

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid*

Pada suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau disebut PLTS adalah bekerja dengan dengan cara mengkonversi energi elektromagnetik yang dihasilkan oleh sinar matahari dan di konversi ke energi listrik. PLTS atau pembangkit tenaga surya ini sangat pas bila diaplikasikan di daerah jauh dari sumber listrik dan daerah lapang tanpa penghalang sinar matahari. Dengan demikian ada beberapa alasan dalam menggunakan teknologi PLTS.

- a. Penghasil energi tanpa biaya dan melimpah
- b. Penghasil energi di semua tempat tanpa perlu memindahkan
- c. Operasional yang dikeluarkan untuk perawatan PLTS bisa dibilang kecil
- d. Tanpa perlu operator ahli dalam pengoperasian
- e. Sangat ramah terhadap alam, tanpa mengeluarkan gas emisi yang dapat merusak lingkungan

Sistem PLTS yang tersebar relatif lebih murah sehingga banyak digunakan, tetapi PLTS sistem terpusat juga banyak diterapkan, PLTS diharapkan menghasilkan daya dan penggunaan energi listrik yang lebih efisien tanpa polusi serta dapat digunakan oleh masyarakat umum . PLTS dengan sistem tersebar dapat digunakan bila mana rumah penduduk atau keperluan saling tersebar dengan jarak yang jauh antara satu dengan yang lainnya.

Di Indonesia teknologi PLTS telah digunakan dan diaplikasikan mulai era 1970, keahlian mengenai sistem panel surya masih dalam tahap awal. Hal ini dikarenakan tenaga ahli yang masih minim, teknisi ahli, dan perusahaan bidang rekayasa yang ahli dalam merancang sistem, instalasi, dan pemeliharaan sistem..

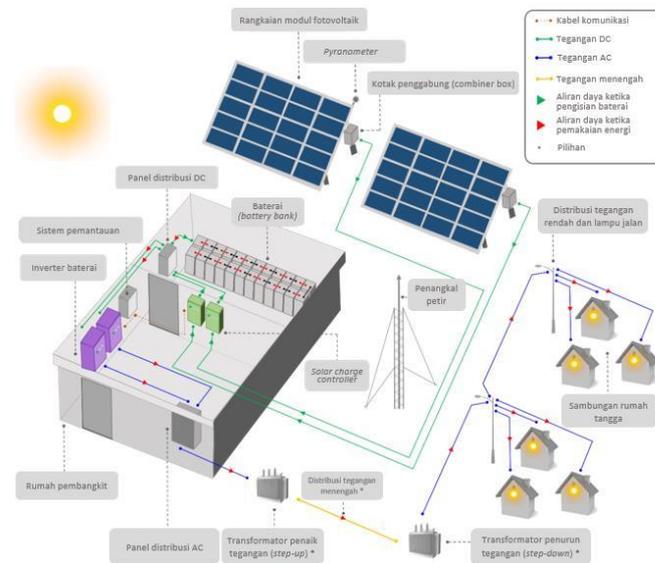
a) PLTS *Off-Grid*

PLTS off-grid dapat disebut juga sebagai PLTS yang dioperasikan secara mandiri, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem PLTS ini mandiri tanpa ada jaringan sumber listrik dari PLN. Di jenis PLTS ini memerlukan alat penyimpan daya listrik berupa baterai. Baterai ini digunakan untuk menampung energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya di siang hari dan kemudian energi yang didapat saat siang tersebut disimpan dalam baterai. Sehingga saat malam hari baterai akan mengirimkan daya listrik ke komponen yang membutuhkan.

Ada dua jenis rangkaian yang digunakan dalam sistem PLTS ini, sistem AC disebut *alternating current* dan sistem DC yang disebut *direct current*. Sistem AC menyambungkan sistem listrik dari panel surya ke komponen melalui *inverter* pada baterai. Sedangkan untuk sistem DC menyambungkan sistem listrik dari panel surya ke komponen tanpa perlu *inverter*.

Tetapi kedua sistem tersebut tetap memerlukan alat berupa SCC atau *Solar Charger Controller* saat menyalurkan energi listrik dari panel surya ke baterai. Dalam pemasangan panel surya ke konstruksi

sebaiknya diberikan kemiringan 10° untuk mekanisme pembersihan saat dikala cuaca hujan.

