



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit Listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Pembangkit listrik biasanya berupa generator, yakni mesin yang berputar yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik.

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS adalah pembangkit listrik yang sering digunakan di skala rumahan. Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga surya adalah memanfaatkan panel surya atau solar cell untuk menyimpan energi listrik dari panas ke dalam baterai. Energi listrik tersebut dapat digunakan sewaktu-waktu saat dibutuhkan.



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sumber : Neuhaslabs, 2016

2.1.1.1 Komponen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Agar terciptanya sistem PLTS yang baik, maka diperlukan komponen-komponen berikut :



a. Panel Surya

Sel surya atau panel surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Didalam sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Peristiwa ini disebut sebagai peristiwa Fotovoltaic atau fotoelektrik.

b. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller (SCC) adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain-lain. Pada umumnya terdapat 6 terminal pada sebuah SCC, 2 terminal untuk arus dari panel surya dua terminal untuk menghubungkannya pada aki, dan dua terminal lainnya untuk penggunaan.

Dengan adanya solar charge controller maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis akan diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung. Di bawah ini adalah gambar dari SCC. Di bawah ini adalah gambar SCC.



Gambar 2.2 Solar Charge Controller (SCC)

Sumber : Wijdan G, 2017



2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), namun turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

2.1.2.1 Komponen *Wind Turbine*

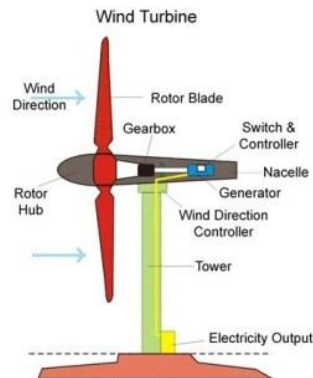
Agar turbin angin dapat bekerja dengan baik, berikut adalah komponen-komponen yang terdapat pada turbin angin.

- a. Anemometer : Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.
- b. Blades : Kebanyakan turbin baik dua atau tiga pisau. Angin bertiup di atas menyebabkan pisau pisau untuk "mengangkat" dan berputar.
- c. Brake : Sebuah cakram rem, yang dapat diterapkan dalam mekanik, listrik, hidrolik atau untuk menghentikan rotor dalam keadaan darurat.
- d. Controller : pengontrol mesin mulai dengan kecepatan angin sekitar 8-16 mil per jam (mph) dan menutup mesin turbin sekitar 55 mph. tidak beroperasi pada kecepatan angin sekitar 55 mph di atas, karena dapat rusak karena angin yang kencang.
- e. Gear box : Gears menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 rotasi per menit (rpm), sekitar 1000-1800 rpm, kecepatan rotasi yang diperlukan oleh sebagian besar



generator untuk menghasilkan listrik. gearbox adalah bagian mahal (dan berat) dari turbin angin dan insinyur generator mengeksplorasi "direct-drive" yang beroperasi pada kecepatan rotasi yang lebih rendah dan tidak perlu kotak gigi.

- f. Generator : Biasanya standar induksi generator yang menghasilkan listrik dari 60 siklus listrik AC.
- g. High-speed shaft : drive generator
- h. Low-speed shaft : Mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rotasi per menit.
- i. Nacelle : nacelle berada di atas menara dan berisi gear box, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.
- j. Pitch : Blades yang berbalik, atau nada, dari angin untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk menghasilkan listrik.
- k. Rotor : pisau dan terhubung bersama-sama disebut rotor.
- l. Tower : Menara yang terbuat dari baja tabung (yang ditampilkan di sini), beton atau kisi baja. Karena kecepatan angin meningkat dengan tinggi, menara tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi dan menghasilkan listrik lebih banyak.
- m. Wind direction : Ini adalah turbin "pertama", yang disebut karena beroperasi melawan angin. turbin lainnya dirancang untuk menjalankan "melawan arah angin," menghadap jauh dari angin.
- n. Wind vane : Tindakan arah angin dan berkomunikasi dengan yaw drive untuk menggerakkan turbin dengan koneksi yang benar dengan angin.
- o. Yaw drive : digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.
- p. Yaw motor : kekuatan drive yaw.



Gambar 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sumber : Neuhaslabs, 2016

2.1.2.2 *Wind Charge Controller (WCC)*

Wind Charge Controller (SCC) adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari *wind turbine* kedalam baterai dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti *inverter*, lampu, TV dan lain-lain. Pada umumnya terdapat 5 terminal pada sebuah WCC, 3 terminal untuk arus dari turbin angin dan 2 terminal untuk menghubungkan ke baterai yang telah di *convert AC to DC*.

