



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyangraian Kopi

Mesin sangrai kopi menjadi penentu proses kimia panas yang diuraikan di atas, menyangkut pada kestabilan suhu ruang sangrai dan proses perpindahan panas ke dalam biji kopi. Bila proses penyangraian biji kopi berlangsung terlalu cepat, biasanya bagian terluar dari biji akan gosong atau berwarna kehitaman carbon. Namun bila penyangraian terlalu lama, biji kopi juga akan terasa pahit.

Pada dasarnya proses sangrai (roasting) adalah proses mengeluarkan air dalam kopi, mengeringkan dan mengembangkan bijinya, mengurangi beratnya hingga 20%, serta yang paling penting adalah mengubah unsur gula menjadi CO₂ sebagai alat transport untuk memberikan aroma pada kopi tersebut.

Penyangrai kopi pada industri rumahan dilakukan secara manual, sehingga banyak energi panas yang terbuang. Selain itu tenaga yang dibutuhkan cukup banyak untuk mengaduk kopi. Hal tersebut membuat penyangrai kopi kurang efisien karena suhu disekitar penyangrai tidak terkontrol, serta pengadukan tidak merata. Hal ini menyebabkan orang yang melakukan proses tersebut mudah lelah apabila dilakukan dalam skala besar dan akan mempengaruhi kualitas kopi. Dengan mengendalikan Sistem kontrol pada alat sangrai kopi dengan sensor suhu yang dibaca Thermocouple menggunakan program Arduino Uno, yang digerakkan menggunakan Motor AC induksi 1 fasa dengan kapasitas maksimal mesin sangrai kopi otomatis sebesar 20 kg.

Penyangraian adalah salah satu kunci dari proses produksi bubuk kopi. Proses ini adalah tahapan pembentukan aroma & cita rasa khas kopi dengan metode pemanasan biji. Biji kopi sejatinya mengandung senyawa organik sebagai cikal bakal pembentuk cita rasa & aroma khas kopi. *Roasting* ditentukan berdasarkan ukuran derajat sangrai. Proses *roasting* berlangsung linear terhadap warna kopi semakin lama proses penyagraian semakin mendekati coklat kehitaman. Penyangraian yang biasa dikenal dengan sebutan *Roasting* ialah proses pemanasan biji kopi dengan waktu dan suhu yang menjadi acuan hingga terjadi



proses perubahan sifat kimiawi yang signifikan, yaitu hilangnya berat kering terutama gas CO₂ dan produk pirolisi volatile yang lain. Produk pirolisi ini sebagai penentu cita rasa kopi. Hilangnya berat berkaitan dengan suhu *roasted*. Penyangraian berdasarkan standar suhu dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. *Light rost* suhu yang diperlukan 193 °C hingga 199 °C untuk menghilangkan 3-5% kadar air.



Gambar 2.1 Hasil light roasting

2. *medium rost* suhu yang diperlukan 204 °C untuk menghilangkan 5-8 % kadar air.



Gambar 2.2 Hasil medium roasting

3. *dark rost* suhu yang diperlukan 204 °C hingga 221 °C untuk menghilangkan 8-14%, kadar air.



Gambar 2.3 Hasil dark roasting

Jenis Penyangrai berbentuk oven yang dijalankan dengan cara batch atau kontinuous. Pemanasan dikerjakan pada tekanan atmosfer dengan memanfaatkan ruang hawa panas atau gas pembakaran. Bentuk yang paling sering digunakan



akan disesuaikan pada penyangraian dengan cara batch ataupun *contionous* adalah drumhorizontal yang mampu berputar. Kebanyakan biji kopi diputar sealiran dengan hawa panas lewat drum ini, kecuali pada sebagian roaster dimana dimungkinkan tercipta aliran silang dengan hawa panas. Hawa yang diperlukan segera dipanaskan memakai gas atau bahan bakar, dan terhadap rancangan baru difungsikan sistem hawa daur ulang yang bisa menurunkan polusi di atomosfir serta menekan budget operasional *Roasting*.

Tingkat penyangraian dibagi kepada 3 tingkatan yang terdiri dari ringan (light), medium & gelap (dark). Dengan Cara laboratoris tingkat kecerahan warna biji kopi sangrai diukur menggunakan pembeda warna Lovibond. Biji kopi green bean sebelum disangrai memiliki warna permukaan kehijauan yang berfungsi memantulkan sinar yang nilai lovibondnya antara rentang 60-65. Terhadap penyagraian ringan (light), sebahagian warna permukaan biji kopi beralih menjadi warna kecoklatan dan nilai lovibondnya turun jadi 40-45. Apabila proses penyangraian dilanjutkan deengan proses medium, nilai Lovibond nya menyusut drastis ke kisaran 38-40. Pada proses penyangraian gelap, warna biji kopo sangrai semakin jelas menuju ke warna hitam dikarenakan senyawa hidrokarbon teripolisis berubah menjadi unsur karbon. Sedangkan senyawa gula menghadapi proses karamelisasi dan menghasilkan nilai Lovibond biji kopi sangrai 34-35. Rentang suhu sangrai pada tingkat sangrai ringan yakni antara 190-195 °C, pada tingkat sangrai medium yaitu sedikit di atas 200 °C, dan pada tingkat sangrai gelap yaitu diatas 205 °C.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya (cahaya) menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotolistrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan



mesin kalor (panas) seperti mesin stirling atau lainnya.¹



Gambar 2.4 PLTS

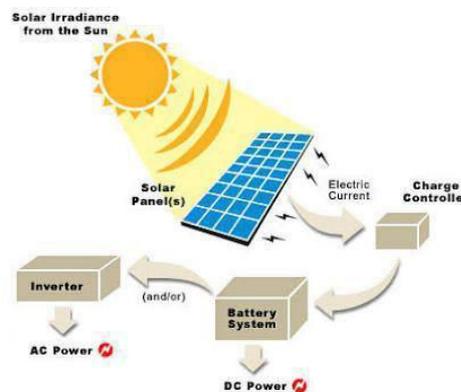
Indonesia memiliki karunia sinar matahari yang hampir sepanjang tahun ada karena Indonesia terletak di wilayah katulistiwa. Hampir di setiap pelosok Indonesia, matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang dipancarkan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya / solar cell. Pembangkit listrik tenaga surya termasuk pembangkit listrik ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batubara). Perkembangan teknologi dalam membuat panel surya / solar cell semakin hari semakin lebih baik terutama dalam meningkatkan tingkat efisiensi, pembuatan aki yang tahan lama, pembuatan alat elektronik yang dapat menggunakan Direct Current. Pada saat ini penggunaan tenaga matahari (solar cell) masih mahal karena tidak adanya subsidi dari pemerintah.

