



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Terbarukan (*Renewable Energy*)

Energi terbarukan merupakan (sumber) energi yang terdapat di alam (air, matahari, udara, dan bumi) yang secara langsung dapat dimanfaatkan dengan bebas dalam jumlah yang relatif besar untuk menghasilkan energi siap pakai seperti listrik. Energi terbarukan terdapat di alam harus diproses terlebih dahulu melalui penggunaan teknologi untuk mengkonversi atau mentransformasi energi dimaksud agar dapat menghasilkan energi listrik atau panas. Energi terbarukan juga dapat diklasifikasikan ke dalam dua bentuk yakni energi yang mudah dibakar/terbakar dan energi yang tidak mudah dibakar/terbakar. Artinya, energi terbarukan tidak hanya menghasilkan tenaga listrik semata tetapi juga dapat diproses/dikonversi untuk menghasilkan panas.

Energi terbarukan yang tidak mudah dibakar/terbakar termasuk energi listrik dari sumber daya air seperti pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Sedangkan gelombang atau arus laut juga termasuk salah satu energi terbarukan yang noncombustible, di samping geothermal, angin, matahari. Energi terbarukan yang mudah dibakar/terbakar adalah seperti biofuels dan renewable municipal waste. Biofuels sendiri dapat dihasilkan dari sumber energi biomassa. Dari aspek ketersediaan, maka ketersediaan energi terbarukan bersifat tak terbatas dan bisa dimanfaatkan secara terus menerus. <sup>[6]</sup>

Energi baru dan yang terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. <sup>[13]</sup>



## 2.2 Sel Surya

Sel surya atau disebut juga sel fotovoltaik akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m<sup>2</sup> / hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Dalam merencanakan pembangunan PLTS terlebih dahulu diperhitungkan beban dari PLTS sehingga kita dapat menghitung kapasitas listrik tenaga surya yang akan dibangun. Berikut contoh perhitungan sederhana kebutuhan daya yang digunakan, kapasitas panel, banyaknya panel yang digunakan dan kebutuhan baterai dengan daya menyimpannya. Rumus daya listrik adalah <sup>[13]</sup>

$$P \text{ (watt)} = V \text{ (volt)} \times I \text{ (A)} \dots\dots\dots(1)$$

Instalasi pembangkit listrik dengan tenaga surya membutuhkan perencanaan mengenai kebutuhan daya :

- a. Jumlah Pemakaian
- b. Jumlah Panel surya/solar cell
- c. Jumlah baterai

## 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (photovoltaic) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Unjuk kerja PLTS sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor lingkungan, faktor temperatur PV modul, faktor kondisi cuaca lingkungan dan faktor Intensitas cahaya matahari. Sel Surya yang mendapat penyinaran sinar matahari merupakan salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan. Dalam keadaan puncak atau saat posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan sel surya seluas satu meter persegi akan mampu menghasilkan energi listrik 900 hingga 1000 watt.



Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC melalui inverter apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya, dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain), baik dengan metode desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). PLTS merupakan sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi yang tidak ada habisnya, selain itu PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan gas buangan atau limbah. <sup>[10]</sup>

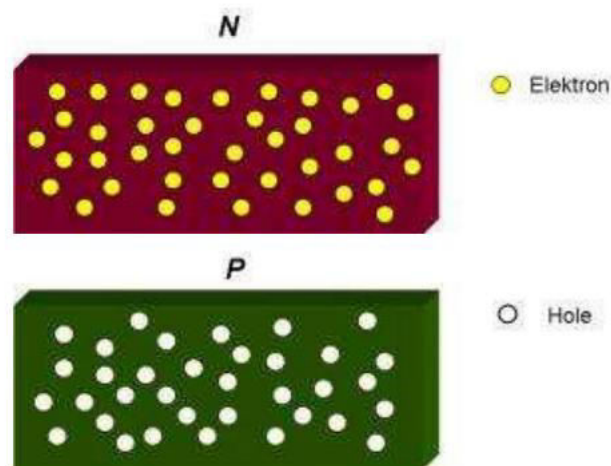
#### **2.4 Panel Surya**

Panel surya merupakan komponen utama yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik DC. Sistem DC disebut juga dengan arus searah dikarenakan hanya terdiri dari polaritas positif (+) dan negatif (-). Secara prinsip, panel surya terdiri dari beberapa sel fotovoltaik yang disambung secara elektrik sehingga menghasilkan arus DC sesuai spesifikasi output. Sel-sel fotovoltaik tersebut dapat disusun secara seri untuk menaikkan tegangan output, paralel untuk meningkatkan arus keluaran ataupun kombinasi keduanya yaitu seri-paralel. Satuan kapasitas panel surya dinyatakan dalam *Watt Peak* (WP) yang merupakan daya puncak nominal atau daya listrik maksimum dari panel surya yang diukur pada kondisi operasi standar. <sup>[15]</sup>

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang



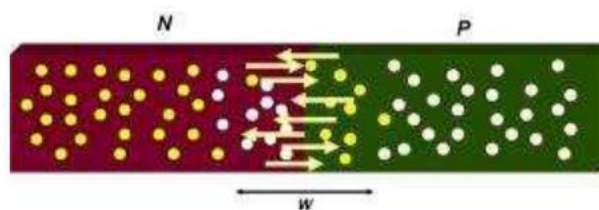
memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, ( $n =$  negatif). Sedangkan semikonduktor jenis  $p$  memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan  $p$  ( $p =$  positif) karena kelebihan muatan positif. Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktivitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor  $n$  dan  $p$  ini jika disatukan akan



membentuk sambungan  $p$ - $n$  atau dioda  $p$ - $n$ . Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (metallurgical junction) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

Gambar 2.1 Semikonduktor jenis  $p$  dan  $n$  sebelum disambung

Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor  $n$  menuju semikonduktor

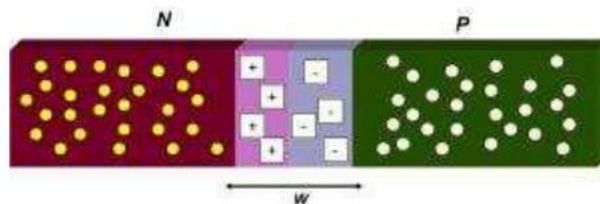




p, dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.