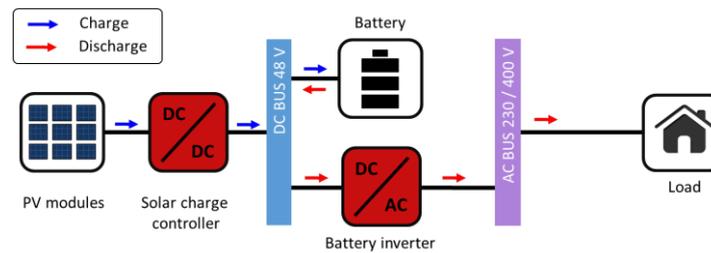


Gambar 2. 1 Rangkaian PLTS pada sistem *DC-coupling*
(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

b) Rangkaian *DC-coupling*

Rangkaian ini dikatakan memiliki penghubung DC jika rangkaian utamanya disambungkan secara DC. *Solar charge controller* (SCC) digunakan dalam menyalurkan energi listrik DC panel surya ke DC komponen, dan membatasi tegangan yang masuk dari panel surya ke tegangan yang dibutuhkan baterai.

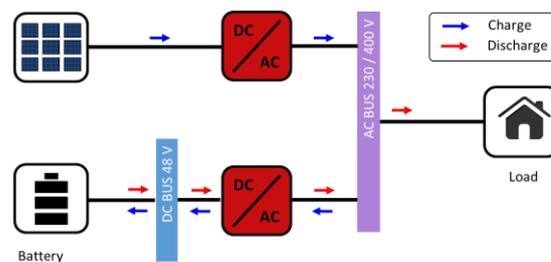
Seiring melonjaknya kebutuhan energi listrik sehingga beban yang digunakan melebihi daya yang dihasilkan oleh panel surya, maka perlu ditambahkan *inverter* pada baterai yang akan menyuplai energi listrik ke beban dan akan membatasi tegangan terendah baterai atau SoC pada baterai yang digunakan



Gambar 2. 2 konfigurasi sistem *DC-coupling*
(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

c) Rangkaian *AC-coupling*

Dalam rangkaian *AC-coupling* dan *DC-coupling* dibedakan dalam komponen rangkaian *inverter*-nya. Modul panel surya terhubung ke *inverter* sistem yang mengubah tegangan dari DC ke AC. Daya pada sistem rangkaian panel surya pada saat siang hari beban langsung dapat digunakan kemudian kelebihan bebannya pada waktu yang sama dapat difungsikan *charger* baterai melalui *inverter* pada baterai.



Gambar 2. 3 Skema Rangkaian *AC-coupling*
(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Dibandingkan dengan rangkaian DC, rangkaian AC ini bekerja secara bolak balik dapat dilihat seperti pada gambar. *Inverter* pada rangkaian ini digunakan untuk mengatur saat mengisi baterai, pada saat radiasi sinar matahari cukup dan daya terpenuhi dan jika baterai belum

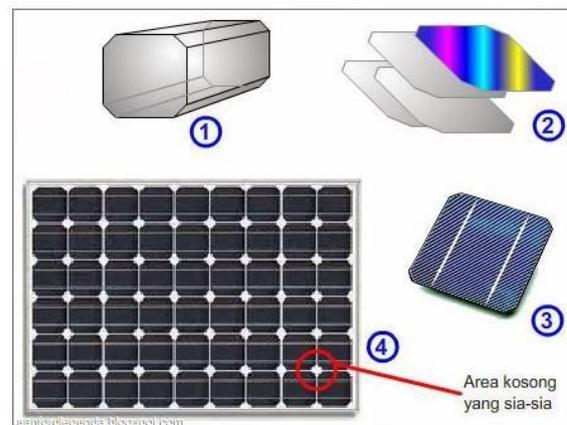
penuh terisi. Tetapi saat cuaca berawan atau malam hari *inverter* akan otomatis mengubah arus DC baterai ke arus AC komponen sehingga baterai dapat menyuplai kebutuhan daya pada komponen yang digunakan. Sistem tersebut sama dengan rangkaian AC mengubah daya baterai yang kecil ke daya listrik yang lebih besar dengan menggunakan *inverter* baterai. (Bagus Ramadhani, 2018)

2. Sistem Komponen Fisik Fotovoltaik

Jenis-jenis sel surya menurut Nelly Safitri, dkk (2019) dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis sesuai proses produksinya. Pada umumnya sel pada panel surya diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

a) *Monocrystalline*

Sel surya ini berbentuk kristal yang dibentuk sangat tipis dan diproduksi dari silikon murni. Karena bentuk potongan yang tipis sekali dan dikerjakan dengan teliti, sel surya ini bisa dibilang jenis sel surya yang memiliki efisien sangat tinggi antara 15% - 20%.



Gambar 2. 4 Bagian-bagian batangan kristal silikon
(Sumber gambar: Teknologi *Photovoltaic*)

Keterangan pada gambar 2.4 :

1. Satu bagian kristal silikon murni berbentuk batangan
2. Potongan-potongan kristal silikon
3. Lembaran sel surya jenis *monocrystalline*
4. Pada panel surya yang sudah jadi ini ada bintang yang kosong karena panel jenis ini potongan sel surya tidak kotak sempurna.