¹ Tri Joko Pranomo, dkk, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Sistem Otomatisasi Pengaturan Pengisian Batere Pembangkit Listrik Tenaga surya", Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol.9 No 2, Juni 2017, hal.113



2.2.1 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Cara kerja dari pembangkit listrik tenaga surya cukup sederhana. Komponen utama dari sumber energi ini adalah sel fotovoltaik. Sel tersebut memiliki peranan untuk menangkap panas matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, jenis pembangkit listrik ini diklaim lebih ramah lingkungan, murah dan hampir tidak memiliki polusi ataupun limbah, hal tersebut merupakan beberapa keuntungan dari pembangkit listrik ini. Setelah panas matahari ditangkap oleh sel fotovoltaik lalu panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan cairan yang selanjutnya menjadi uap yang dihasilkan akan dipanaskan oleh sebuah generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya prinsip kerja dari pembangkit listrik jenis ini hampir sama seperti cara kerja pembakaran bahan bakar fosil dalam pengolahannya. Yang membedakan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga matahari ini adalah uap yang dihasilkan bukan dari pembakaran minyak fosil, akan tetapi dari tenaga surya atau cahaya matahari.²



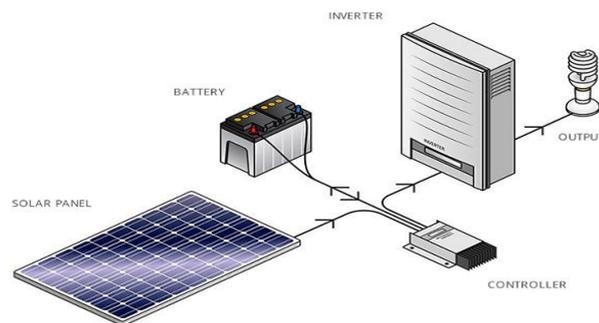
Gambar 2.5 Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik

Panel surya atau solar cell sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada

² Ibid, Hal.113



pagi-sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari. Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung kepada sinar matahari, maka perencanaan yang baik sangat diperlukan. Berapa besar arus yang dihasilkan panel surya atau solar cell (dalam Ampere hour), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya / solar cell yang harus dipasang. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa sinar matahari. (Ampere hour).



Gambar 2.6 Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.2 Prinsip Dasar Energi Surya

Setiap lokasi di Bumi menerima sinar matahari setidaknya bagian dari tahun. Jumlah radiasi matahari yang mencapai setiap daerah di permukaan bumi bervariasi sesuai dengan:

- Lokasi Geografis
- Waktu Hari
- Musim
- Lanskap Lokasi
- Cuaca Lokasi

Karena bumi itu bulat, matahari menyerang permukaan pada sudut yang berbeda, mulai dari 0° (tepat di atas cakrawala) sampai 90° (tepat di atas kepala). Ketika sinar matahari yang vertikal, permukaan bumi mendapatkan semua energi mungkin. Sinar matahari lebih miring adalah, semakin lama mereka melakukan perjalanan melalui atmosfer, semakin tersebar dan menyebar. Karena bumi itu bulat, daerah kutub dingin tidak pernah mendapatkan sinar matahari yang tinggi,



dan karena sumbu rotasi miring, bidang ini menerima sinar matahari sama sekali selama bagian dari tahun.

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam orbit elips dan lebih dekat dengan matahari selama bagian dari tahun. Ketika matahari lebih dekat bumi, permukaan bumi menerima energi sedikit lebih surya. Bumi adalah dekat matahari saat itu adalah musim panas di belahan bumi selatan dan musim dingin di belahan bumi utara. Namun, kehadiran moderat lautan luas musim panas lebih panas dan musim dingin satu akan mengharapkan untuk melihat di belahan bumi selatan sebagai akibat dari perbedaan ini.

Kemiringan rotasi $23,5^\circ$ di poros bumi adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan jumlah sinar matahari memukul bumi di lokasi tertentu. Rotasi bumi juga bertanggung jawab untuk variasi per jam di sinar matahari. Pada sore hari dan akhir awal, matahari rendah di langit. Sinarnya perjalanan lebih jauh melalui atmosfer daripada di siang hari, ketika matahari berada pada titik tertinggi. Pada hari yang cerah, jumlah terbesar dari energi matahari mencapai kolektor surya sekitar tengah hari surya.

2.2.3 Panel Surya

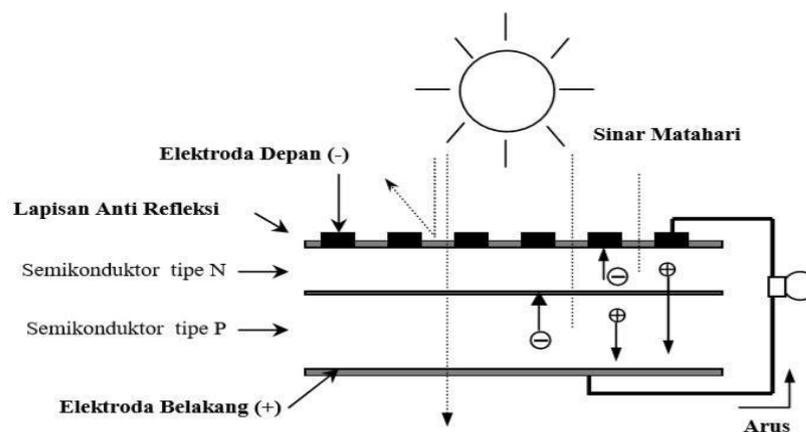
Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal. Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan.³ Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik".

Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi. Sel Surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara

³ Rifaldo Pido, dkk, "Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan *Solar Cell* Terhadap Daya Output", Jurnal of Infrastructure & Science Engineering Vol.2, No.2, Oktober 2019, Hlm. 25-26



seri maupun parallel, untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. *Solar cell* terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* berupa daya listrik DC yang kemudian akan dikonversikan menjadi daya listrik AC.