Gambar 2.2 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor

Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p



akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

Gambar 2.3 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (depletion region) ditandai dengan huruf W. Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (minority charge carriers) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan



medan listrik E. Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi.<sup>[13]</sup> Secara umum panel surya terdiri dari tiga jenis yaitu jenis monokristal, polikristal, dan *thin film*

#### 2.4.1 Monokristal

Monokristal (*Mono-crystalline*), merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk



penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.<sup>[5]</sup>

Gambar 2.4 Panel surya jenis monokristal

Panel surya jenis monokristal memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihan dari panel surya jenis monocrystalline adalah tingkat efisiensi konversi sinar matahari menjadi energi listrik dari 15% hingga 20%, panel surya *monocrystalline* memerlukan tempat yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis yang lainnya, memiliki umur pakai yang lama dan banyak dari pabrikan pembuat panel surya monocrystalline memberi

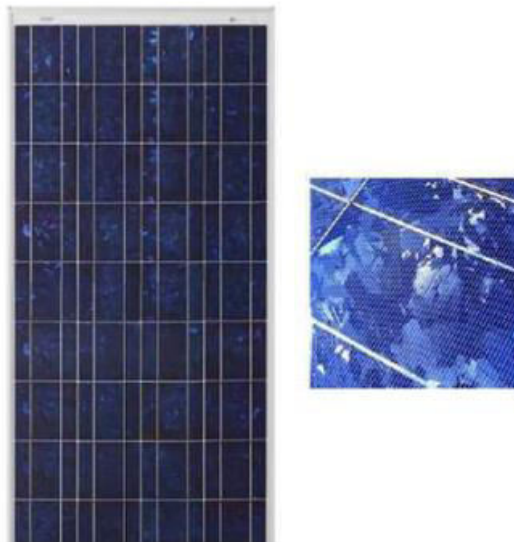


garansi hingga 25 tahun umur pemakaian, dan mempunyai performa yang lebih baik sehingga sangat tepat bila digunakan pada daerah yang sering mendung/hujan.

Sedangkan kekurangan dari panel surya jenis monocrystalline adalah harganya yang mahal sehingga biaya investasi untuk pembuatan listrik tenaga surya menjadi lebih besar, kinerja dapat menurun pada saat terjadi cuaca panas yang ekstrim, dan banyak limbah silikon yang terbuang pada saat proses pembuatan panel surya. <sup>[16]</sup>

#### **2.4.2 Polikristal**

Polikristal (Poly-Crystalline), merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung



lebih rendah. <sup>[5]</sup>



Gambar 2.5 Modul Fotovoltaik jenis *polycrystalline*

Panel surya jenis polikristal memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan panel surya jenis polikristal adalah harganya yang murah dibandingkan jenis monokristal, dan mempunyai nilai estetika yang lebih baik dengan warna biru cerah.

Sedangkan kekurangan dari panel surya jenis polikristal adalah hanya memiliki nilai efisiensi 13% hingga 16% dalam merubah sinar matahari menjadi listrik, memerlukan ruang yang lebih besar dalam instalasi/penempatannya, kinerja dapat menurun pada saat terjadi cuaca panas yang ekstrim. <sup>[16]</sup>

#### **4.2.3 Thin Film**

*Thin Film Photovoltaic*, merupakan Panel Surya ( dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam cuaca yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain. <sup>[5]</sup>





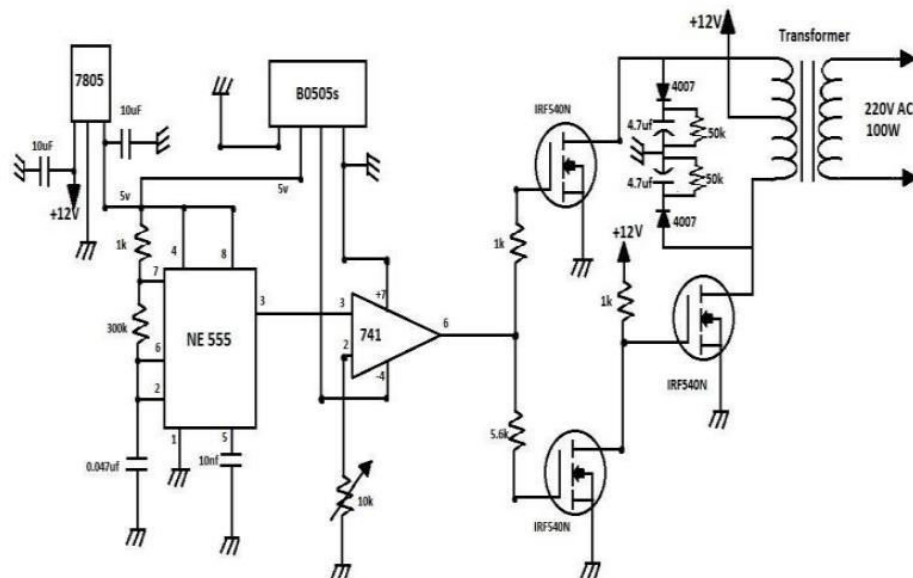
Gambar 2.6 Panel surya jenis *thin film*

Panel surya jenis *thin film* memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan panel surya *thin film* adalah harganya relatif lebih murah, penggunaan material yang sedikit, ringan dan fleksibel, Cocok untuk digunakan dalam kondisi pencahayaan yang menyebar dan lemah. tahan terhadap suhu yang relatif tinggi, kurang rentan terhadap kotoran karena tanpa bingkai.

Selain dari kelebihan, panel surya jenis *thin film* juga memiliki kekurangan seperti efisiensi lebih rendah, degradasi awal yang intens, instalasi sulit, kurang stabil, umur penggunaan yang lebih pendek, membutuhkan area yang lebih luas untuk mencapai kinerja yang sama seperti panel surya monokristal dan polikristal.<sup>[3]</sup>

## 2.5 Inverter

Inverter adalah rangkaian peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah sistem tegangan searah (DC) menjadi sistem tegangan keluaran arus bolak—balik (AC) dimana nilai tegangan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan sistem. Cara kerja inverter 12V ke 220V dapat dilihat pada

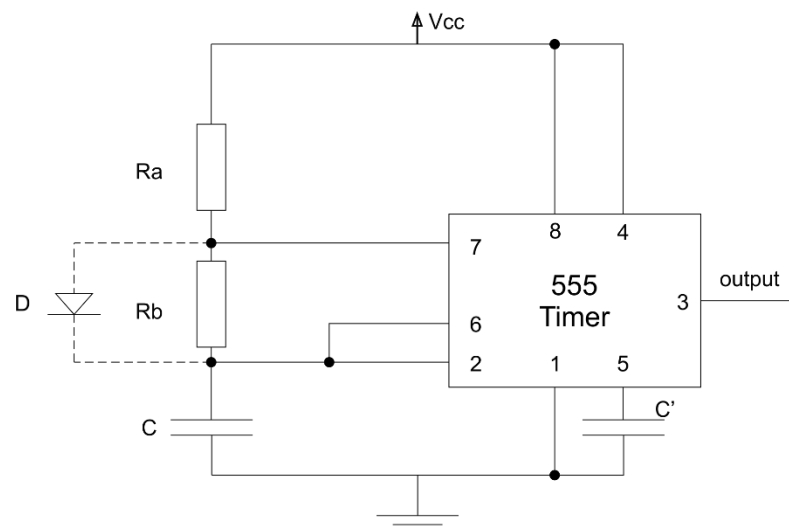


gambar 2.7.



