

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sistem fotovoltaik atau pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini merupakan salah satu solusi yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil di mana sinar mataharinya melimpah dan bahan bakar sulit didapat dan relatif mahal.



Gambar 2.1 PLTS Hybrid Selayar

Sumber: Salam Rudi, 2022, 1

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya diperlukan beberapa komponen penting untuk menghasilkan listrik yakni salah satunya sel surya (panel surya), Energi matahari dapat dikonversikan pada energi listrik oleh panel surya Karena Sel surya dapat tereksitasi dan terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri dari dua jenis lapisan sensitif yaitu lapisan positif (tipe-P) dan lapisan negatif (Tipe-N). Panel surya terbagi menjadi dua jenis yaitu tipe Polikristalin dan Monokristalin.

Komponen kedua yang sangat penting adalah *Solar Charge Controller* (SCC). SCC adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya kedalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain-lain. Dengan adanya *solar charge controller* maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis akan diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung. Komponen

ketiga adalah baterai. Baterai adalah alat untuk menyimpan muatan listrik. Jadi, pada saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, maka energi listrik tersebut kemudian disimpan pada baterai yang kemudian akan digunakan. Secara garis besar, baterai atau aki dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksi. Untuk aplikasi, maka baterai dibedakan lagi yaitu untuk *engine starter* (otomotif) dan *clep cryle*. Komponen keempat adalah *Inverter*.

Inverter adalah alat/perangkat yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (*direct current/DC*) dari sel surya dan baterai menjadi arus listrik bolak-balik (*alternating current AC*) dengan tegangan 220 Volt yang kemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi. Alat ini diperlukan untuk PLTS karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan panjang. Apabila beban bukan untuk instalasi rumah, misalnya hanya untuk menghidupkan satu lampu atau alat dengan voltase 12 Volt Direct Current (VDC) dan tidak menggunakan kabel yang panjang seperti penerangan jalan umum inverter tidak diperlukan. Apabila jumlah beban banyak dan kabel panjang dan tetap menggunakan tegangan 12 Volt DC tanpa menggunakan inverter maka akan terdapat rugi daya dan listrik yang hilang (*losses*).

Selain itu penggunaan inverter adalah penting karena akan mengubah arus yang berbeda (arus bolak-balik) menjadi arus yang sama pada PT.PLN sehingga tidak perlu memodifikasi kembali instalasi yang ada di rumah. Inverter terbaik dalam mengaplikasikan solar sel sistem adalah *Inverter Pure Sine Wave*, yang mempunyai bentuk gelombang sinus murni seperti listrik dari PT.PLN. Bentuk gelombang ini merupakan bentuk paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan. Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal.

Secara teknologi, industri fotovoltaic (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel surya nya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lainnya.

2.2 Jenis-jenis PLTS

Secara teknologi, industri fotovoltaic (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lainnya.

Tabel 2.1: Jenis-jenis PLTS

	PLTS off-Grid	PLTS on-Grid	PLTS Hybrid
Deskripsi	Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri mensuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN	Bisa beroperasi tanpa baterai karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya(misal: jaringan PLN)	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lain (misal: PLTB, PLTMH)
Baterai	Dibutuhkan. Agar bisa memberikan suplai sesuai kebutuhan beban	Tidak dibutuhkan	Bisa off-grid(dengan baterai) atau on-grid(tanpa baterai)
Manfaat	Menjangkau daerah yang belum ada jaringan PLN	Berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama	Memaksimalkan penyediaan energy dan berbagai potensi sumber daya yang ada
PLTS Terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap hunian pelanggan		
PLTS Tersebar/ Terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri		

	contoh PLTS off-Grid tersebar: Solar Home System (SHS) serta contoh PLTS on-Grid tersebar: Solar PV Rooftop
--	---

Sumber: Kencana Bayuaji, 2018, 30-31

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *hybrid*

Definisi System PLTS dengan teknologi Hybrid adalah dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh Panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Dengan demikian secara berganti kedua system ini akan saling membackup ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman. Seperti yang telah dijelaskan pada 2.2 PLTS hybrid memiliki sistem terkoneksi dengan listrik PLN, yang mengakibatkan apabila kapasitas baterai turun dari standar, maka supply listriknya akan langsung berubah ke Listrik PLN. Terdapat beberapa perbedaan baik dari komponen ataupun sistem yang ada pada PLTS *hybrid* dengan PLTS off-grid maupun on-grid.