Jenis Sel surya *Monocrystalline* ini dikatakan juga dengan sel surya dengan sel tunggal. Sel surya ini juga dengan mudah dicari di pasaran. Sel ini memiliki ciri warna yang sangat hitam seperti warna kopi dan memiliki bentuk jajar genjang pada pembatas selnya. Dan karena warna yang hitam pekat, sel ini memiliki efisien yang sangat tinggi dalam menyerap energi dari sinar matahari.



Gambar 2. 5 Silikon *monocrystalline*
(Sumber gambar: Teknologi *Photovoltaic*)

Keunggulan dan kelemahan menggunakan sel surya jenis *monocrystalline* adalah:

- 1) Kelebihan menggunakan panel surya jenis *monocrystalline*
 - a. Efisiensi panel bisa mencapai 15-20%.

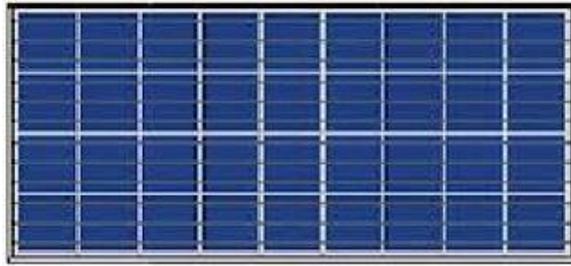
- b. Tidak perlu lahan yang luas dibandingkan sel surya lain karena efisiensi yang sangat tinggi.
- c. Panel surya ini relatif lebih awet dibandingkan dengan yang lain karena beberapa penjual memberikan garansi sampai 25 tahun.
- d. Panel surya jenis ini memiliki performa yang bagus dari jenis *polycrystalline* pada saat cuaca berawan, menjadikan sel surya jenis ini cocok digunakan pada tempat yang memiliki curah hujan tinggi.

2) Kekurangan dalam menggunakan panel *monocrystalline*

- a. Panel *Monocrystalline* memiliki harga yang tinggi dipasaran.
- b. Kinerja panel surya ini performanya akan berkurang saat suhu mengalami peningkatan yang signifikan. Tetapi keadaan tersebut lebih baik dibandingkan dengan panel jenis yang lain.
- c. Menghasilkan limbah yang banyak saat proses produksi dibandingkan dengan jenis lain

b) *Polycrystalline*

Panel ini bentuknya kota kecil-kecil, atau dikatakan kotak sempurna dibandingkan sel *monocrystalline*. Pembuatan sel ini dengan cara melebur sel kristal kemudian dicetak dengan bentuk kotak. Proses produksi panel ini tergolong lebih simpel dibandingkan dengan sel *monocrystalline*. Bentuk sel ini memiliki motif seperti potongan kaca.



Gambar 2. 6 Silikon *Polycrystalline*
(Sumber gambar: Teknologi *Photovoltaic*)

Kelebihan dalam memakai panel jenis *Polycrystalline* adalah:

- 1) Kelebihan memakai panel *Polycrystalline*
 - a. Menghasilkan sedikit limbah silikon saat proses produksi daripada jenis *monocrystalline* jadi harga lebih murah.
 - b. Pemakaian sel *polycrystalline* mempunyai kekurangan pada saat mentoleransi suhu panas dibandingkan memakai jenis *monocrystalline*. Kesimpulannya panel jenis ini performanya dibawah jenis *monocrystalline* saat terjadi cuaca ekstrime. Karena cuaca sangat berpengaruh pada sile surya maka dari itu masa pemakaian panel jenis ini lebih pendek.
- 2) Kelemahan dalam penggunaan *Polycrystalline*
 - a. Hasil efisiensi hanya diangka 13-16%. Dikarenakan kandungan silikon murni lebih sedikit, sel jenis *polycrystalline* ini dikatakan tidak lebih bagus dibanding *monocrystalline* dalam hal efisiensi.
 - b. Tidak terlalu memerlukan lahan yang luas karena efisiensi luas lebih bagus, panel jenis *monocrystalline* beroperasi lebih efisien dibandingkan dengan sel jenis *polycrystalline*.

c. Sel jenis *monocrystalline* memiliki tampilannya lebih bagus karena ada bintik kotak yang sama daripada jenis *polycrystalline* yang hanya berwarna biru saja.

c) **Panel Surya Fleksibel/*Thin Film Solar Cell* (TFSC)**

Panel surya fleksibel ini dibuat dengan menempelkan sel surya yang bentuknya tipis diatas lapisan dasar panel. Panel ini sangat tipis sekali, karena bentuknya mudah ditekuk atau fleksibel jadi panel ini memiliki bobot yang ringan. Panel ini memiliki nama lain TFPV (*Thin Film Photovoltaic*).