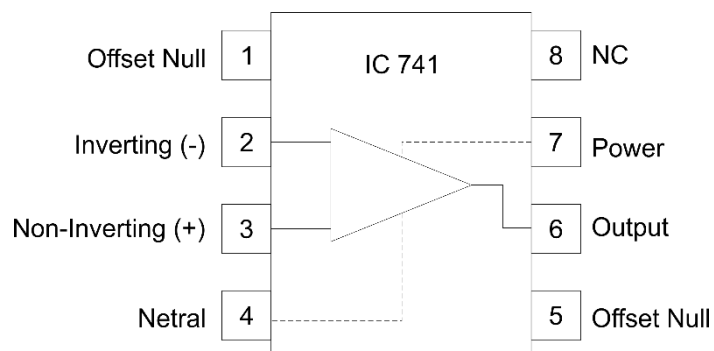
Gambar 2.7 Rangkaian inverter 12V ke 220V

Sumber yang digunakan adalah sumber DC 12 volt (100W dan 8.3A). Sumber tegangan diatur oleh IC: 7805 untuk mensuplai 5 volt untuk mensuplai semua IC. Transformator 220V/12V dipilih untuk merancang sebuah inverter. Dua buah MOSFET digunakan sebagai switch. MOSFET ketiga digunakan untuk membalikkan pulsa masukan. Timer NE 555 digunakan untuk menghasilkan switching pulsa. Timer NE 555 menghasilkan sinyal pulsa untuk memicu sakelar MOSFET. Rangkaian komparator digunakan untuk membuat pulsa ini lebih kuat untuk switching switch MOSFET secara akurat. <sup>[19]</sup>



Gambar 2.8 Gambar Timer NE 555

IC 741 digunakan untuk memberikan perintah pindah switch agar dapat memberikan pulsa logika untuk memicu dua sakelar bekerja bergantian





secara jelas. <sup>[19]</sup>

### Gambar 2.9 Gambar IC 741

Terdapat beberapa jenis inverter berdasarkan konfigurasi sistem PLTS off-grid yang akan didesain yaitu,

a) DC-AC Inverter

DC-AC Inverter digunakan untuk sistem Off-grid DC-Coupling Inverter daya DC-AC merupakan alat elektronik yang berfungsi mengubah sistem tegangan DC dari keluaran modul PV atau baterai menjadi sistem tegangan AC. Pengubah sistem tegangan ini penting, karena peralatan listrik secara umum memerlukan suplai tegangan AC.

b) String Inverter

String inverter digunakan untuk sistem Off-grid AC-Coupling PV String Inverter adalah unit alat yang berfungsi untuk merubah input tegangan DC langsung dari modul PV, menjadi output tegangan AC. Unit ini beroperasinya harus parallel dengan sumber tegangan AC lainnya, yaitu output dari string inverter di-interkoneksi-kan dengan sistem tegangan AC yang berasal dari pembangkit lainnya, seperti listrik diesel genset, atau (Bi-directional) Battery Inverter. Karena kemampuannya untuk beroperasi parallel pada tegangan AC, maka sistem PLTS ini memiliki keuntungan, yaitu bila kedepannya hendak diubah menjadi sistem on-grid tidak memerlukan perubahan yang berarti, karena tegangan dari grid PLN bisa langsung diinterkoneksi pada jaringan AC-Coupling yang sudah ada.

Dengan adanya tambahan daya listrik dari output String Inverter akan mengurangi beban bagi pembangkit lainnya, sehingga bila pembangkit tersebut berupa diesel genset, maka konsumsi BBM diesel akan lebih hemat. String Inverter biasanya juga dilengkapi fitur MPPT, agar output daya sistem PLTS selalu pada posisi maksimal mengikuti iradiasi matahari. Akan tetapi untuk mencegah terjadinya kondisi reverse power pada diesel genset, yaitu saat konsumsi daya beban lebih kecil dari daya output sistem



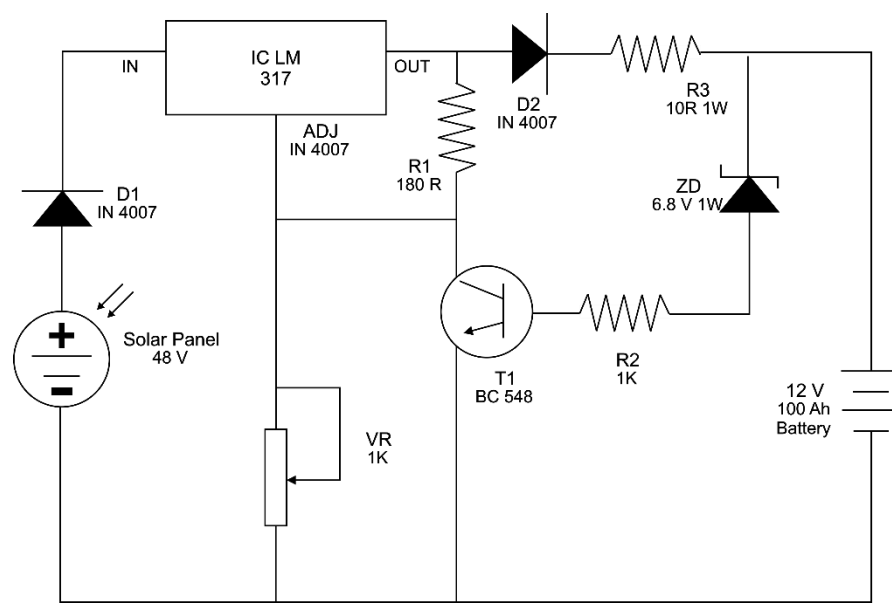
PLTS, maka string inverter dikontrol outputnya sesuai kebutuhan beban. Akan tetapi bila dalam sistem PLTS ini juga terdapat Bidirectional Battery Inverter, maka kelebihan beban tersebut bisa digunakan untuk charging battery.