2.4 Komponen Utama PLTS *hybrid*

2.4.1. Jaringan Listrik PLN

Jaringan listrik PLN Jaringan listrik PLN adalah saluran kabel untuk menyalurkan/ memasok listrik dari pembangkit hingga pada akhirnya sampai ke ke pelanggan (pabrik, rumah sakit, tempat ibadah, kantor dan rumah tangga)

Listrik 1 Phase adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat neutral (N). Umumnya listrik 1 phase bertegangan 220 – 240 Volt yang digunakan banyak orang.

2.4.2. Panel Surya

Panel Surya atau solar sel adalah suatu elemen aktif yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, dengan prinsip yang disebut efek photovoltaic. Panel surya adalah salah satu komponen utama yang diperlukan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya dimana berfungsi sebagai pengubah energi cahaya

matahari menjadi energi listrik yang di salurkan kepada sistem control. Berikut merupakan Panel Surya pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Panel Surya

Sumber: Safitri Nelly, 2019, 13

Apabila beberapa modul surya dirangkai, maka akan terbentuk suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya. Kualitas sebuah modul surya, antara lain dinilai berdasarkan efisiensinya untuk mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC. Namun karena banyak beban listrik yang membutuhkan suplai listrik AC, maka listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya harus dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC. Terkait dengan hal ini, sistem charging baterai pada sistem PLTS off-grid bisa berupa DC-Coupling atau AC-Coupling.

Modul surya yang efisiensinya lebih tinggi akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan modul surya yang efisiensinya lebih rendah untuk luasan modul yang sama. Efisiensi modul surya antara lain bergantung pada material sel fotovoltaik dan proses produksinya. Secara umum, sel fotovoltaik terbuat dari material jenis crystalline dan non-crystalline (film tipis). Di Indonesia, panel surya yang banyak di pasaran adalah jenis crystalline, baik dalam format monocrystalline maupun polycrystalline. Jenis mono-crystalline harganya relative lebih mahal, tetapi efisiensi sekitar 15-20%. Adapun polycrystalline, harganya lebih murah namun efisiensi 1-2% lebih rendah dari monocrystalline. Ketika iradiasi matahari meningkat hingga 1000 W/m^2 , maka modul surya akan membangkitkan listrik DC hingga kapasitas yang tertera pada "nameplate"-nya (misal: 250 Wp). Namun demikian, output listrik sesungguhnya dari susunan panel bergantung pada kapasitas sistem, iradiasi matahari, orientasi arah (azimuth) dan sudut panel, dan berbagai faktor lainnya.

2.4.3. *Controller dan Inverter*

Keduanya mempunyai fungsi berbeda, namun tidak bisa dipisahkan. Solar Charge Controller (SCC) atau Solar Charge Regulator (SCR) merupakan otak dari berjalan tidaknya PLTS.



Gambar 2.3 *Solar charge controller*

Sumber: Amsan, 2022, 1

Adapun fungsinya mengatur pelepasan energy yang dilakukan panel surya dan melakukan fungsi control secara keseluruhan. Untuk sistem Off-Grid DC- Coupling Solar Charge Controller (SCC), atau Solar Charge Regulator (SCR), berfungsi membatasi arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. SCC/SCR mencegah pengisian daya (charging) yang berlebihan serta melindungi baterai dari tegangan berlebih.

Selain itu, SCC/SCR juga mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan di dalamnya tidak terkuras (discharged) sampai habis. Beberapa tipe SCC/SCR dapat secara otomatis dan terkontrol memutus tegangan suplai beban, untuk mencegah baterai dari kondisi deep discharge yang bisa memperpendek umur pakai baterai.

Salah satu fitur pada SCC/SCR yang paling bermanfaat untuk charging adalah sistem MPPT (Maximum Power Point Tracker), Dengan adanya sistem ini, baterai lebih cepat terisi karena modul PV akan selalu beroperasi pada output Titik Daya Maksimal yang bervariasi sesuai dengan iradiasi matahari. Modul PV hanya berhenti menghasilkan daya maksimal ketika baterai sudah mendekati batas maksimum charging. Dengan menggunakan MPPT, keuntungan lainnya adalah sistem tegangan rangkaian seri modul PV tidak perlu sama dengan sistem tegangan baterai. Misal sistem tegangan baterai 24 Vdc, maka sistem tegangan modul PV bisa 36 Vdc atau lainnya. SCC/SCR dapat

berupa sebuah unit alat terpisah, atau dapat pula terintegrasi dengan unit DC/AC inverter.