Gambar 2.7 Cara Sel Surya PV Bekerja

2.2.3.1 Pola Operasi PLTS (Off-Grid)

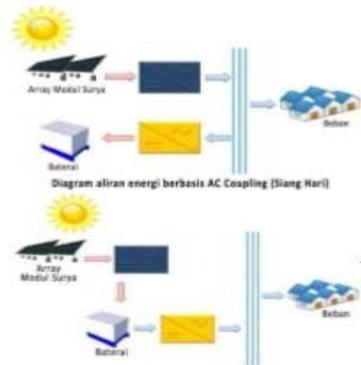
Terdapat 3 (tiga) pola operasi yang umum pada PLTS off-grid, yaitu:

- a. Siang Hari Pada Saat Energi PLTS (Off-Grid) Lebih Besar Dari Kebutuhan Beban

Besar energi yang dihasilkan oleh PLTS off-grid sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 Watt/m², apabila efisiensi modul surya sebesar 16% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar 160 Watt/m².



Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada Siang Hari

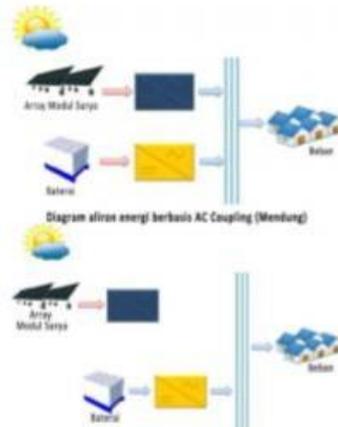
Pada sistem AC Coupling, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut langsung disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter grid-tied / inverter on-grid, apabila beban sudah tercukupi energi berlebih yang dihasilkan modul surya digunakan untuk pengisian baterai melalui inverter baterai / inverter bidirectional. Pada sistem DC Coupling, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui Solar Charge Controller (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

- b. Siang Hari pada saat Energi PLTS (Off-Grid) lebih kecil dari kebutuhan beban

Kondisi ini dapat terjadi apabila :

- Saat kondisi berawan atau mendung.
- Saat sore hari menjelang matahari terbenam
- PLTS off-grid akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal.

Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada Kondisi Berawan/Mendung

c. Malam Hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan melalui Inverter. Kemudian Inverter mengubah arus a.s. (DC) pada sisi baterai menjadi arus a.b.b. (AC) ke sisi beban. Diagram aliran energi pada malam hari dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram Aliran Energi pada Malam Hari



2.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

a. Solar Cell (*Photovoltaic*)

Solar cell atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic.



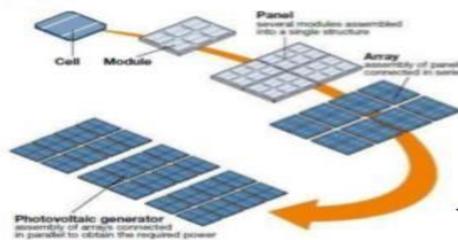
Gambar 2.11 *Solar Cell (Photovoltaic)*

b. Modul Surya

Modul surya atau Photovoltaic Module merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (frame) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk



meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



Gambar 2.12 Diagram Hubungan antara *Solar Cell*, Modul, Panel dan Array

c. Penyangga dan Sistem Pelacak (*Mounting and Tracking Systems*)

Modul surya harus terpasang pada suatu struktur/kerangka, untuk menjaganya tetap terarah pada arah yang tepat, agar lebih tersusun rapi dan terlindungi. Struktur pemasangan modul surya bisa pada struktur yang tetap (*fixed*) atau dengan sistem pelacak sinar matahari, atau biasanya disebut *tracking systems*.

d. Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu:

1. Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS yang bebannya kecil.
2. Inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN.



Gambar 2.13 Inverter

e. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Charge Controller adalah komponen di dalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (current regulator) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/digunakan. Berfungsi untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (over charge), dan mengatur tegangan serta arus dari panel surya ke baterai.



Gambar 2.14 Solar Charge Controller

f. Kabel

Kabel merupakan komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

2.4 Komponen – Komponen Kontrol

a. Thermocouple

Termokopel (thermocouple) merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan elektronika yang berkaitan dengan suhu (Temperature). Beberapa



kelebihan termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Thermocouple merupakan sensor yang mengubah besaran suhu menjadi tegangan, dimana sensor ini dibuat dari sambungan dua bahan metalik yang berlainan jenis. Sambungan ini dikomposisikan dengan campuran kimia tertentu, sehingga dihasilkan beda potensial antar sambungan yang akan berubah terhadap suhu yang dideteksi. Thermocouple suatu rangkaian yang tersusun dari dua buah logam yang masing-masing mempunyai koefisien muai panjang berbeda yang dihubungkan satu dengan yang lain pada ujung - ujungnya.

a. Modul Max 6675



Gambar 2.15. Modul MAX 6675

MAX6675 dibentuk dari kompensasi cold-junction yang output nya digitalisasi dari sinyal Termokopel Tipe - K. Data output memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi hasil pembacaan 12-bit data. Dari termokopel adalah untuk mengetahui perbedaan temperature di bagian ujung dari dua bagian metal yang berbeda dan disatukan.

b. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD (Liquid Crystal Display) bisa menampilkan suatu gambar/karakter dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun Kristal cair ini tidak memancarkan cahaya



sendiri. LCD 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dan tiap baris dapat menampilkan 16 karakter. Pada LCD 16x2 pada umumnya menggunakan 16 pin sebagai kontrolnya, tentunya akan sangat boros apabila menggunakan 16 pin tersebut. Karena itu, digunakan driver khusus sehingga LCD dapat dikontrol dengan modul I2C atau Inter-Integrated Circuit. Dengan modul I2C, maka LCD 16x2 hanya memerlukan dua pin untuk mengirimkan data dan dua pin untuk pemasok tegangan. Sehingga hanya memerlukan empat pin yang perlu dihubungkan ke NodeMCU yaitu :