### c) Battery Inverter

*Battery Inverter* untuk sistem Off-Grid AC-Coupling Battery Inverter adalah unit peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC dari baterai menjadi tegangan output AC pada saat proses discharge, dan sebaliknya untuk mengubah tegangan input AC dari grid menjadi tegangan output DC pada saat proses charging. Karena sifatnya yang bisa bolak-balik ini, maka battery inverter pada sistem ini disebut juga sebagai Bidirectional Battery Inverter. [8]

## 2.6 Solar Charge Controller (SCC)

Pada waktu solar panel mendapatkan energy dari cahaya matahari di siang hari, rangkaian *charger controller* ini otomatis bekerja dan mengisi (*charge*) baterai dan menjaga tegangan baterai agar tetap stabil. Bila kita menggunakan baterai 12V, maka rangkaian ini akan menjaga agar tegangan charger 12 V , tegangan *charger* yang di butuhkan antara 13,2 – 13,4 volt dan bila sudah mencapai tegangan tersebut, rangkaian ini otomatis akan menghentikan proses pengisian baterai tersebut. Sebaliknya apabila tegangan baterai turun / *drop* hingga 11 volt , maka *controller* akan memutus tegangan sehingga *battery* tidak sampai habis. Secara keseluruhan Fungsi dari *Controller* ini yaitu dapat menjaga agar battery tidak kelebihan (*over charger*) dan kehabisan tegangan (*under charger*) dengan begitu maka

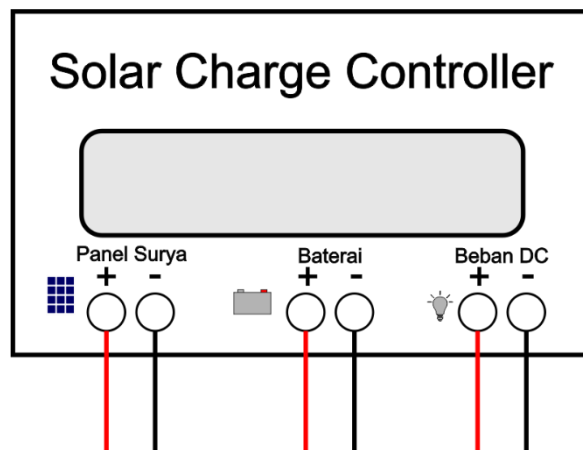




umur dari baterai akan bertambah lama. <sup>[15]</sup>

Gambar 2.10 Rangkaian *solar charge controller*

Cara kerja dari *Solar Charge Controller* Pengisi baterai memiliki voltase dan regulator sebagai pengamanan jika terjadi kelebihan tegangan. Rangkaian ini menggunakan panel surya 48 volt dan variabel voltage regulator IC LM 317. Solar panel terdiri dari sel 48 volt. 48 volt DC dihasilkan dari panel untuk mengisi baterai. Arus pengisian melewati D1 untuk tegangan input IC LM 317. Dengan menyesuaikan dengan menyesuaikan pin, tegangan output dan arus dapat diatur. VR ditempatkan



antara pin adjusting dan grounding untuk memberikan tegangan output 12 volt baterai. Resistor R3 membatasi arus pengisian dan dioda D2 mencegah pembuangan arus dari baterai. Transistor T1, dioda Zener tersebut, dan bertindak sebagai memotong beralih ketika baterai penuh. Biasanya T1 off dan mendapat pengisian arus baterai. Ketika tegangan terminal baterai naik di atas 2 volt, diode zener menghubungkan dan menyediakan arus basis ke T1. Kemudian menyalakan pada grounding output dari LM 317 untuk menghentikan pengisian. <sup>[21]</sup>

Gambar 2.11 Skematik pengkabelan pada *Solar Charge Controller*

*Solar Charger Controller* (SCC) atau disebut juga dengan kontrol pengisian baterai merupakan piranti elektronik yang berfungsi untuk mengatur arus yang masuk ke baterai dari modul fotovoltaik sehingga pengisian baterai menjadi optimal, dalam artian tidak terjadi kurang



pengisian atau kelebihan pengisian. Untuk mendapatkan tingkat keluaran daya yang maksimal dari modul fotovoltaik maka diperlukan adanya algoritma sistem yang berfungsi memaksimalkan kerja modul fotovoltaik dapat mencapai titik kerja optimalnya. Sistem ini dikenal dengan sebutan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Jika penggunaan modul surya langsung diintegrasikan kepada baterai atau langsung ke beban DC maka energi yang dihasilkan akan bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya sehingga modul fotovoltaik tidak akan pernah mencapai titik kerja maksimumnya. Secara umum SCC memiliki enam buah pin dimana setiap pin memiliki fungsi atau jalurnya masing-masing yang dapat dijelaskan dari gambar 2.11.

SCC pada umumnya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas dari suatu baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya akan berhenti (cut-off voltage). Metode tersebut dilakukan pada proses monitoring level tegangan baterai. SCC akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu namun apabila level tegangan terbaca menurun pada nilai tertentu maka baterai akan diisi kembali.

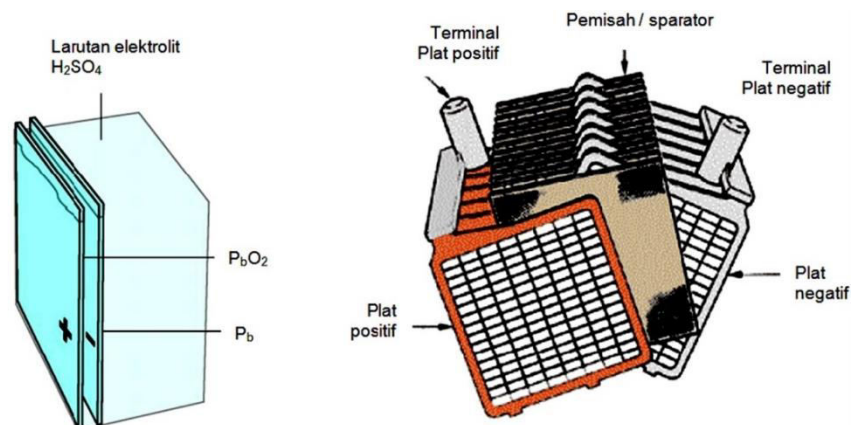
Terdapat dua teknologi yang digunakan oleh suatu SCC yaitu PWM dan MPPT. PWM menggunakan pulsa lebar dari on dan off secara elektrik sehingga menciptakan sinyal seakan-akan berbentuk gelombang sinus (sine wave electrical form). Metode yang kedua yaitu MPPT yang dapat mengambil daya maksimum dari modul fotovoltaik berdasarkan masukan arus dan tegangan dari fotovoltaik. Dalam penggunaannya MPPT dikombinasikan dengan SCC sebagai sistem pengisian baterai. Keluaran dari penggabungan kedua sistem ini akan menghasilkan tegangan DC teregulasi yang digunakan untuk proses pengisian baterai yang optimal. Selain itu modul surya dapat mencapai titik kerja maksimumnya dengan berbagai kondisi pembebanan. <sup>[15]</sup>



## 2.7 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga surya ( PLTS ) yang memegang peranan penting sebagai sumber listrik, yang apabila lemah/soak sering kali menjadi penyebab terganggunya sistem PLTS, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen lainnya.