Inverter dapat menjadi satu kesatuan di sebuah produk controller maupun dapat menjadi sebuah produk yang terpisah. Fungsinya untuk memaksimalkan tegangan dari DC (searah) ke DC dan/atau merubah tegangan DC ke AC (bolak-balik).



Gambar 2.4 *Inverter*

Inverter merupakan salah satu komponen utama pada sistem panel surya, yang berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan dari paparan sinar matahari pada panel surya menjadi listrik AC sehingga dapat dikonsumsi oleh beban-beban yang ada.

2.4.4. *Balance of System*

Merupakan komponen pelengkap seperti jaringan distribusi, kabel, konektor, proteksi, MCB/MCCB, surge arrester, pentanahana, penyangga panel surya dan kelengkapan lain yang dapat mendukung berfungsinya sistem PLTS.



Gambar 2.5 MCB dan Kabel

Sumber: Store Fuga, 2021,1

- a. Jaringan Distribusi. Jaringan distribusi merupakan penghubung antara PLTS terpusat dan konsumen. Listrik yang masuk ke jaringan distribusi merupakan tegangan listrik AC yang keluar dari inverter dan transformator. Pada umumnya, jaringan distribusi menggunakan saluran udara. Namun, apabila menghendaki distribusi melewati bawah tanah, maka kabel dapat ditanam langsung atau dilewatkan ke dalam suatu saluran. Contohnya, apabila kabel melewati bawah jalan raya, saluran

beton digunakan untuk melindungi kabel. Pemilihan penggunaan saluran udara atau saluran bawah tanah ditentukan berdasarkan peraturan yang berlaku serta perhitungan ekonomi. Selain itu, meter pengukur produksi listrik dan sirkuit peralatan proteksi biasanya dipasang antara penyulang keluar dari transformator dan titik interkoneksi (Point of Interconnection - POI). Titik ini merupakan titik dimana penjualan listrik diukur, biasanya berlaku untuk sistem PLTS On-Grid. Dalam perencanaan PLTS terpusat, harus dipertimbangkan pula kemungkinan penyambungan fasilitas PLTS terpusat ke jaringan listrik PLN. Persyaratan penyambungan ke jaringan PLN akan mengacu kepada persyaratan interkoneksi yang dimiliki oleh PLN.

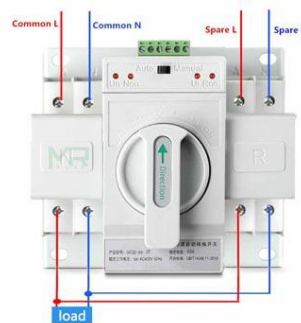
- b. Panel Distribusi. Panel ini dibutuhkan untuk membagi beban output inverter sesuai dengan kapasitas masing-masing beban. Panel ini juga bisa dilengkapi proteksi arrester, untuk memproteksi lonjakan tegangan dari eksternal, misalnya induksi sambaran petir.
- c. Panel Combiner. Panel ini dibutuhkan untuk menggabungkan rangkaian parallel modul surya ataupun baterai. Biasanya dibutuhkan untuk sistem PLTS dengan total daya besar, ataupun sistem PLTS yang menggunakan modul surya dengan kapasitas kecil (misalnya terkait pertimbangan transportasi ke daerah terisolasi), sehingga membutuhkan rangkaian paralel yang cukup banyak.
- d. Grounding System. Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem kelistrikan secara keseluruhan agar salah satu output inverter (AC) memiliki potensial yang sama dengan potensial bumi (sebagai referensi titik netral).
- e. Penangkal Petir. Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem PLTS keseluruhan agar bila terjadi gangguan petir di kawasan PLTS, hanya disalurkan ke bumi (tidak mengarah ke peralatan PLTS).
- f. Kabel PLTS. Untuk sistem PLTS ground-mounted, kabel yang dipilih direkomendasikan untuk menggunakan jenis kabel instalasi bawah tanah.
- g. Kabel Distribusi. Kabel distribusi bertujuan untuk mengalirkan listrik dari PLTS ke konsumen/beban. Kabel harus dipilih berdasarkan SNI, dan sesuai dengan kapasitas beban. Apabila ada beban yang terpisah dan jauh dari rumah daya, digunakan instalasi saluran udara.
- h. Meter Pengukuran. Meter pengukur dapat digunakan untuk pengukuran tagihan. Sistem inverter juga menghitung

pembangkitan sistem, namun demikian, titik ini mungkin bukan merupakan metode dan lokasi yang disepakati antara pembeli dan penjual (meter pengukur pendapatan biasanya ditempatkan pada titik interkoneksi atau POI, yang biasanya ada bagian hilir inverter).

