
Maksimum	30.46	29.23	29.22	29.94	29.91	29.89	30.12	30.71	31.84	32.92	31.79	30.27	30.04
Minimum	26.81	26.79	27.79	28.02	28.63	28.40	28.28	28.52	28.78	28.39	28.32	27.38	28.61