Salah satu kunci dari pesatnya pertumbuhan PLTS adalah teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan energi (*energy storage*) atau dapat disebut dengan akumulator merupakan suatu media penyimpanan berbagai bentuk energi untuk berbagai kepentingan terutama di bidang ketenagalistrikan. Energi yang dapat disimpan berupa energi potensial,



kimia, listrik, dan lain sebagainya. Berbagai teknologi penyimpanan energi yang umum dipakai pada bidang ketenagalistrikan terdiri dari berbagai macam metode. Banyak energi listrik yang berasal dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam kondisi tertentu tidak dapat dimanfaatkan secara langsung sehingga harus disimpan terlebih dahulu. Energi tersebut digunakan pada saat diperlukan saja seperti pada malam hari, pada saat terjadi gangguan, ataupun kondisi operasi tertentu.

Gambar 2.12 Konstruksi Baterai

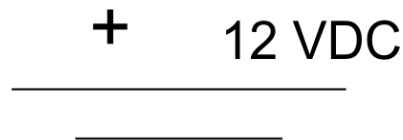
Larutan elektrolit adalah semua larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada baterai asam timbal, larutan elektrolit berfungsi untuk membuat proses galvanisasi atau reaksi kimia yang dapat terjadi. Komposisi



larutan elektrolit pada baterai yang terisi penuh adalah larutan pekat asam sulfur ( $H_2SO_4$ ) dicampur Air ( $H_2O$ ). Campuran yang tepat kira-kira 36% Asam Sulfur dan 64% Air. <sup>[20]</sup>

Dari berbagai macam pilihan teknologi penyimpanan, salah satu metode penyimpanan energi yang umum digunakan oleh sistem PLTS saat ini adalah sistem penyimpanan baterai atau dikenal dengan istilah Battery Energy Storage System (BESS).

Secara sederhana baterai terdiri dari dua sel elektrokimia dengan polaritas positif (anoda) dan negatif (katoda) serta elektrolit yang berfungsi



sebagai penghantar.<sup>[15]</sup> Lempeng timbal dioksida dan timbal murni disusun saling bersisipan dan membentuk satu pasang sel akumulator yang salingberdekatan dan dipisahkan oleh bahan penyekat berupa isolator dan dimasukkan ke kotak dari bahan isolator. Beda potensial setiap sel aki adalah 2 volt. Kemampuan aki dalam mengalirkan arus listrik disebut : kapasitas aki, yang dinyatakan dengan satuan amper jam (amper hour = Ah)

Gambar 2.13 Simbol baterai

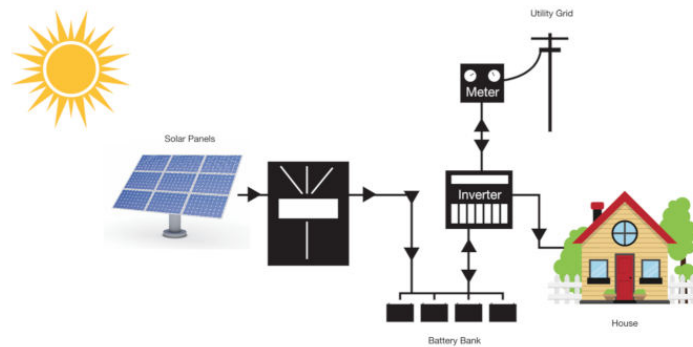
Output arus listrik yang dihasilkan merupakan arus searah DC. Baterai umumnya menggunakan sistem tegangan 6 VDC, 12 VDC, 24 VDC atau 48 VDC. Baterai memiliki kemampuan untuk pengisian (charge) dan juga pelepasan (discharge). Karena kemampuannya untuk diisi ulang (re-chargable) maka baterai pada sistem PLTS disebut dengan baterai sekunder. Walaupun sifatnya tidak menghasilkan energi listrik, namun fungsi penyimpanan energi perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem PLTS baik dengan konfigurasi yang berdiri sendiri ataupun terhubung ke jaringan. Tanpa BESS, energi surya hanya dapat dimanfaatkan mulai pagi hingga sore hari saja. Dengan penambahan BESS maka energi listrik dapat disimpan pada saat matahari bersinar dan digunakan pada malam hari.<sup>[14]</sup>





## 2.8 Konfigurasi Sistem PLTS

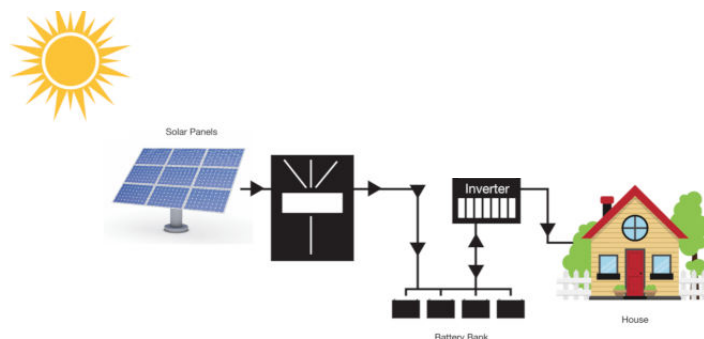
Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya konfigurasi terhadap



jaringan yang terhubung dibedakan menjadi tiga, yaitu sistem PLTS yang dihubungkan langsung dengan jaringan PLN atau biasa disebut PLTS On-Grid. Sistem PLTS yang tidak dihubungkan ke jaringan PLN atau yang biasa disebut PLTS Off-Grid/Stand-Alone. Dan PLTS yang sistemnya digabung dengan jenis pembangkit lain atau biasa disebut sistem PLTS Hybrid. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik. Sistem PLTS *Off-Grid* sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.

Gambar 2.14 Sistem PLTS *off-grid*

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On-Grid*) atau yang disebut dengan Grid Connected PV System adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang





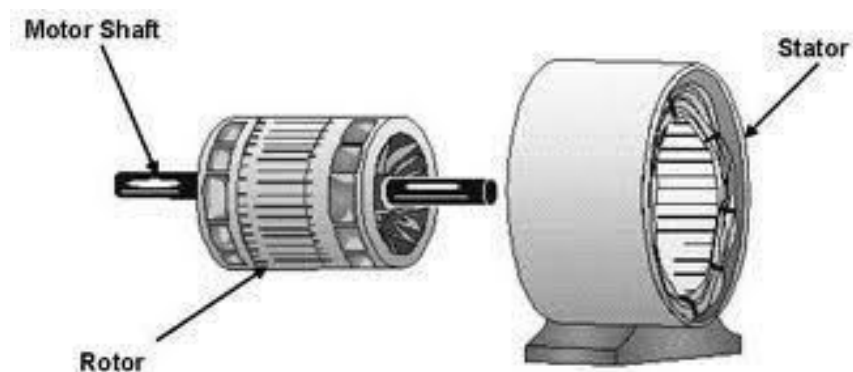
menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi green energi bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya. <sup>[17]</sup>