- GND : Terhubung ke ground
- VCC : Terhubung dengan 5V
- SDA : Sebagai I2C data dan terhubung ke pin D2
- SCL : Sebagai I2C data dan terhubung ke pin D1

c. Modul I2C

Modul I2C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (Serial Clock) dan SDA (Serial Data) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Piranti yang dihubungkan dengan sistem I2C Bus dapat dioperasikan sebagai Master dan Slave. Master adalah piranti yang memulai transfer data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal Start, mengakhiri transfer data dengan membentuk sinyal stop, dan membangkitkan sinyal clock. Slave adalah piranti yang dialamati master.

d. NodeMCU ESP 8266

NodeMCU adalah sebuah *platform IoT (Internet of Things)* yang bersifat *opensource*. Terdiri dari perangkat keras berupa *System On Chip* ESP8266 dari ESP8266 buatan *Espressif System*, juga *firmware* yang digunakan, yang menggunakan bahasa pemrograman *scripting* Lua. Istilah NodeMCU secara *default* sebenarnya mengacu pada *firmware* yang digunakan dari pada perangkat keras *development kit*.



Gambar 2.16. NodeMCU V3

2.5 Faktor Pengisian

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang dihasilkan sel surya.⁴

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots (1)$$

- Dengan: FF = Faktor pengisi
 V_m = Tegangan maksimum (V)
 I_m = Arus maksimum (A)
 V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)
 I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

Sukhatme dkk (2008), Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu besaran nilai dari hasil perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots \dots \dots (2)$$

⁴ Rifaldo Pido, dkk, "Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan *Solar Cell* Terhadap Daya Output", Jurnal of Infrastructure & Science Engineering Vol.2, No.2, Oktober 2019, Hlm. 33



Dengan: P_{out} = Daya keluaran (W)
 V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)
 I_{sc} = Arus hubung singkat (A)
 FF = Faktor pengisi

2.6 Baterai Pada PLTS⁵

Pengertian baterai adalah salah satu alat penting untuk penyimpanan dan konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Jadi, baterai sebenarnya merupakan sebuah sel elektrokimia, terdiri dari satu atau lebih sel dimana energy kimia diubah menjadi energy listrik dan digunakan sebagai penyimpan energy listrik. Tanpa baterai maka energy surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya.

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya digunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil.



Gambar 2.17 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem PLTS yang memegang peranan penting sebagai sumber listrik, yang apabila lemah/soak seringkali menjadi penyebab terganggunya system PLTS. Mengapa baterai

⁵ Daryanto, "Pengetahuan Baterai Mobil Edisi Revisi", Hlm. 37



Valve-Regulated Lead-Acid Battery (VRLA) dapat direkomendasikan sebagai baterai tipe VRLA dalam system PLTS, selain bebas perawatan (*maintenance free*), karena baterai tipe ini memiliki katup untuk pertukaran gas sehingga suhu didalam baterai akan tetap terjaga dan umur (*lifetime*) baterai akan maksimal.

Meskipun harga baterai VRLA lebih mahal dari aki basah (*Battery Asam Timbal*) tetapi umur pakai baterai lebih lama hingga 1 (satu) tahun lebih, dengan sistem pengisian dan beban yang sesuai dengan kapasitas baterai.

2.6.1 Fungsi dan jenis-Jenis Baterai Pada PLTS⁵

Baterai menyimpan energy listrik yang dihasilkan modul surya pada saat matahari bersinar, dan baterai akan mengeluarkan kembali energy listrik pada saat modul surya tidak dapat lagi menghasilkan energi listrik. Pada kondisi normal baterai dipergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan atau mendung. Apabila terjadi daya energi beban di konsumen yang berlebih diwaktu siang hari, baterai dapat difungsikan untuk menambah beban yang dihasilkan oleh modul surya. Sifat baterai adalah menyimpan dan mengeluarkan energi dari proses reaksi kimia. Proses penyimpanan dan pengeluaran daya energy dalam besaran satuan wattjam (*watthour*) listrik. Pengeluaran ini nantinya akan dipulihkan seperti semula disaat pengisian (*charging*) dari modul surya. Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan secara seri. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal sebanyak 2 Volt, 12 Volt dan 24 Volt . untuk sebuah baterai dengan tegangan 12 Volt akan berisi 6 sel secara seri.

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam system fotovoltaik meliputi:

1. Untuk memberikan daya energi (Wattjam) kepada sistem pembagian listrik tenaga surya ketika daya energi tidak disediakan oleh PV *array* panel-panel surya.
2. Untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel

⁵ Ibid, Hlm. 39



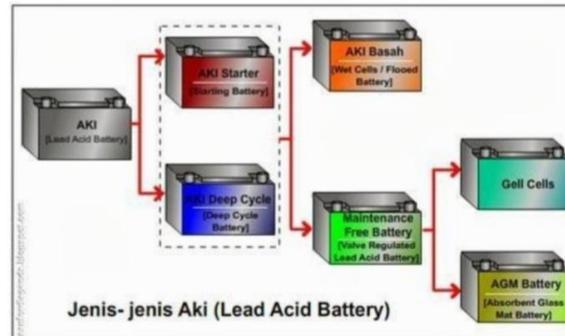
surya setiap kali daya itu melebihi beban.

Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan daya energi, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu matahari ada, modul surya menghasilkan arus listrik dalam satuan Ampere jam dengan segera dipergunakan untuk pengisian baterai. Apabila tidak adanya matahari pada malam hari khususnya permintaan akan daya energi watt-hour dari kapasitas baterai *Amperehours* dengan tegangan nominal baterai 2 Volt atau 12 Volt. Siklus penyimpanan Amperjam akan terjadi setiap kali sesuai intensitas iradiasi matahari dan mengeluarkan Amperjam terjadi setiap kali sesuai dengan penggunaan daya listrik untuk melayani beban konsumen, jika ada sinar matahari dengan iradiasi yang cukup, baterai akan menyimpan Amperjam (Ah) yang cukup dan pelayanan bebannya akan menjadi ringan. Oleh karena itu fungsi baterai pada malam hari akan mengeluarkan jumlah total daya wattjam yang diperlukan dari *Amperehours* dikalikan dengan total tegangan baterai yang 48 Volt.