Dengan adanya WCC untuk mengontrol turbin angin secara otomatis mengisi baterai, melalui sirkuit internal kontrol otomatis sehingga turbin angin rem ketika tegangan baterai tetes untuk tegangan pemulihan turbin angin melanjutkan pengisian baterai sehingga melindungi turbin angin dan baterai. Pada gambar 2.4 di bawah ini adalah jenis *Wind Charge Controller* yang digunakan yaitu *Max Power Point Tracking (MPPT)*.



Gambar 2.4 *Wind Charge Controller*

Sumber : Dokumen Pribadi



2.1.2.3 Cara Kerja *Wind Turbine*

Energi angin memutar turbin angin. Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen.

Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisiknya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik.

Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Pengertian Hybrid pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hybrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan supply dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu.

Sistem Hybrid atau Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau PLTD. PLTH ini memanfaatkan renewable energy sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan dengan jala PLN sebagai sumber energi cadangan (sekunder).

Pada PLTH, renewable energy yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang dikombinasikan, sehingga menjadi suatu



pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan peralatan listrik yang lain seperti TV, pompa air, setrika listrik serta kebutuhan industri kecil di daerah tersebut. Gambar 2.5 di bawah ini adalah contoh *hybrid wind turbine*.



Gambar 2.5 Hybrid Wind Turbine

Sumber : Neuhaslabs, 2016

2.3 Sensor Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah, anemometer merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan oleh balai cuaca seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Kata anemometer berasal dari Yunani *anemos* yang berarti angin, Angin merupakan udara yang bergerak ke segala arah, angin bergerak dari suatu tempat menuju ke tempat yang lain. Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Battista Alberti dari Italia pada tahun 1450. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. Pada saat tertiup angin, baling-baling atau mangkok yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai arah angin. Makin besar kecepatan angin meniup mangkok-mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok-mangkok. Dari jumlah putaran dalam satu detik maka dapat diketahui kecepatan anginnya. Di dalam anemometer terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin. Gambar 2.7 di bawah ini adalah gambar sensor anemometer yang digunakan.



Gambar 2.6 Sensor Anemometer

Sumber : Depoinovasi Mala, 2018

2.3.1 Anemometer Digital

Anemometer digital merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Alat ukur ini sering digunakan dalam stasiun prakiraan cuaca, meteorologi dan geofisika, kapal dan pesawat terbang. Tidak hanya untuk mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin, memprediksi cuaca, dan tinggi gelombang laut. Alat pengukur ini memiliki tingkat ketelitian hingga 0.5 m/s.



Gambar 2.7 Anemometer Digital

Sumber : amazon.com

2.3.2 Cara Kerja Anemometer

Pada saat tertiup angin, maka baling-baling atau mangkuk yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai dengan arah mata angin. Semakin besar kecepatan angin meniup, maka semakin cepat pula perputaran dari baling-baling



tersebut. Berdasarkan jumlah perputaran per detiknya, maka akan diketahui jumlah dari kecepatan anginnya. Pada anemometer terdapat bagian alat pencacah yang berfungsi menghitung jumlah kecepatan angin. Hasilnya akan dicatat, kemudian akan disesuaikan dengan Skala Beaufort c.

Anemometer terdiri atas beberapa jenis antara lain, anemometer dengan tiga atau empat mangkuk dan anemometer termal. Pada anemometer dengan jumlah tiga atau empat mangkuk memiliki sensor yang dipasang pada posisi jari-jari yang berpusat pada sebuah sumbu vertikal atau pun pada semua mangkuk yang ada dan terpasang pada poros vertikal. Sedangkan pada anemometer termal, sensor digunakan untuk mengukur jumlah kecepatan dari fluida (angin) sesaat. Cara kerja sensor tersebut adalah dengan cara konvektif dari sensor ke arah lingkungan sekeliling sensor.

Anemometer juga tetap memerlukan proses kalibrasi yang dilakukan secara periodik untuk menjaga nilai akurasi atau ketepatan nilai pada proses pengukuran. Anemometer merupakan jenis alat yang yang digunakan karena pembacaannya atau hasilnya hanya dibutuhkan pada saat-saat tertentu untuk mengetahui kondisi dan perubahan cuaca.

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program di dalamnya. Terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board mikrokontroler menjadi sangat ringkas.