Gambar 2.15 Sistem PLTS *on-grid*

## 2.9 Motor Induksi Satu Fasa

Motor listrik satu fasa adalah motor listrik yang dijalankan dengan suplai satu fasa. Suplai satu fasa adalah listrik pada rumahrumah komersial bertegangan 220 V. Pada motor listrik satu fasa motor dibagi menjadi 3 jenis motor, yaitu Motor induksi kapasitor, Motor Shaded Pole dan Motor Universal. <sup>[2]</sup>

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator yang diam. Di antara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil. Celah udara antara stator dan rotor akan dilewati *fluks* induksi stator yang memotong kumparan rotor, sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Jika celah udara antara stator dan rotor terlalu besar, maka akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya jika jarak antara celah stator dan rotor terlalu kecil/sempit, maka akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Konstruksi motor





induksi dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 2.16 Kontruksi motor induksi 1 fasa

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari susunan laminasi inti yang memiliki alur (slot) yang menjadi tempat dudukan kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris. Motor induksi memiliki dua komponen yang utama, kedua komponen tersebut adalah:

a. Stator (bagian yang diam)

Stator terdiri dari belitan-belitan stator. jika belitan stator diberi aliran listrik, maka pada belitan stator akan menghasilkan *fluks* magnet stator atau medan putar.

b. Rotor (bagian yang berputar)

Rotor terdiri dari belitan-belitan penguat, inti magnet, dan slip ring/sikat. Slip ring berfungsi untuk memasukan listrik DC pada belitan penguat, sehingga timbul kutub magnet pada rotor.

Stator dihubungkan ke catu tegangan AC. Rotor tidak dihubugkan secara listrik ke pencatu tetapi mempunyai arus yang diinduksikan kedalamnya oleh kerja transformator. Oleh sebab itu, stator kadang-kadang dianggap sebagai primer dan rotor sebagai sekunder motor.<sup>[7]</sup>

## **2.10 Prinsip Kerja Motor Satu Fasa**

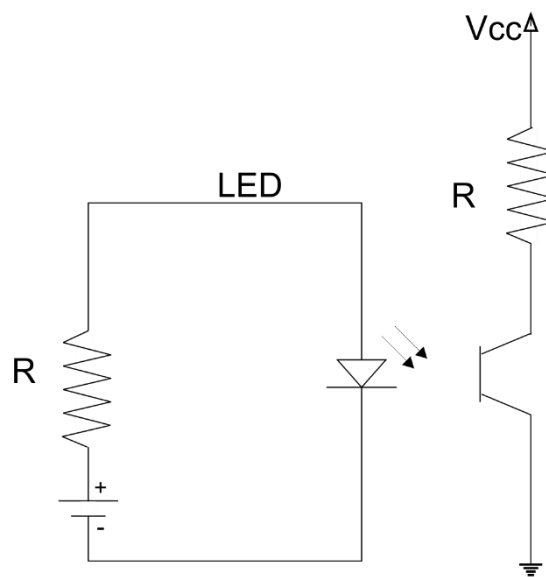
Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotornya. Apabila sumber tegangan dipasang pada kumparan stator, akan timbul garis-garis gaya *fluks* pada stator yang diinduksikan ke rotor. *Fluks* yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotor, sehingga timbul elektromagnetik GGL atau tegangan induksi. Penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, arus akan mengalir pada kumparan rotor. Penghantar rotor berupa kumparan yang dialiri arus ini berada dalam garis *fluks* yang berasal dari kumparan stator, sehingga kumparan rotor akan



mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi untuk menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Pada rangka stator terdapat lilitan kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slot dan jumlah kutub menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi lalu diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan putar medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron adalah sebagai berikut:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan  $n_s$  adalah kecepatan medan putar (rpm),  $f$  adalah frekuensi (Hz) PLN yang di tetapkan di Indonesia,  $p$  adalah jumlah kutub yang terdapat pada motor induksi. Kecepatan putaran motor (RPM) dapat diukur



menggunakan sensor optocoupler.

Gambar 2.12 Rangkaian sensor Optocoupler



Sensor Optocoupler merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan sinar inframerah, seperti yang terlihat pada Gambar 2.12. Sensor ini banyak dipakai untuk mendeteksi jarak ataupun pergerakan suatu benda dengan cara memberikan kisi-kisi ataupun baling-baling sehingga akan terdapat celah dan penghalang. Cara kerja dari sensor optocoupler adalah bila terhalang maka output akan open, dan bila tidak terhalang output akan short. Dengan cara kerja tersebut, sinar inframerah akan putus-putus dan menimbulkan pulsa-pulsa listrik. Phototransistor dan LED inframerah diletakkan secara terpisah dan berhadapan, diantara LED dan phototransistor, diletakkan sebuah piringan pengkode yang terdiri atas bagian yang tembus cahaya dan bagian yang tidak tembus cahaya. Bagian yang tembus cahaya mengindikasikan keadaan pada logika 1, sedangkan bagian yang tidak tembus cahaya menunjukkan keadaan pada logika 0. <sup>[18]</sup>

Perbedaan antara kecepatan sinkron dengan kecepatan putar rotor pada motor induksi disebut slip. Slip dinyatakan dengan persamaan:

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan  $s$  adalah slip, dan  $n_r$  adalah kecepatan putar rotor (rpm). Slip dapat dinyatakan dalam persen, dan dinyatakan oleh persamaan berikut <sup>[7]</sup>

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

## 2.11 Jenis-jenis Motor Satu Fasa

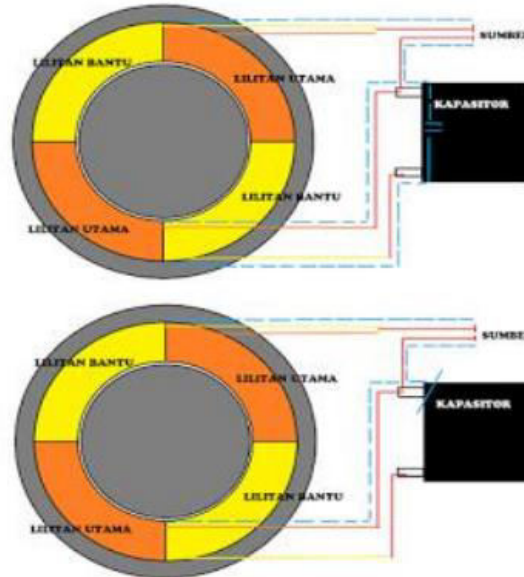
Seperti yang telah diberitahukan sebelumnya bahwa motor listrik satu fasa dibagi menjadi 3 jenis motor, yaitu motor induksi kapasitor, motor *Shaded Pole* dan Motor Universal.

### a) Motor Listrik Satu Fasa Kapasitor

Motor listrik satu fasa kapasitor adalah jenis motor 1 fasa yang 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. Proses yang terjadi adalah arus listrik masuk dan membuat daya magnet pada kumparan utama.