Gambar 2. 7 Panel fleksibel / TFPV (*Thin Film Solar Cell*)
(Sumber gambar: Teknologi *Photovoltaic*)

3. Baterai

Penyimpanan baterai menggunakan cara elektro-kimia adalah bentuk energi semi-teratur. Baterai primer tidak dapat dibalik — baterai tidak dapat diisi ulang dan dibuang setelah energi dikonsumsi. Baterai timbal-asam adalah jenis yang paling umum dan digunakan dalam sistem mobil dan cadangan. Efisiensi baterai sekunder biasanya 70 hingga 80% untuk siklus pulang-pergi .

a) *Lead–Acid Batteries*

Baterai ini disebut sebagai asam timbal yang diatur katup . Baterai timbal-asam juga tersedia dalam versi sel-sel yang disegel, dengan demikian elektrolit didalamnya tidak akan tumpah saat dipasang pada letak apa pun. Baterai sel-gel tidak dapat diisi atau dikosongkan dengan harga tinggi. Namun, keunggulan baterai sel-sel telah menyebabkannya menjadi pengganti yang umum untuk baterai yang kebanjiran.

Peningkatan pada baterai timbal-asam sel-gel adalah desain absorbed glass matt. Baterai AGM memiliki tingkat pengisian dan pengosongan yang terbatas karena aliran ion dalam elektrolit yang terbatas. Biaya baterai RUPS adalah dua atau tiga kali baterai timbal asam. Namun, perbaikan telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi, biaya lebih rendah, dan sekarang bersaing dengan baterai sel-sel.

State of charge adalah ukuran sisa kapasitas baterai. Baterai timbal-asam yang terisi penuh memiliki SG sekitar 1,28, tergantung pada suhu. Pengukuran pengisian dan pengosongan dengan faktor efisiensi C/ D yang tepat berdasarkan suhu baterai juga memberikan perkiraan SOC yang baik. Masa pakai baterai timbal-asam tergantung pada jumlah dan kedalaman pelepasan.

Jika baterai habis 80% dari kapasitas penuh, DOD adalah 80% dan SOC adalah 20%.

b) Nicad Batteries

Sel yang disegel berarti tidak ada masalah tumpahan atau pemasangan. Dua masalah dengan baterai NiCad membuatnya kurang populer. Kadmium adalah logam yang berbahaya bagi lingkungan dan pembuangannya dibatasi. Sel juga menunjukkan masalah memori, menyebabkan kapasitas berkurang sebelum mencapai usia yang diharapkan.

c) Lithium-Ion Batteries

Sel *Lithium-ion* adalah baterai yang lebih disukai untuk komputer dan elektronik, karena kapasitas kepadatan energinya yang tinggi. Lebih sedikit sel untuk tegangan yang diterapkan yang sama menurunkan biaya produksi. Namun, pelat harus lebih tebal untuk mempertahankan masa pakai yang memadai, yang meningkatkan biaya secara signifikan untuk baterai berkapasitas lebih besar. Baterai LI juga membutuhkan sirkuit pengisian daya yang rumit untuk mencegah kerusakan dengan pengisian yang berlebihan.

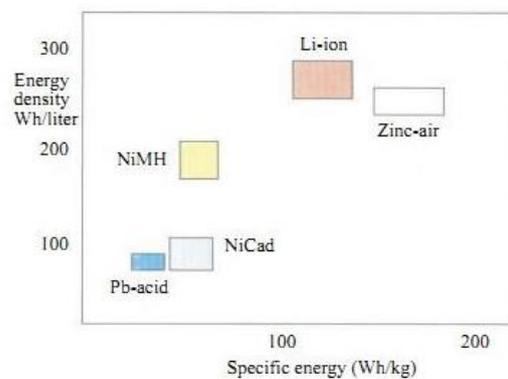
Tabel 2. 1 Perbandingan baterai lithium (5 = menguntungkan)

(Sumber Tabel: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

	Specific energy	Specific power	Life span	Safety	Performance	Cost
LCOO	5	3	3	3	4	4
LTO	3	4	5	5	5	2
LFP	3	4	5	5	4	4
NMCC	3	5	5	5	4	4
NCA	5	4	4	3	4	3
LMO	4	4	3	4	3	4

d) Nickel Metal Hydride Batteries

Jenis baterai *Nickel Metal Hydride Batteries* (NiMh) serupa dalam konstruksi dengan sel NiCad, kecuali untuk anoda logam hidrida. Baterai NiMh bias untuk aplikasi berdaya rendah, walaupun mereka debit tinggi, dan harus diisi secara teratur untuk mempertahankan kapasitas. NiMh juga memiliki kapasitas daya puncak yang buruk dan rentan terhadap kerusakan pengisian daya yang berlebihan.



Gambar 2. 8 Perbandingan energi spesifik.