- i. Sistem Proteksi, Sistem proteksi seperti sekering, sirkuit pemutus dan saklar dipasang di antara penyulang yang keluar dari transformator dan POL. Oleh karena itu, petugas PLTS terpusat dapat melepas hubungan pembangkit dan jaringan jika sewaktu-waktu diperlukan.
- j. Sistem Remote Monitoring. Sistem ini membantu pemantauan terhadap sebuah sistem PLTS dari jarak jauh, terkait dengan kinerja PLTS. Sistem ini membutuhkan sarana telekomunikasi agar kinerja PLTS dapat dipantau dari jarak jauh. Apabila tidak ada sarana telekomunikasi untuk remote monitoring, maka dapat digunakan monitoring lokal yang dilakukan secara periodik oleh pihak yang bertanggung jawab.

2.4.5. *Automatic Transfer Switch*

Automatic Transfer Switch adalah sebuah rangkaian kontrol sakelar Power Inverter dengan PLN yang sudah Full Automatic. Alat ini berguna untuk Menghidupkan, dan Menghubungkan Power Inverter ke Beban secara otomatis pada Sumber PLN atau Solar Panel



Gambar 2.6 *Automatic Transfer Switch*
Sumber: Indonesia Builder, 2021, 1

2.4.6. Baterai

Baterai panel surya adalah komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya selama mendapat sinar matahari. Tidak hanya berfungsi menyimpan energi sementara, baterai panel surya juga akan memasok listrik saat panel surya tidak menghasilkan energi.



Gambar 2.7 Baterai

Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS terpusat secara keseluruhan. Perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi merupakan parameter baterai yang mempengaruhi kinerja PLTS terpusat. Baterai yang paling tepat untuk sistem PLTS adalah yang memiliki jenis karakter Deep Discharge.

Untuk Menentukan masing masing nilai energi baterai dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

1. Kapasitas daya baterai/aki

$$P_{baterai} = V_{in \text{ rata - rata Baterai}} \times \text{kapasitas AH} \times 80\% \dots (2.1)^1$$

Keterangan:

1. P = kapasitas daya baterai
 2. Total AH baterai
 3. 80% total energi dari aki yang bisa digunakan
2. Lama pengisian aki/baterai:

$$T1 = \frac{C}{I} (1 + 20\%) \dots \dots \dots (2.2)^1$$

Keterangan:

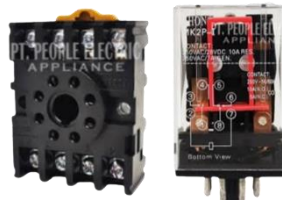
¹ Julisman, A., Sara, I. D., Siregar, R. H. (2017). PROTOTIPE PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SISTEM OTOMASI ATAP STADION BOLA. *Kitekro*, Volume 2 No.1,36,39

1. I= Arus pengisian (Ampere)
 2. C =Kapasitas (Ampere Hours)
 3. T1 = Waktu yang diinginkan (hours)
 4. 20%= (% De-efisiensi)
3. Lama Penggunaan Energi baterai:

$$T_{baterai} = \frac{\text{kapasitas daya baterai}}{\text{rata rata daya beban perjam}} \times 80\% \dots \dots \dots (2.3)^2$$

2.5 Komponen Pendukung PLTS *hybrid*

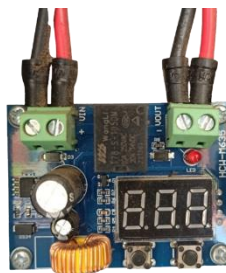
2.5.1. Relay Kontaktor



Gambar 2.8 Relay Kontaktor

Kontaktor akan berfungsi jika dialiri listrik pada kumparan tembaga (coil). Ketika coil elektromagnetik kontaktor diberikan sumber tegangan listrik AC maka saklar kontaktor akan terhubung atau berubah kondisinya yang semula OFF menjadi ON dan sebaliknya yang awalnya ON menjadi OFF.