Gambar 2.17 Rangkaian motor satu fasa kapasitor

Karena kumparan utama memiliki daya yang seimbang dikedua sisi kumparannya maka terjadi tarik menarik yang seimbang pula, tidak akan terjadi putaran. Maka dari itu dibuat kumparan bantu yang akan membuat daya tarik dan membuat motor berputar. Ketika kumparan utama dan motor listrik sudah bekerja normal (biasanya setelah kecepatan 70% stabil) maka kapasitor akan memutus suplai arus pada kumparan bantu dan membuat kumparan utama saja yang bekerja. Contoh motor listrik 1 fasa kapasitor dapat dijumpai pada peralatan rumah tangga seperti pompa air. Pompa air menghasilkan debit air. Debit air digunakan untuk menghitung besar daya yang dihasilkan oleh pompa. Debit air yang dihasilkan pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut.

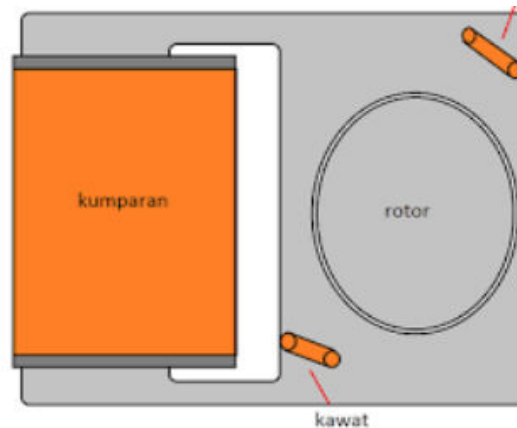
$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana Q adalah debit air (m<sup>3</sup>/detik), V adalah volume (Liter), dan t adalah waktu (detik).<sup>[20]</sup>



b) Motor Listrik 1 Fasa Shaded Pole

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.

Gambar 2.18 Rangkaian motor satu fasa shaded pole

Sementara itu rotornya berbentuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator. Putaran pada motor shaded pole dihasilkan dari dua kawat yang dialiri daya magnet pada kumparan.

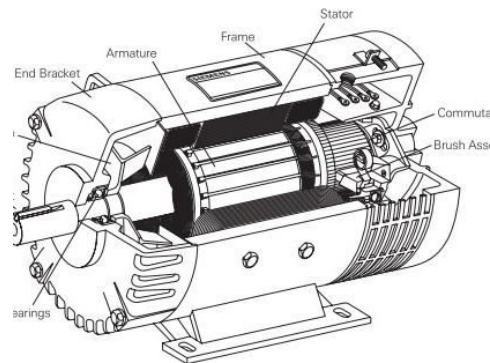
Kelebihan motor shaded pole ini adalah sangat irit dan sangat awet. Karena itu motor ini biasanya digunakan pada peralatan yang biasa dipakai lama misalnya pada kipas angin. Namun motor ini tidak memiliki cukup kekuatan jadi tidak cocok digunakan untuk pekerjaan industri.

c) Motor Listrik 1 Fasa Universal

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.<sup>[2]</sup>



Motor universal sesuai dengan namanya adalah salah satu motor listrik yang bekerja pada sumber tegangan listrik arus bolak-balik (AC) dan pada arus searah (DC) karena memiliki konstruksi yang sama dengan motor dc seri. Adapun konstruksi dari motor universal seperti tampak pada



gambar.

Gambar 2.19 Konstruksi motor universal

Proses running motor universal dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini dimana sumber tegangan bolak-balik membangkitkan medan magnet bolak-balik pada inti besi stator yang berubah arah sesuai dengan polaritas sumber tegangan. Pada kumparan rotor mengalir arus dan membangkitkan medan magnet rotor yang juga berubah sesuai dengan perubahan arah polaritas sumber. Interaksi kedua medan magnet tersebut menyebabkan timbul gaya gerak yang mengakibatkan rotor berputar. <sup>[11]</sup>

## 2.12 Kontaktor Magnet

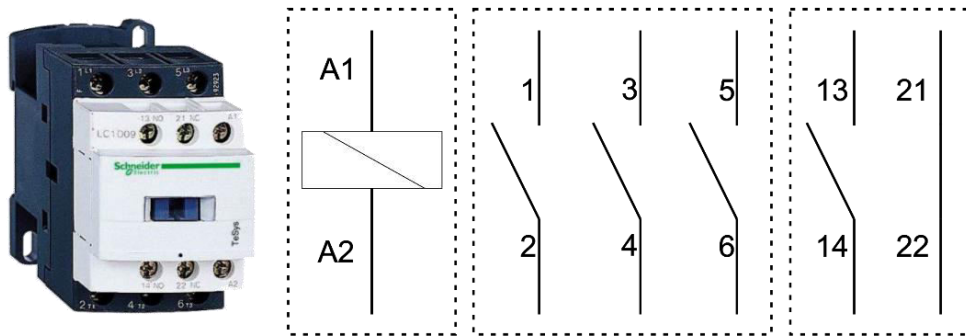
Kontaktor magnet yaitu peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada kontaktor terdapat sebuah belitan yang mana bila dialiri arus listrik akan timbul medan magnet pada inti besinya, yang akan membuat kontakannya tertarik oleh gaya magnet yang timbul tadi. Kontak bantu NO (Normally Open) akan menutup dan kontak bantu NC (Normally Close) akan membuka.

Kontak pada kontaktor terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama digunakan untuk rangkaian daya sedangkan kontak bantu





digunakan untuk rangkaian kontrol. Didalam suatu kontaktor elektromagnetik terdapat kumparan utama yang terdapat pada inti besi. Kumparan hubung singkat berfungsi sebagai peredam getaran saat kedua inti besi saling melekat.



Gambar 2.20 Kontaktor dan rangkaian kontaktor

Komponen penting pada kontaktor (*Magnetic Contactor*) :

1. Kumparan magnet (coil) dengan simbol A1 – A2 yang akan bekerja bila mendapat sumber tegangan listrik.
2. Kontak utama dirancang lebih luas dan tebal sehingga mampu dialiri arus listrik yang relatif besar. Kontak utama 1, 3 dan 5 biasa dihubungkan dengan sumber listrik R, S dan T sedangkan kontak 2, 4 dan 6 dihubungkan dengan beban motor listrik 3 fasa U, V dan W atau beban lainnya.
3. Kontak bantu hanya di gunakan untuk bagian kontrol saja. Tediri dari simbol angka 11, 12, 13, 14 ataupun angka 21, 22, 23, 24.

## 2.13 Spesifikasi Alat

Pengambilan data dalam laporan tugas akhir ini menggunakan beberapa peralatan dengan spesifikasi yang telah diperhitungkan agar alat dapat beroperasi dengan baik. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut.