(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

e) Kapasitas Baterai

Daya tampung yang dimiliki oleh baterai saat menampung energi listrik dan menyalurkan listrik ke komponen pengguna baterai disebut dengan kapasitas baterai. Daya tampung baterai, dipengaruhi beberapa hal yaitu reaksi plat negatif dan plat positif yang aktif pada sel-sel baterai, besarnya sel, jumlah dan tebal plat positif negatif, elektrolit yang digunakan akan berpengaruh pada lama pemakaian baterai

Daya tampung sebuah baterai memiliki satuan (Ah) *ampere* jam, contohnya baterai memiliki kapasitas 6 Ah 12 Volt dapat dikatakan idealnya menghasilkan arus sebesar 3 *ampere* digunakan selama 2 jam.

Besar kecilnya tegangan pada baterai dipengaruhi besar kecilnya komponen elemen yang menyusun baterai di dalamnya. Namun, arus dalam baterai dapat mengalir jika ada konduktor dan beban yang terhubung ke baterai. Kemampuan suatu baterai dalam menyalurkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu dinyatakan dalam Ah (*Ampere – jam*), dapat dikatakan juga dengan istilah kapasitas baterai.

Dapat dikatakan bahwa baterai mampu mengeluarkan arus relatif kecil untuk waktu yang lama tetapi jika baterai mengeluarkan arus yang besar maka waktunya akan singkat. Pada saat pengisian baterai (*charging*), akan terjadi proses akumulasi muatan listrik.

Besarnya energi listrik yang disimpan dalam baterai dikatakan juga dengan kapasitas baterai dengan satuan Ah (*Ampere-hour*), muatan ini akan salurkan untuk mensuplai beban ke penghantar atau beban. Kapasitas baterai dirumuskan seperti berikut:

$$Ah = I (\text{ampere}) \times T (\text{hours})$$

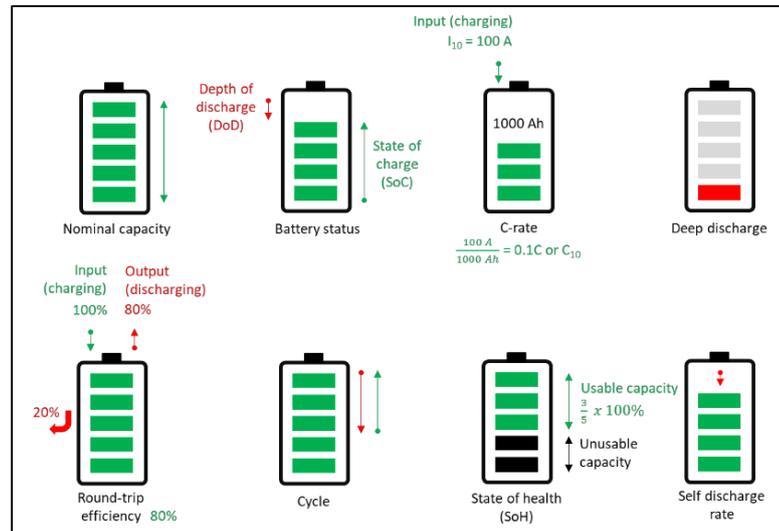
Dimana :

Ah = kapasitas pada baterai

I = kuat arus (ampere)

T = waktu (jam)

f) Istilah Dalam Baterai



Gambar 2. 9 Perbandingan energi spesifik.

(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Berikut merupakan istilah – istilah pada baterai :

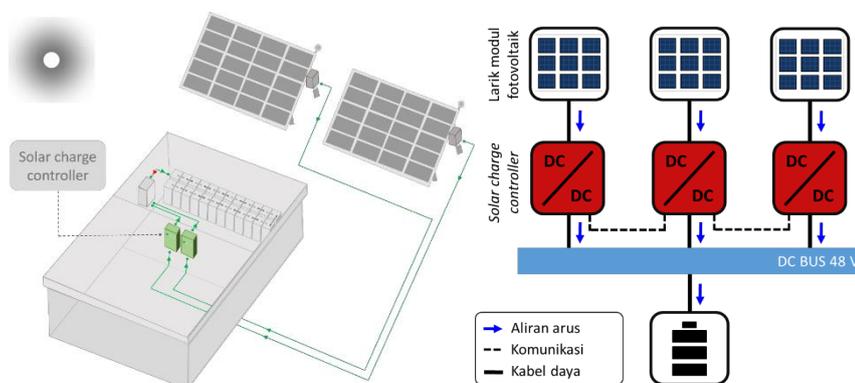
- 1) Kapasitas nominal (C) adalah kapasitas pengisian yang dapat disimpan di dalam baterai. Kapasitas nominal satuannya adalah Ah (*Ampere-hour*), biasanya dapat dikonversi ke satuan *Watt-jam* atau (Wh).
- 2) *State of charge* (SoC) merupakan kondisi pengisian pada baterai atau rasio antara kapasitas sisa dan kapasitas nominal yang dinyatakan dalam persentase (%).
- 3) *Depth of discharge* (DoD) merupakan total kapasitas baterai yang dapat digunakan. Berikut merupakan berbanding terbalik dengan (SoC) *state of charge*. Dapat dicontohkan untuk 1500 siklus dengan DoD 80%, artinya penggunaan baterai selama 1500 kali dan tidak melampaui 80% kapasitas baterai.