2.5.2. *Low Voltage Disconnect (LVD)*



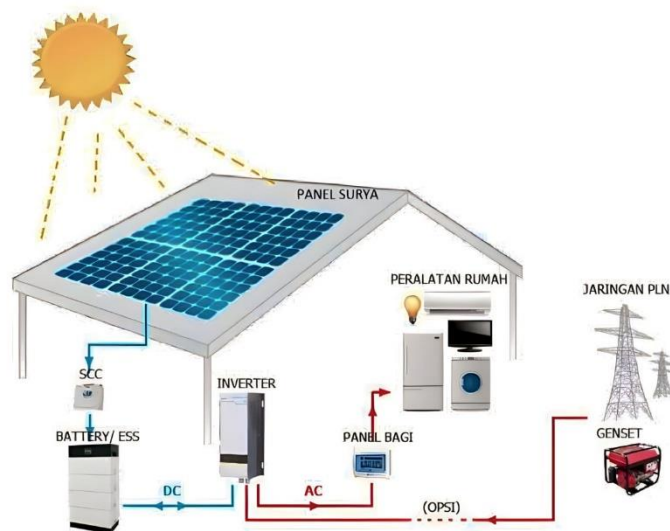
Gambar 2.9 *Low Voltage Disconnect*

Suatu rangkaian yang dapat memutuskan arus dari baterai menuju beban ketika baterai dalam kondisi kritis. LVD pemakaian

² Julisman, A., Sara, I. D., Siregar, R. H. (2017). PROTOTIPE PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SISTEM OTOMASI ATAP STADION BOLA. *Kitekro, Volume 2 No.1,36,39*

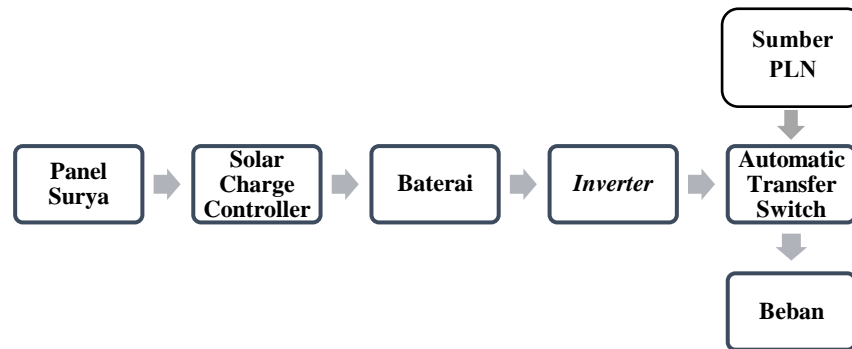
baterai tetap terkontrol tanpa khawatir baterai akan soak. LVD merupakan alat proteksi yang berfungsi untuk melindungi suatu baterai dari kerusakan akibat penggunaan yang terlalu berlebihan (*overdischarge*). LVD akan memutus beban dari baterai secara otomatis pada saat tegangan baterai sudah turun mencapai batas pengaturan tegangan rendah, dan kemudian akan menyambungkan Kembali sesuai dengan setting yang telah diberikan.

2.6 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid*



Gambar 2.10 Simulasi PLTS *Hybrid*
Sumber: PT. Arra Mandiri Energy, 2021, 1

PLTS *Hybrid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung/ter-interkoneksi dengan jaringan PLN (Grid), serta memiliki baterai untuk backup (*Critical Load*) ketika malam hari. Fungsi utama dari PLTS *Hybrid* ini adalah ketahanan sistem, karena selain dapat mengurangi penggunaan listrik dari PLN, sehingga dapat menjadi solusi terbaik sebagai energi baru terbarukan



Gambar 2.11 Blok Diagram Perancangan

Pada gambar diatas merupakan blok diagram Perancangan Pembangkit listrik *hybrid* PLTS–Sumber PLN dengan modul surya sebagai alat penyerap sumber energi utama, yaitu cahaya matahari, serta Tegangan PLN 220 V yang digunakan sebagai sumber energi cadangan. Cahaya matahari yang diserap oleh modul surya akan disimpan di baterai dengan *Solar charge controller* (SCC) sebagai pengaturnya. SCC akan melakukan pengisian baterai saat kapasitas baterai tersisa sebesar 20% dari kapasitas totalnya dan akan menghentikan pengisian apabila kapasitas baterai telah terisi penuh. Energi yang disimpan pada baterai akan disalurkan ke beban dengan menggunakan inverter sebagai perubah tegangan DC keluaran baterai menjadi tegangan AC yang dibutuhkan beban.