Mikrokontroler tersusun dalam satu *chip* dimana prosesor, memori, dan I/O terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem sehingga mikrokontroler dapat dikatakan sebagai komputer mini yang dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem.



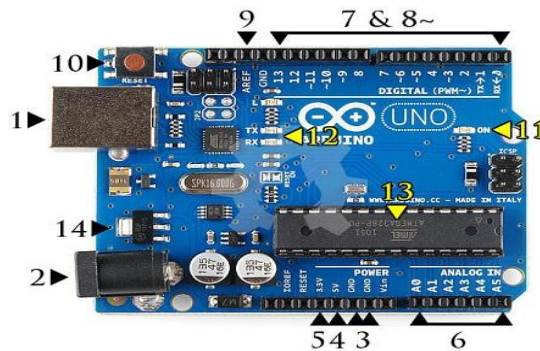
2.4.1 Arduino UNO

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring Platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik di berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor *Atmel AVR* dan softwarentya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

Arduino juga merupakan *platform* hardware terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang fleksibel dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema hardware arduino dan membangunnya.

Mikrokontroler Atmega328 digunakan pada arduino UNO sebagai otak untuk mengendalikan perangkat elektronik yang kan dirancang. Atmega328 itu sendiri diproduksi oleh ATMEL yang mempunyai arsitektur RISC ini adalah suatu arsitektur yang memiliki instruksi yang sederhana namun memiliki banyak fasilitas tambahan. Adapun di bawah ini adalah spesifikasi, gambar dan datasheet dari Arduino UNO :

- a. Mikrokontroler Atmega 328
- b. Catu Daya 5V
- c. Tegangan Input (rekomendasi) 7-12 V
- d. Tegangan Input (batasan) 6-20 V
- e. Pin I/O Digital 14 (of which 6 provide PWM output)
- f. Pin Input Analog 6
- g. Arus DC per Pin I/O 40 mA
- h. Arus DC per Pin I/O untuk PIN 3.3 V 50 Ma
- i. Flash Memory 32 KB (Atmega328) dimana 0.5 KB digunakan oleh bootloader
- j. SRAM 2 KB (Atmega328)
- k. EEPROM 1 KB (ATMEGA328)
- l. Clock Speed 16 MHz



Gambar 2.8 Arduino UNO R3

Sumber : Arrow Electronics, 2018

Tabel 2.1 Konfigurasi Pin Arduino UNO

NO	Nama	Deskripsi
1.	USB Female Type-B	Sebagai sumber DC 5V sekaligus untuk jalur pemrograman antara PC dan Arduino.
2.	Barrel Jack	Sebagai input sumber antara 5 – 12 V
3.	Pin GND	Sebagai sumber pentanahan (Ground)
4.	Pin 5 V	Sebagai sumber tegangan 5 V
5.	Pin 3,3 V	Sebagai sumber tegangan 3,3 V
6.	A0-A5	Sebagai Analog Input
7.	2-13	Sebagai I/O digital
8.	0-1	Sebagai I/O sekaligus bisa juga sebagai RxTx
9.	AREF	Sebagai analog referensi untuk fungsi ADC
10.	Tombol RESET	Sebagai perintah reset arduino
11.	LED	Sebagai indikator daya
12.	LED RxTx	Sebagai indikator RxTx saat pengisian program
13.	Mikrokontroler	Sebagai indikator RxTx saat pengisian program
14.	Regulator Tegangan	Berfungsi sebagai pembatas atau penurun tegangan yang masuk melalui barrel jack dengan tegangan maksimum input sebesar 20 V.



2.5 Accu

Baterai Aki atau sering disebut *accumulator*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau sepeda motor. Aki dapat digunakan untuk menyimpan dan memberikan tenaga listrik. Pada proses pengisian, tenaga listrik diubah menjadi tenaga kimia, pada pembuangannya tenaga kimia yang tersimpan diubah menjadi tenaga listrik. Aki memiliki kapasitas sebuah sel aki diukur dalam jam-Ampere (Ah), yang dimaksud dengan kapasitas adalah jumlah Ah yang dapat diberikan oleh sebuah sel yang berisi muatan sampai tegangannya turun menjadi kira-kira 1,83 V (99,1 %). Sebuah aki dengan kapasitas 100 Ah dapat memberikan arus 25 A selama 4 jam.

Terdapat 2 jenis aki yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah merupakan jenis aki yang perlu diberi air aki yang dikenal dengan sebutan *accu zuur*. Sedangkan aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan. Dalam aki terdapat elemen dan sel untuk penyimpanan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal. Pada Gambar 2. 10 merupakan sel-sel aki.