- 4) *C-rate* merupakan proses *charging* ataupun proses penggunaan energi listrik yang ada pada baterai atau dikatakan kapasitas baterai dibagi waktu pemakaian. Misalnya: tingkat konsumsi C20 (I20) pada 2000 Ah kemudian 2000/10 atau 200 A.
- 5) *Deep discharge* merupakan kriteria dari SoC yang tegangannya kurang dari 20% atau pemakaian baterai saat kurang dari *end-of-discharge* batas bawah pemakaian.
- 6) *Overcharge* merupakan pengisian dengan arus yang berlebihan pada baterai . Overcharge dapat menyebabkan kerusakan pada baterai.
- 7) Siklus/*Cycle* merupakan proses pengisian dan pemakaian satu kali. Idealnya, baterai memiliki nilai nominal 2000 siklus setara penggunaan 5 tahun.
- 8) *State of health* (SoH) merupakan performa sebuah baterai yang dinyatakan dalam persentase (%)

4. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller (SCC) dengan nama lain *battery charge regulator* atau (BCR) merupakan salah satu alat elektronik pendukung pada PLTS yang difungsikan dalam mengoptimalkan saat mengisi baterai dari sumber panel surya. Komponen ini bekerja dengan mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dan berdasarkan status pengisian baterai (SoC, state of charge). SCC

juga dapat dipasang secara paralel untuk memenuhi arus saat mengisi baterai dengan kapasitas lebih besar.



Gambar 2. 10 Pemasangan SCC *solar charge controller*
(Sumber gambar: Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Berikut kegunaan SCC (*solar charge controller*) :

- a) Mengkonversi sumber tegangan DC dari tegangan tinggi pada jalur panel surya ke arus baterai yang lebih kecil (sistem 12 - 48 VDC).
- b) Menjaga kumpulan baterai jika terjadi pengisian daya yang berlebihan dengan mengurangi arus saat mengisi daya dari panel surya saat baterai terisi penuh. Tergantung dari teknologi baterainya, jika baterai diisi daya secara berlebihan atau disebut (*overcharge*) bisa berakibat adanya gas beracun hingga meledaknya baterai.
- c) Mengoptimalkan pengisian energi listrik dari panel surya ke baterai memakai cara *Maximum Power Point Tracker Algorithm* disebut juga (MPPT)
- d) Menghalangi jika ada aliran balik dari kumpulan baterai ke panel surya pada saat gelap dan cuaca mendung.

- e) Memeriksa dan pantau tegangan, arus, dan energi yang ditangkap dari susunan panel surya dan dikirimkan pada baterai.

5. Pompa Submersible

Sama dengan julukannya, pompa celup/*submersible* didesain untuk beroperasi pada satu kesatuan, komponen tersebut merupakan gabungan antara motor dan pompa, yang sepenuhnya terendam dalam cairan atau media yang akan dipompa. Pompa submersible jenis ini memiliki motor yang terbungkus rapat dengan badan pompa. Pompa terendam ini bekerja dengan cara menekan, bukan menarik cairan selama proses pompa bekerja. Proses dikatakan lebih efisien dikarenakan bagian pompa sepenuhnya terendam pada saat beroperasi, sehingga tidak perlu mengeluarkan energi untuk menghisap cairan ke dalam pompa. Metode ini dapat menhemat biaya dalam memompa sejumlah besar cairan dari sumur yang dalam. Selain pengertian diatas, Dalam buku Gabor Takacs (2009) yang berjudul *Electrical Submersible Pumps Manual* juga menerangkan beberapa keunggulan dan kekurangan pada pompa jenis *submersible* sebagai berikut.

a) Keuntungan Pompa Submersible

- 1) Priming: Pompa dapat melakukan *self pri priming* karena pompa bekerja di dalam cairan tersebut yang akan dipompa
- 2) Kavitasi: Posisi pompa yang didalam cairan mengakibatkan pompa sulit mengalami kavitasi.