Jika baterai tidak menyimpan cukup *Amperehours* dan tegangan daya energi, maka tidak bisa memenuhi permintaan untuk melayani beban pada pengguna. Apabila tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan Amperjam dan tegangan menurun ketitik terendah dan tidak siap memenuhi kebutuhan penggunaan energi Wattjam. Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, system akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Salah satu cara dengan melakukan perkiraan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri atau *number of days of autonomy* 3 sampai dengan 4 hari untuk menjamin pengaturan pengisian baterai (*charging*) dan pengeluaran (*discharge*) baterai yang baik. Untuk *state of charge* (SOC) baterai diukur berdasarkan pada tegangan sebenarnya dari baterai. Dengan mengukur tegangan baterai dan deprogram dengan tipe teknologi penyimpanan yang digunakan oleh baterai, pengatur bisa mengetahui titik tepat dimana baterai akan mengalami pengisian (*charge*) sesuai dengan sinar matahari bersinar penuh atau pengeluaran (*discharge*) yang berlebihan sesuai kebutuhan melayani beban listrik. Pada baterai *lead acid* salah



satu jenis baterai yang menggunakan asam timbale (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Menurut bentuk struktur baterai dikelompokkan yang terdiri dari baterai *stater* dan baterai *deep cycle* seperti ditunjukkan pada gambar 2.18 .



Gambar 2.18 Jenis-Jenis Baterai

2.6.1.1 Baterai /Aki Stater

Baterai stater adalah adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berbalik) dengan efisiensinya yang tinggi, yang dimaksud dengan proses elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengancara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Konstruksi baterai stater didalam wadahnya terdapat elektrolit asam sulfat, elektroda positif dan negatif dalam bentuk plat. Plat-plat tersebut dibuat dari timah atau berasal dari timah. Karena itu baterai tipe ini sering disebut baterai timah, ruangan didalamnya dibagi menjadi beberapa sel (biasanya 6 sel, untuk baterai mobil) dan didalam masing-masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam didalam elektrolit.

Jumlah tenaga listrik yang disimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan *Amperhours* (Ah). Jika pada kotak baterai tertulis 12 Volt 60 Ah, berarti baterai-baterai tersebut mempunyai tegangan 12 Volt dimana jika baterai tersebut digunakan selama 1 jam dengan arus pemakaian 60 Ampere, maka kapasitas baterai tersebut



setelah 1 jam akan kosong (habis). Kapasitas baterai tersebut juga dapat menjadi kosong setelah 2 jam jika arus pemakaian hanya 30 Ampere. Disini terlihat bahwa lamanya pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang digunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai, dan sebaliknya, semakin kecil arus yang digunakan, maka akan semakin lama pula baterai mengalami pengosongan. Besarnya kapasitas baterai sangat ditentukan oleh luas permukaan plat atau banyaknya plat baterai. Jadi dengan bertambahnya luas plat atau dengan bertambahnya jumlah plat baterai maka kapasitas baterai juga akan bertambah. Sedangkan tegangan accu ditentukan oleh jumlah daripada sel baterai, dimana satu sel baterai biasanya dapat menghasilkan tegangan kira-kira 2 sampai 2,1 Volt. Tegangan listrik yang terbentuk sama dengan jumlah tegangan listrik tiap-tiap sel. Jika baterai mempunyai enam sel, maka tegangan baterai standar tersebut adalah 12 Volt sampai 12,6 Volt. Biasanya setiap sel baterai ditandai dengan adanya satu lubang pada kotak accu bagian atas untuk mengisi elektrolit aki. Setiap sel terdiri dari beberapa plat positif dan plat negatif. Kedua plat tersebut dipisahkan oleh separator agar tidak terjadi hubungan langsung (hubungan singkat).

Dalam setiap sel baterai jumlah plat negatif lebih satu jika dibandingkan dengan plat positif. Kotak baterai adalah wadah yang menampung elektrolit dan elemen baterai. Pada kotak baterai terdapat garis tanda *upper level* dan *lower level*, sebagai indikator jumlah elektrolit. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.19 mengenai konstruksi baterai stater.



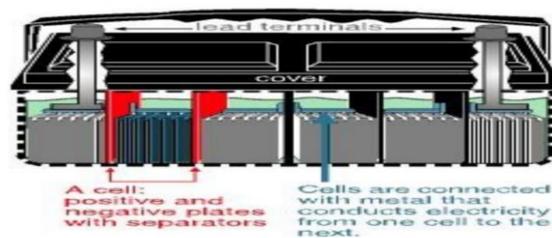
Gambar 2.19 Konstruksi Baterai Stater

2.6.1.2 Baterai *Deep Cycle*

Baterai *deep cycle* dirancang untuk menghasilkan energy arus



listrik yang stabil sebesar tidak sebesar *starting battery* namun dalam waktu yang lama. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian-pengosongan baterai yang berulang-ulang. *Deep cycle* karena konstruksinya menggunakan pelat yang lebih tebal dan memungkinkan untuk melepaskan energi dalam selang waktu yang panjang. Baterai *deep cycle* tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar baterai starter. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang dapat diharapkan. Jenis ini juga banyak digunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin. Jenis baterai *deep cycle* terdiri dari baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid Battery*), Gel Cells Baterai dan *Absorbent Glass Mat Battery* (AGM Baterai). Seperti ditunjukkan pada gambar 2.20 mengenai konstruksi baterai *deep cycle*.



Gambar 2.20 Struktur Konstruksi Baterai *Deep Cycle*

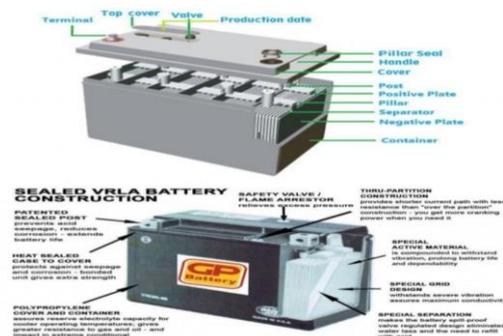
2.6.1.3 Baterai VRLA ⁶

Accu kering merupakan bentuk pengembangan dari accu basah yang penggunaannya kini semakin populer. Secara fisik, perbedaannya dengan accu basah dapat dilihat melalui wadahnya yang berwarna gelap atau tidak transparan. Selain itu, accu kering juga tidak memiliki lubang-lubang untuk mengisi air accu. Kontainer baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai dengan 4 psi. tekanan ini membantu mengembalikan 99% hydrogen dan oksigen yang terbentuk pada proses *charging*/pengisian untuk kembali menjadi air. Jadi pada baterai VRLA tidak

⁶ Abram Tangkemanda, dkk, "Aplikasi Teknik listrik dan elektronika pada alat berat", Maret 2018, Hlm 43



memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum adalah Gel VRLA dan AGM VRLA. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.21 mengenai konstruksi baterai VRLA.