Gamabar 2.9 ACCU (Aki)

Sumber :Bibli, 2019

Aki memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindari kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya.



2.6 Relay

Relay adalah suatu peranti yang bekerja berdasarkan elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor yang tersusun atau sebuah saklar elektronis yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber energinya. Kontaktor akan tertutup (menyala) atau terbuka (mati) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan (induktor) ketika dialiri arus listrik. Berbeda dengan saklar, pergerakan kontaktor (on atau off) dilakukan manual tanpa perlu arus listrik.

Relay yang paling sederhana ialah relay elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. Secara sederhana relay elektromekanis ini didefinisikan sebagai berikut.

- Alat yang menggunakan gaya elektromagnetik untuk menutup atau membuka kontak saklar.
- Saklar yang digerakkan secara mekanis oleh daya atau energi listrik.

Sebagai komponen elektronika, relay mempunyai peran penting dalam sebuah sistem rangkaian elektronika dan rangkaian listrik untuk menggerakkan sebuah perangkat yang memerlukan arus besar tanpa terhubung langsung dengan perangkat pengendali yang mempunyai arus kecil. Dengan demikian relay dapat berfungsi sebagai pengaman.

Relay terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

1. Common, merupakan bagian yang tersambung dengan Normally Close (dalam keadaan normal).
2. Koil (kumparan), merupakan komponen utama relay yang digunakan untuk menciptakan medan magnet.
3. Kontak, yang terdiri dari Normally Close dan Normally Open.

Penggunaan relay perlu memperhatikan tegangan pengontrolnya serta kekuatan relay men-switch arus/tegangan. Biasanya ukurannya tertera pada body relay. Misalnya relay 12VDC/4 A 220V, artinya tegangan yang diperlukan sebagai pengontrolnya adalah 12Volt DC dan mampu men-switch arus listrik (maksimal) sebesar 4 ampere pada tegangan 220 Volt. Sebaiknya relay



difungsikan 80% saja dari kemampuan maksimalnya agar aman, lebih rendah lagi lebih aman. Relay jenis lain ada yang namanya reedswitch atau relay lidi. Relay jenis ini berupa batang kontak terbuat dari besi pada tabung kaca kecil yang dililitin kawat. Pada saat lilitan kawat dialiri arus, kontak besi tersebut akan menjadi magnet dan saling menempel sehingga menjadi saklar yang on. Ketika arus pada lilitan dihentikan medan magnet hilang dan kontak kembali terbuka (off).

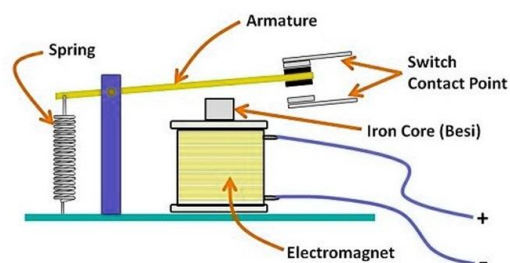


Gambar 2.10 Relay

Sumber : Arrow Electronics, 2018

2.6.1 Prinsip Kerja Relay

Setelah mengetahui pengertian dan fungsi relay, berikut adalah cara kerja atau prinsip kerja relay yang juga harus anda ketahui. Namun sebelumnya anda perlu tahu bahwa dalam sebuah relay terdapat 4 buah bagian penting yakni Electromagnet (Coil), Armature, Switch Contact Point (Saklar), dan Spring. Untuk info lebih jelasnya silahkan lihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 Cara Kerja Relay

Sumber : Belajar Elektronika, 2017



Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa sebuah Besi (*Iron Core*) yang dililit oleh kumparan Coil, berfungsi untuk mengendalikan Besi tersebut. Apabila Kumparan Coil dialiri arus listrik, maka akan muncul gaya elektromagnetik yang dapat menarik Armature sehingga dapat berpindah dari posisi sebelumnya tertutup (NC) menjadi posisi baru yakni terbuka (NO).

Dalam posisi (NO) saklar dapat menghantarkan arus listrik. Pada saat tidak dialiri arus listrik, Armature akan kembali ke posisi awal (NC). Sedangkan *Coil* yang digunakan oleh relay untuk menarik Contact Poin ke posisi *close* hanya membutuhkan arus listrik yang relatif cukup kecil.