- 3) Efisiensi: karena posisi pompa terendam ini lebih sedikit mengeluarkan energi karena tidak perlu menghisap cairan.
- 4) Kebisingan: pompa ini tergolong tidak mengeluarkan suara dan bisa disebut juga *silent*.

b) Kerugian Pompa Submersible

Kekurangan penggunaan pompa celup ini:

- 1) Akses perawatan: karena kebanyakan jenis pompa celup ini posisi tenggelam sehingga dilakukan pemantauan saat proses perawatan.
- 2) Kratan/korosi: karena tenggelam dapat dengan mudah korosi jika dipaliskasikan ke caran yang memiliki kandungan garam tinggi.

c) Aplikasi Pompa Celup/Submersible

Pompa celup dapat diaplikasikan seperti berikut ini:

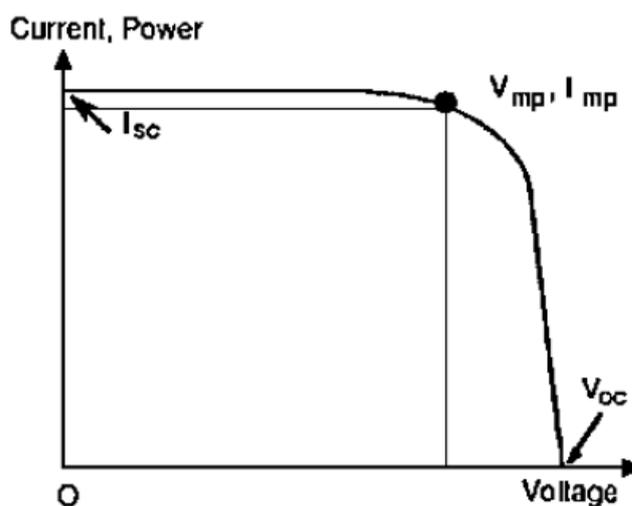
- 1) Pengolahan Air Limbah: Pompa ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah industri bahkan tambang pasir.
- 2) Pengolahan limbah: Dapat memompa limbah dengan katagori padat dan berlumpur.
- 3) Pemompaan genangan: Memompa genangan air di daerah yang akan dilakukan pekerjaan.
- 4) Pengerukan: Dapat digunakan untuk memompa atau mengeruk pasir dan lumpur di pelabuhan
- 5) Wells: Digunakan di sumur .

6. Prosedur Untuk Merancang System Panel Surya

Perancangan mekanik adalah perancangan dalam berbagai hal dan sistem dari suatu mesin mekanik alami, produk, struktur dan sistem instrument (Shigley,2001). Kegiatan perancangan tidak dapat dipisahkan dalam pembuatan suatu mesin, perancangan dilakukan sebelum mesin dibuat, dengan tahapan ini maka perancang akan mendapatkan informasi tentang kesimpulan dari mesin yang akan dibuat sehingga dapat mempermudah tahap pembuatan.

a) Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Hasil perhitungan efisiensi dari panel surya didapatkan dengan membaca diagram V-I kemudian akan di peroleh data dari spesifikasi panel surya contohnya V_{oc} (tegangan tanpa beban), I_{sc} (arus pada hubung singkat), faktor pengisian (FF), dan efisiensi (η).



Gambar 2. 11 Kurva karakteristik V-I
(Sumber gambar: Teknologi *Photovoltaic*)

Grafik V-I diatas diartikan bahwa sumbu horizontal adalah merupakan tegangan kemudian sumbu vertikal merupakan arus. Grafik tersebut diukur pada saat sinar matahari maksimum atau cuaca tersebut saat suhu yang menerangi panel surya pada 25° C.

Dimana :

1. Tegangan Pada Intensitas Maksimum (V_{mp})
2. Arus Pada Intensitas Maksimum (I_{mp}) P_{max}
3. Tegangan Pada Saat Tanpa Beban (V_{oc})
4. Arus Pada Saat Hubung Singkat (I_{sc})

1) Nilai FF/*Fill Factor*

Standar *fill factor* pada panel surya adalah 0,7 – 0,85. Jika efisiensi panel surya semakin tinggi maka nilai FF/*fill factor* juga harus tinggi. Rumus mencari FF ditunjukkan dibawah ini persamaan 2.1 :

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

2) Daya *output*

Rumus menghitung daya keluaran seperti persamaan 2.2:

$$P_{out} = V \times I \quad (2.2)$$

Dimana :

V = Tegangan Keluar (Volt)

I = Arus Keluar (Ampere)

3) Menghitung efisiensi pada panel surya

Perhitungan efisiensi pada panel surya sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{G \times A} \quad (2.3)$$

Dimana:

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

G = Intensitas Matahari (Watt/m²)

A = Luasan permukaan panel surya (m²)

b) Perencanaan Rangkaian Panel Surya

Dalam merancang panel surya dapat mengikuti urutan dibawah ini:

1) Menghitung beban pemakaian

Dalam mencari total beban pemakaian dapat memakai rumus dibawah ini:

$$\text{Beban penggunaan} = \text{Daya pakai} \times \text{Waktu pakai} \quad (2.4)$$

2) Menhitung kapasitas panel yang digunakan

Dalam menghitung kapasitas panel yang akan digunakan dapat memakai rumus:

$$\text{Kapasitas panelsurya} = \frac{\text{Total daya penggunaan}}{\text{Insolasi panel surya perhari}} \quad (2.5)$$