Gambar 2.21 Konstruksi Baterai VRLA

2.6.1.4 Baterai Gel VRLA

Baterai Gel VRLA adalah baterai VRLA dengan elektrolit *gelified*, asam sulfat dicampur dengan silika diasapi, yang membuat massa yang dihasilkan menyerupai gel dan bisa bergerak. Berbeda dengan *flooded* baterai sel basah timbale asam, baterai ini tidak perlu disimpan tetap tegak. Baterai gel mengurangi penguapan elektrolit, tidak tumpah (dan masalah korsi berikutnya) bersamaan untuk baterai wet sel, dengan resistansi yang lebih besar untuk *shock* dan vibrasi. Kimia baterai gel VRLA basah baterai (*non sealed*) sama kecuali bahwa antimony dalam piring timbal digantikan oleh kalsium, dan rekombinasi gas dapat berlangsung. Baterai OPzV adalah konstruksi sel tunggal dengan tegangan nominal adalah 2 Volt. Misalkan kita mengambil OPzV2-200 “berarti *sealed baterai GelOpzV* tersebut mempunyai tegangan 2Volt dan 200 Ah. Baterai Gel OpzV memiliki struktur antara lain:

1. Plat Positif : Baterai mengadopsi piring positif tubular. *Grid* positif yang dibuat oleh *die-casting* teknik dengan tekanan 18 Mpa dan struktur silinder lebih kompak dan memberikan kebaikan korosi resistansi dengan ekstrim tinggi siklus harapan usia baterai dan umur baterai desain lebih lama dari 20 tahun.



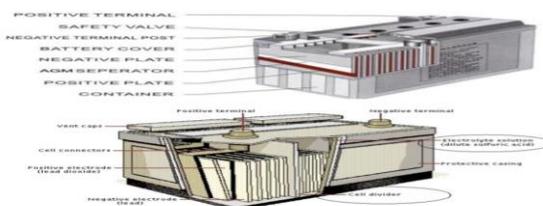
2. Elektrolit : GEL terdiri SiO₂, yang merupakan sel cair yang disuntikkan dan sampai penuh ke dalam baterai dan akhirnya elektrolit menjadi tidak mengalir, tidak ada kebocoran, stratifikasi, dan keamanan yang lebih tinggi. *Desain flooded* elektrolit berisi lebih banyak elektrolit dari baterai AGM; ruang antara piring dan pemisah penuh elektrolit sehingga bisa disipasi panas yang baik, tahan terhadap pengisian berlebihan (*overcharge*), stabil terhadap suhu tinggi dan menghindari “pelepasan panas yang berlebihan “.
3. Kontainer baterai terbuat dari kekuatan tinggi. Dengan kualitas kontainer dan tutup disegel bersama-sama dengan perekat untuk memastikan kinerja penyegelan handal dalam pelayanan.
4. Keselamatan *valve* katup pengaman sensitivitas tinggi memiliki kinerja yang stabil di *flip-top* ventilasi busi pers; bekerja sama dengan arrester api itu membuat baterai lebih aman dan telah rekombinasi tinggi *efficiency electrolyte* baterai ruang interior dapat memobilized dalam struktur GEL, sehingga lebih dari 25% kinerja baterai. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.22 dan 2.23 mengenai *Tubular Deep Cycle Gel* Baterai OPzV 2 Volt dan *Plate Tubular Baterai Gel OPzV 2* Volt.

2.6.1.5 Baterai AGM VRLA

Baterai AGM berbeda dari *flooded* baterai asam baterai asam timbale dalam elektrolit diadakan di alas kaca, dibandingkan dengan bebas membanjir piring sangat fiber kaca tipis yang ditenun menjadi matras untuk meningkatkan luas permukaan yang cukup untuk menahan elektrolit yang cukup pada sel-sel untuk seumur mereka (*lifetime*). Fiber yang membentuk matras kaca baik tidak baterai menyerap yang juga tidak terpengaruh oleh elektrolit asam. Alas ini diperas 2-5% setelah direndam dalam asam, sebelum penyelesaian memproduksi dan penyegelan. Dalam pelat AGM baterai mungkin apapun



bentuknya. Beberapa yang datar, yang lain bengkok atau digulung. Baterai AGM, baik dalam siklus dan awal, yang dibangun dalam case persegi panjang dengan spesifikasi kode baterai BCI. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.22 mengenai Konstruksi Baterai AGM VRLA.



Gambar 2.22 Konstruksi Baterai AGM VRLA

2.6.1.6 Instruksi Keselamatan Ketika Bekerja Dengan Baterai

Berikut adalah tindakan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dalam hal Instruksi Keselamatan ketika bekerja dengan Baterai untuk pengoperasian sebuah unit PLTS Terpusat:

1. Pastikan daerah sekitar baterai berventilasi baik.
2. Jangan merokok atau membiarkan percikan api dekat baterai.
3. Jangan menjatuhkan alat logam ke baterai. Karena ini mungkin memicu korsleting listrik pada baterai atau bagian lainnya yang mampu menyebabkan ledakan.
4. Lepaskan semua item logam, seperti cincin, gelang dan jam tangan ketika bekerja dengan baterai.
5. Bekerjalah dekat dengan seseorang agar jika anda butuh pertolongan bisa segera ada yang membantu anda ketika anda sedang bekerja dengan baterai.
6. Pakailah pelindung mata lengkap dan pelindung pakaian. Jangan menyentuh mata anda saat bekerja di dekat baterai.
7. Jika baterai asam kontak dengan kulit atau pakaian, segera cuci dengan sabun dan air. Jika asam terkena mata anda, segera basuh dengan air dingin selama minimal 20 menit dan segera periksakan ke medis.