Sumber energi yang disimpan dalam baterai akan digunakan pada saat sore sampai pagi hari. Hal ini ditujukan agar pengisian baterai saat siang hari dapat lebih optimal apabila saat pengisian baterai energi yang disimpan tidak langsung disalurkan ke beban. Saat baterai diisi oleh modul surya, Tegangan Listrik PLN akan menyuplai sebagai sumber energi listrik. Listrik PLN ini akan bekerja selama pengisian baterai berlangsung.

Saat pergantian penggunaan sumber energi antara baterai dan Listrik PLN diperlukan alat yang dapat menentukan sumber energi mana yang akan digunakan oleh beban. Oleh karena itu, dibutuhkanlah *Automatic Transfer Switch* (ATS) sebagai saklar otomatis yang dapat menentukan sumber energi yang akan dipakai oleh beban. ATS bekerja berdasarkan nilai tegangan dari baterai dan *inverter*. Saat kondisi energi pada baterai mencapai 20%, SSC akan aktif sebagai pengatur pengisian baterai dan ATS akan aktif dan menentukan sumber energi dari Listrik PLN yang selanjutnya akan digunakan dan disalurkan ke beban.

2.7 Perhitungan Daya

2.7.1. Daya Output Solar Panel

Satuan dasar beda potensial adalah volt (V), karena satuan beda potensial V sering disebut sebagai voltage atau tegangan. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya electron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.4, sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan Pada titik pengujian.

$$P_{out} = V.I \dots \dots \dots (2.4)^3$$

Keterangan:

P = Daya Keluaran (Watt)

V = Tegangan Keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1+P_2+P_3+P_n}{N} \dots \dots \dots (2.5)^3$$

Keterangan:

P1 = Daya pada Waktu Pengujian 1

P2 = Daya pada Waktu Pengujian 2

P3 = Daya pada Waktu Pengujian 3

Pn = Daya pada Waktu Pengujian n

N = Jumlah P1 s/d n

Sedangkan untuk perhitungan total daya keluaran 1 hari panel menggunakan rumus:

$$P_{out total} = \frac{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_n}{n} \times 5 \text{ jam} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

$P_{out total}$ = Daya total Perhari

5 jam adalah waktu efisien sinar matahari

³ Marniati, Y., Yani, H., Nofiansyah., Siswandi. (2021). *The Effectiveness of solar panels from the Installation location. Atlantis Highlights in engineering, volume 9*, 208.

Untuk menghitung efisiensi panel surya dapat menggunakan kita perlu mengetahui nilai P_{in} dengan menggunakan rumus:

$$P_{in} = I_{rad} \times A \dots \dots \dots (2.7)^4$$

Keterangan:

P_{in} = Daya yang masuk pada panel surya (W)

I_{rad} = Intensitas cahaya matahari (W/m²)

A = Luas penampang panel surya (m²)

Maka rumus efisiensi panel surya adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{Panel surya}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)^4$$

Keterangan:

η = Efisiensi panel surya

P_{out} = Daya

P_{in} = Intensitas Matahari (watt/m²)

2.7.2. Daya konsumsi beban

Untuk menentukan besarnya konsumsi beban dari sebuah plts dapat menggunakan rumus dibawah:

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7}{7} \times \frac{24 \text{ jam}}{1000} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

1. $P_{rata-rata}$ = daya konsumsi rata rata perhari
2. P_1, P_2, P_3, P_n = daya konsumsi tiap jam
3. $\frac{24 \text{ jam}}{1000}$ = satuan kwh untuk 1 hari 1 malam

2.8 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya matahari yaitu besar kecilnya sudut datang sinar Matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfir yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

⁴ Nurhidayat, T., Subodro, R., & Sutrisno. (2021). ANALISA OUTPUT DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN KAPASITAS 10WP, 20WP, DAN 30WP. *CRANKSHAFT*, Vol. 2, 14.