3) Menghitung kapasitas baterai

Dalam menghitung kapasitas panel yang akan digunakan dapat memakai rumus:

$$\text{Kapasitas (Ah)} = \frac{\text{Total daya}}{\text{Tegangan Alat}} \quad (2.6)$$

c) Perhitungan Kebutuhan Air

- 1) Menentukan volume

Rumus yang digunakan menentukan volume adalah:

$$\text{Volume (V)} = \text{Luas alas} \times \text{tinggi} \quad (2.7)$$

- 2) Menentukan Debit

Rumus yang digunakan debit adalah:

$$\text{Debit (Q)} = \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Waktu (t)}} \quad (2.8)$$

- 3) Menhitung Daya Air

$$P_f = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (2.9)$$

γ = masa jenis fluida (kN/m^3)

Q = Debit pompa (m^3/s)

H = Head operasi pompa (m)

P_f = Daya Air (kW)

- 4) Menhitung Daya Pompa

$$P = \frac{P_f}{\eta_p} \quad (2.10)$$

P = Daya pompa (kW)

η_p = efisiensi pada pompa

P_f = Daya air (kW)

d) Perhitungan Keseimbangan Pada Alat Penyiram Bawang Merah

Beberapa persoalan pada benda-benda terapung adalah persoalan mengenai keseimbangan dua gaya berat benda benda yang terapung serta resultan gaya tekan dari benda cair ke luasan suatu benda terapung tersebut (M. Orianto). Maka perlu diperhitungkan keseimbangan alat pada penyiram baang ini. Dalam merancang

keseimbangan pada alat penyiram bawang merah menggunakan formula yaitu : $\sum M = 0$ (2.11)

e) Perhitungan Gaya Apung Pada Alat Penyiram Bawang Merah

Menurut Ridwan (2010) gaya apung adalah gaya resultan yang diberikan pada suatu benda oleh fluida statis di mana benda tersebut tenggelam atau mengambang. Dalam konsepnya gaya apung selalu bekerja vertikal ke atas. Tidak akan terjadi jika permukaan horizontal dari resultan karena proyeksi benda terendam atau bagian benda terapung yang tenggelam pada bidang vertikal selalu nol.

Untuk menghitung gaya apung di alat penyiram bawang merah ini menggunakan rumus yaitu : $F_A = \rho c \times Vc \times g$ (2.12)

Dimana:

F_A = Gaya Apung (N)

ρc = Masa Jenis Fluida (kg/m^3)

A = Volume Benda Tercelup (m^3)

G = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

B. Tinjauan Pustaka

1. Bella Sri R Tarigan (2017) dalam penelitian ini yang berjudul Rancang Bangun Sistem Pengecasan Baterai Dari *Solar Cell* Memanfaatkan Stirling Engine Berbasis Atmega328 menjelaskan bagaimana cara kerja pengisian baterai jenis akumulator menggunakan panel surya.
2. Desy Harianti (2022) dengan penelitian yang berjudul Evaluasi Sistem Pemilihan Spesifikasi Pompa Celup (Submersible Pump) Milik PDAM

Tirtauli Di Kecamatan Siantar Selatan Kota Pematangsiantar Tahun 2018 menjelaskan bagaimana cara kerja sistem pompa sumersible dan bagaimana mengalisa perhitungan debit pompa yang digunakan. Dengan penelitian tersebut dapat mengevaluasi pemilihan spesifikasi pompa yang akan digunakan.

3. Fadwah Maghfurah, Windarta, dan Munandar (2018) penelitian ini berjudul Analisa Unjuk Kerja Akumulator Dan Biaya Pada Alat Penyiram Tanaman Bawang Merah, menerangkan bagaimana perancangan desain penyiram bawang merah menggunakan panel surya sebagai sumber energi.
4. Ikhwan Lulu'ul Fadly (2020) penelitian dengan judul Pemanfaatan Energi Alternatif (Solar Cell) Pada Sistem Penerangan Rumah Tangga. Disini penulis menuliskan beberapa manfaat dalam penggunaan panel surya sebagai sumber energi, salah satunya yaitu untuk menghitung efisiensi energi sebesar 82,15 % setiap harinya.
5. Syarif Hidayat (2015) dengan judul penelitian Pengisi Baterai Portable Dengan Menggunakan Sel Surya, dapat disimpulkan untuk melakukan pengujian pengisian baterai menggunakan panel surya sebagai sumber energi dipengaruhi faktor intensitas matahari, jika intensitas matahari semakin tinggi, maka besar juga daya hasil panel surya.
6. Zian Iqtimal, Ira Devi Sara dan Syahrizal (2018) pada hasil penelitiannya yang berjudul Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Listrik Pompa Air menerangkan tentang langkah-langkah dalam perhitungan efisiensi menggunakan panel surya.