8. Jangan mengisi baterai beku.
9. Ketika menghubungkan baterai, selalu pastikan bahwa polaritas tegangan sudah benar dan selalu mendaur ulang baterai tua. Hubungi pusat daur ulang lokal anda untuk informasi pembuangan.

2.7 Prinsip Kerja Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem *solar cell* yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah ampere hour (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (*discharge*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (*life time*), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan.

2.8 Pengoperasian Baterai Pada PLTS

2.8.1 Pelepasan Energi (Discharging)

Pada saat pelepasan energi baterai, tegangan rangkaian tertutup (*closed-circuit voltage, CCV*) dari baterai penurunan awal disebabkan oleh rugi-rugi hambatan (*ohmic losses*). Tegangan tersebut menurun secara bertahap tergantung pada karakteristik baterainya, hingga terjadi pemutusan karena tegangan yang rendah (*low voltage disconnection, LVD*). Dalam hal ini, beban harus diputus untuk menghindari pelepasan energi sampai habis (*deep discharge*) dari baterai sehingga menurunkan

konsentrasi asam di dalam elektrolit dan timbul sulfidasi pada terminal baterai.



2.8.2 Hal Yang Harus Dipertimbangkan Ketika Menggunakan Baterai

- a. Hindari pemakaian baterai sampai habis. Sebaiknya, paling sedikit 1,95 V per sel dengan waktu pemakaian hingga 24 jam. Hal ini berarti tegangan sistem sebesar 48 V, tegangan pelepasan terakhir sebesar 46,8 V.
- b. Baterai tidak boleh diisi dengan arus yang terlalu tinggi. Semakin tinggi arus maka semakin cepat tegangannya menurun, sehingga LVD akan dicapai lebih cepat. Energi total yang dapat diambil juga menurun

2.9 Cara dan Tindakan Pemeliharaan Baterai

- a. Pemeriksaan Kebersihan

Periksa apakah ruangan baterai beserta baterai dalam kondisi bersih. Jika membersihkan dari debu, gunakan kuas kering atau kemoceng.
- b. Periksa Kebocoran Cairan Pada Baterai dan Koneksi Terminal
 - Periksa setiap baterai apakah terdapat kebocoran elektrolit. Jika terdapat kebocoran dan ditemukan oksidasi (kerak putih) segera laporkan ke teknisi atau ke dosen pembimbing, dan hati-hati dengan cairannya.
 - Periksa apakah terminal baterai terlindung bahan isolator, kencang, tidak berkarat dan tidak terjadi oksidasi. Jika tidak terlindung segera pasang isolator pada baterai dan kencangkan.
- c. Periksa Suhu Baterai
 - Periksa suhu baterai dengan alat ukur apakah suhu setiap baterai tidak ada yang menyimpang jauh dari baterai yang lain. Jika terjadi perbedaan suhu yang menyimpang jauh antar baterai segera periksa setiap baterai dan cari baterai yang mengalami kebocoran dan segera laporkan ke teknisi atau dosen pembimbing.
 - Periksa suhu dan kelembapan di ruangan baterai dengan alat ukur, apakah suhu baterai melebihi 30°C suhu dan kelembapan di luar ruangan.



d. Pemeriksaan Fisik

Periksa apakah ada perubahan fisik baterai (gembung, retak dll). Jika terjadi perubahan fisik baterai segera hubungi dosen pembimbing atau teknisi tentang langkah apa yang harus dilakukan.

2.10 Rangkaian Pada Baterai

a. Rangkaian Seri

Rangkaian seri atau modul surya akan meningkatkan tegangan (Voltage) keluarannya sedangkan kuat arus listriknya (Ampere) akan tetap sama. Rangkaian listrik seri sumber arus searah dapat dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2.23 Rangkaian Seri Baterai

Dari Gambar diatas, 4 buah baterai masing-masing menghasilkan *current* atau kapasitas arus listrik (Ampere) yang sama seperti arus listrik pada 1 buah baterai, namun tegangan yang dihasilkannya menjadi 4 kali lipat dari tegangan 1 buah baterai. Yang dimaksud dengan tegangan dalam elektronika adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik yang dinyatakan dalam satuan Volt.

Seperti yang digambarkan pada Gambar diatas, 4 buah baterai yang masing-masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh) akan menghasilkan 6 Volt tegangan tetapi kapasitas arus listriknya (*Current*) akan tetap yaitu 1.000 miliampere per jam (mAh).

Secara matematis dapat dituliskan:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{bat1}} + V_{\text{bat2}} + V_{\text{bat3}} + V_{\text{bat4}} + \dots + V_n$$

$$I_{\text{tot}} = I_{\text{bat1}} + I_{\text{bat2}} + I_{\text{bat3}} + I_{\text{bat4}} + \dots + I_n$$

Dimana:



V_{tot} = tegangan total

V_{bat1} = tegangan baterai 1

V_{bat2} = tegangan baterai 2

V_{bat3} = tegangan baterai 3

V_{bat4} = tegangan baterai 4

V_n = tegangan baterai ke-n

I_{tot} = kuat arus total

I_{bat1} = kuat arus baterai 1

I_{bat2} = kuat arus baterai 2

I_{bat3} = kuat arus baterai 3

I_{bat4} = kuat arus baterai 4

I_n = kuat arus baterai ke-n

Sehingga:

$$V_{\text{tot}} = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V$$

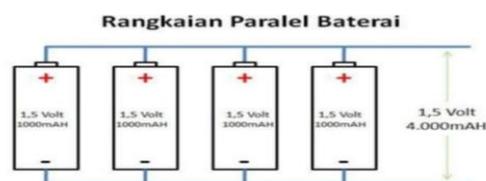
$$V_{\text{tot}} = 6V$$

Dan

$$I_{\text{tot}} = 1.000 \text{ mAh}$$

b. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel baterai atau modul surya akan meningkatkan Arus Listrik (Ampere) tetapi Tegangan (Voltage) output/keluarannya akan tetap sama. Rangkaian listrik paralel sumber arus searah dapat dilihat pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Rangkaian Paralel Baterai

Dari 4 buah baterai pada gambar diatas, tegangan yang dihasilkan dari rangkaian parallel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi *Current* atau



kapasitas arus listrik yang dihasilkan adalah 4.000 mAh (miliampere per jam) yaitu total dari semua kapasitas arus listrik pada baterai.