### 2.13.1 Panel Surya



Dalam melakukan proses pengambilan data, Panel surya yang digunakan adalah panel surya ST Solar jenis polikristal (*polycrystalline*)



dengan daya puncak sebesar 200WP

Gambar 2.21 Spesifikasi Panel Surya ST Solar 200WP

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya ST Solar 200WP

Daya maksimum (Pmax)	200 W
Arus maksimum (Imp)	5.59 A
Tegangan maksimum (Vmp)	35.8 V
Tegangan hubung singkat (Voc)	44 V
Arus hubung singkat (Isc)	6.08 A

### 2.13.2 Baterai

Dalam melakukan proses pengambilan data, Baterai yang digunakan adalah baterai merek GS Astra jenis aki basah (*flooded acid*) VDC sebesar 12V dan IDC sebesar 100Ah.





Gambar 2.22 Baterai GS Premier 12V 100Ah

Tabel 2.2 Spesifikasi baterai GS Premier 12V 100Ah

Tegangan	12 Volt
Arus	100Ah



### 2.13.3 Solar Charge Controller (SCC)

Gambar 2.23 Solar Charge Controller EPEVER 30A

Dalam melakukan proses pengambilan data, SCC yang digunakan adalah SCC Merek EPEVER 12V 30A.

T

abel	Tegangan	12V
2.3	Arus	30A

Spesifikasi SCC EPEVER 30A





### 2.13.4 Solar Charge Controller (SCC)

Gambar 2.23 Inverter STEC 1000W

Dalam melakukan proses pengambilan data, inverter yang digunakan adalah inverter merek STEC 1000W.

Tabel Spesifikasi Inverter STEC 1000W	
Tegangan input	12 V
Tegangan output	220~240 V
Daya	1000W

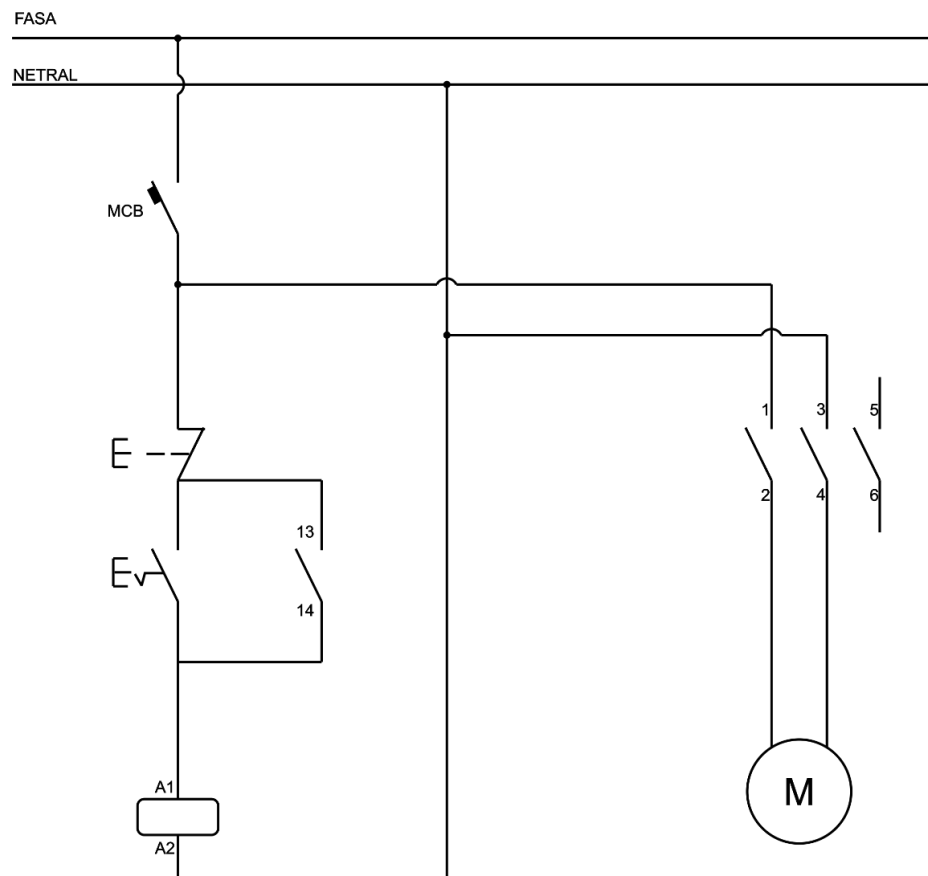
efisiensi inverter STEC 1000W

### 2.13.4 Sistem Kendali Motor 1Ø 125 Watt

Sistem kendali motor yang digunakan memiliki rangkaian yang terdiri dari beberapa komponen kelistrikan seperti MCB sebagai pengaman, pilot lamp sebagai lampu penanda, push button sebagai tombol start dan stop, serta kontaktor yang digunakan sebagai pengunci. Gambar rangkaian sistem kendali motor dapat dilihat pada gambar 3.5.

Single line diagram pada gambar 3.5 adalah gambar rangkaian listrik yang terdapat dalam box panel sistem kendali motor 1Ø 125 Watt sebagai beban. Dimulai dari fasa dan netral yang dikeluarkan dari inverter menuju ke MCB AC 2A sebagai pengaman. Kemudian output MCB akan dihubungkan ke push button OFF yang mana memiliki terminal NC dihubungkan parallel ke anak kontaktor NO nomor 13 dan 14. Kemudian output push button OFF dihubungkan ke input push button ON dan dialirkan ke input coil A1 pada kontaktor.

Melalui keluaran MCB, akan dialirkan tegangan melalui fasa menuju anak kontaktor T1 dan T3 menuju T2 dan T4 sebagai output sebagai sumber daya beban motor 1Ø 125 Watt.



Gambar 2.24 *Single line* diagram sistem kendali motor 1Ø 125

Watt

Spesifikasi komponen yang digunakan dalam sistem kendali motor 1Ø 125 Watt adalah sebagai berikut

Tabel 2.4 Spesifikasi komponen sistem kendali motor 1Ø 125 Watt

Nama Barang	Jumlah
MCB AC 2A 1P	3 buah
Pilot Lamp Tegangan	1 buah
Pilot Lamp Arus	1 buah
Pilot lamp penanda Larkin	1 buah
Push button start	1 buah
Push button stop	1 buah
Kontaktor Schneider LC1D09M7	1 buah

### 2.13.5 Motor 1Ø 125 Watt



Motor yang digunakan dalam pengambilan data tugas akhir ini adalah motor induksi 1Ø merek Shimizu 125 watt. Berikut adalah data



spesifikasi motor yang digunakan.

Gambar 2.25 Motor 1Ø 125 Watt

Gambar 2.26 Nameplate motor 1Ø 125 Watt

Tabel 3.4 Spesifikasi Motor 1Ø 125 Watt

Tegangan	220 Volt
Arus	1.2 Ampere
Kecepatan Putaran (n)	2900 RPM
Frekuensi (f)	50Hz