Secara matematis dapat dituliskan:

$$I_{\text{tot}} = I_{\text{bat1}} + I_{\text{bat2}} + I_{\text{bat3}} + I_{\text{bat4}} + \dots + I_n$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{bat1}} + V_{\text{bat2}} + V_{\text{bat3}} + V_{\text{bat4}} + \dots + V_n$$

Sehingga:

$$I_{\text{tot}} = 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh}$$

$$I_{\text{tot}} = 4.000\text{mAh}$$

Dan

$$V_{\text{tot}} = 1,5 \text{ Volt}$$

2.11 Perhitungan Baterai

2.11.1 Perhitungan Berapa Lama Baterai/Aki Dapat Membackup Beban dan Lamanya Waktu Pengisian Baterai/Aki

Lamanya baterai dapat memback-up beban dan lamanya waktu pengisian baterai/aki dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.12 Motor AC

Motor AC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (Alternating Current). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen Motor AC yang statis. Rotor merupakan komponen Motor AC yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya.

Motor listrik AC berfungsi untuk merubah energi listrik dari arus listrik AC menjadi energi mekanis. Energi mekanis yang terbangkitkan berupa energi putaran poros rotor motor listrik. Fungsi motor listrik ini merupakan kebalikan



dari generator AC yang berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik AC.

2.12.1 Prinsip kerja Motor AC⁷

Motor arus bolak-balik (Motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus bolak-balik (Listrik AC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik berupa putaran daripada rotor. Motor listrik arus bolak-balik dapat dibedakan atas beberapa jenis, Seper pada motor DC pada motor AC, arus dilewatkan melalui kumparan, menghasilkan torsi pada kumparan. Sejak saat itu bolak, motor akan berjalan lancar hanya pada frekuensi gelombang sinus. Hal ini disebut motor sinkron. Lebih umum adalah motor induksi, di mana arus listrik induksi dalam kumparan berputar daripada yang diberikan kepada mereka secara langsung.

2.12.2 Jenis-jenis Motor AC

1. Motor AC Sinkron

Motor sinkron adalah motor listrik AC, yang pada kondisi *steady*, kecepatan putaran rotornya tersinkronisasi atau sebanding dengan frekuensi gelombang arus AC. Jika kita kaitkan dengan rumus putaran rotor mesin AC di bawah ini, maka kecepatan rotor akan selalu sebanding dengan frekuensi listrik supply dan berbanding terbalik dengan jumlah kutub magnet.

2. Motor AC Tak Sinkron

Sesuai dengan prinsip kerja motor listrik AC, rotor motor haruslah sebuah material yang memiliki kutub magnet. Sehingga pada saat kumparan stator teraliri listrik AC dan menciptakan medan magnet putar, rotor magnet akan ikut berputar karena kutub magnet rotor terkunci oleh kutub magnet stator. Motor AC tak sinkron juga dikenal dengan nama motor induksi. Istilah tersebut digunakan

⁷ Zuriman Anthony, Mesin Listrik Arus Bolak-Balik Edisi Revisi, (Yogyakarta, : Penerbit ANDI, 2019), 126



karena untuk menciptakan kutub magnet rotor, sistem menggunakan induksi elektromagnetik dari medan magnet kumparan stator.

2.12.3 Macam-macam Motor Listrik AC berdasarkan jumlah fasa⁸

Motor listrik AC juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah fase sumber listrik AC yang digunakan. Seperti yang telah kita ketahui bersama, sumber listrik AC yang lazim digunakan ada dua macam yakni satu fasa dan tiga fasa. Listrik AC satu fasa memiliki satu saja gelombang sinusoidal tegangan AC, sedangkan listrik AC tiga fasa memiliki tiga gelombang sinusoidal tegangan listrik. Perbedaan paling utama antara motor listrik AC tiga fasa dengan satu fasa adalah terletak pada desain kumparan stator motor. Untuk lebih jelasnya, mari kita bahas satu per satu.

1. Motor Listrik Tiga Fasa

Motor listrik jenis ini adalah motor listrik yang dijalankan dengan suplay 3 fasa RST. Biasanya motor listrik 3 fasa berjenis motor kapasitor atau motor induksi yang akan dijelaskan setelah ini. memiliki 3 kutub saling memdorong sehingga menghasilkan putaran lebih bertenaga.

2. Motor listrik 1 fasa

Motor listrik 1 fasa ini adalah motor listrik yang dijalankan dengan suplay 1 fasa. Suplay 1 fasa adalah listrik pada rumah-rumah komersial bertegangan 220 V. Pada motor listrik 1 fasa motor dibagi menjadi 3 jenis motor. Yaitu: Motor induksi kapasitor, Motor Shaded Pole dan Motor Universal.

a) **Motor Kapasitor⁹**

Motor listrik 1 fasa kapasitor adalah jenis motor 1 fasa yang

⁸ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1, (Kupang: Rasibook, 2018), 29

⁹ Refdimal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017) hal 178



mengandalkan dua kumparan yaitu kumparan utama dan kumparan bantu. Kumparan utama biasanya memiliki ukuran yang lebih besar, dan kumparan bantu yang berukuran lebih kecil namun dengan jumlah lebih banyak. Motor kapasitor dilengkapi dengan kapasitor sebagai pembantunya.



Gambar 2.25 Motor Kapasitor

b) Motor Listrik 1 Fasa Shaded Pole

Motor shaded pole memiliki konstruksi yang sangat sederhana, pada kedua ujung stator (keren) terdapat dua kawat yang terpasang berfungsi sebagai kumparan. Pada shaded pole kumparan berbentuk seperti kumparan transformator, yaitu kumparan yang mengumpul.

c) Motor Listrik 1 fasa Universal

Motor universal merupakan motor listrik dengan dua tenaga sekaligus. Pertama tenaga yang dihasilkan dari kumparan stator dan kedua dari rotor yang juga dilengkapi dengan kumparan. Motor listrik jenis ini adalah motor listrik yang memiliki kekuatan paling besar dengan kecepatan paling tinggi namun dengan daya yang lebih besar pula.