NC atau *Normally Close* adalah kondisi awal relay sebelum diaktifkan selalu berada di posisi CLOSE (tertutup). NO atau *Normally Open* adalah kondisi awal relay sebelum diaktifkan selalu berada di posisi OPEN (terbuka).

2.7 Inverter

Power Inverter atau biasanya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari *Power Inverter* tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya (*Solar Cell*).

Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya *Power Inverter*, kita dapat menggunakan Aki ataupun Sel Surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga (beban) seperti televisi, kipas angin, komputer atau bahkan kulkas dan mesin cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.

Berdasarkan jumlah fasa output inverter dapat dibedakan dalam :

- Inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan output 1 fasa.
- Inverter 2 fasa, yaitu inverter dengan output 3 fasa.

Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangan-nya, yaitu :



- *Voltage Fed Inverter* (VFI) yaitu inverter dengan tegangan input yang diatur konstan.
- *Current Fed Inverter* (CFI) yaitu inverter dengan arus input yang diatur konstan.
- *Variable dc linked inverter* yaitu inverter dengan tegangan input yang dapat diatur.

Bentuk-bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh Power Inverter diantaranya adalah gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan.

Namun pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*). Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan Tegangan Output sekitar 120V atau 240V. Output Daya listrik yang paling umum ditemui untuk produk-produk konsumen adalah sekitar 150 watt hingga 3000 watt.



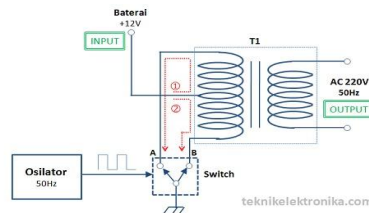
Gambar 2.12 Inverter

Sumber : Kelistrikanku, 2016



2.7.1 Prinsip Kerja Inverter

Sederhananya, suatu Power Inverter yang dapat mengubah arus listrik DC ke arus listrik AC ini hanya terdiri dari rangkaian Osilator, rangkaian Saklar (Switch) dan sebuah Transformator (trafo) CT seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Inverter

Sumber : Teknik Elektronika, 2016

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12V) diberikan ke Center Tap (CT) Sekunder Transformator sedangkan dua ujung Transformator lainnya (titik A dan titik B) dihubungkan melalui saklar (switch) dua arah ke ground rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan arus listrik jalur 1 mengalir dari terminal positif baterai ke Center Tap Primer Transformator yang kemudian mengalir ke titik A Transformator hingga ke ground melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke Center Tap Primer Transformator hingga ke ground melalui Saklar titik B. Titik A, B dan Jalur 1, 2 dapat dilihat pada gambar diatas,

Peralihan ON dan OFF atau A dan B pada Saklar (Switch) ini dikendalikan oleh sebuah rangkaian Osilator yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi 50Hz yaitu mengalihkan arus listrik dari titik A ke titik B dan titik B ke titik A dengan kecepatan 50 kali per detik. Dengan demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan



komponen utama yang digunakan sebagai Switch di rangkaian Switch Inverter tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun Transistor.

Sekunder Transformator akan menghasilkan Output yang berupa tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder Transformator atau rasio lilitan antara Primer dan Sekunder Transformator yang digunakan pada Inverter tersebut.

2.8 Automatic Transfer Switch (ATS)

Automatic Transfer *switch* merupakan rangkaian kontrol sakelar *power inverter* dengan PLN yang sudah *full automatic*. Alat ini berguna untuk menghidupkan dan menghubungkan *power inverter* ke beban secara otomatis pada saat PLN padam. Pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan Memindahkan sumber daya ke beban dari *power inverter* ke PLN.

Dalam perkembangan teknologi dunia elektrikal akhirnya merekayasa hal tersebut kemudian di jalankan secara Automatic yang di singkat ATS (*Auto Transfer Swicth*) yang di fungsikan secara otomatis untuk memindahkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menggunakan tenaga manusia untuk mengoperasikannya. Beberapa jenis ATS di bedakan menurut kapasitas daya yang di butuhkan atau berdasar Phasa dan Ampere yang melalui panel tersebut, namun untuk prinsip kerjanya sama.

Pada dasarnya pembuatan ATS adalah memainkan penalaran logika matematika dengan merangkaikan beberapa alat seperti Relay, *Timer*, Kontaktor, dan MCB. Alat – alat tersebut pada prinsipnya adalah sebagai sakelar ataupun pemutus hubungan.

Pemakaian panel ATS ini di bedakan pada besar kecilnya pemakaian listrik. Semakin tinggi pemakaian daya listrik, tentunya akan semakin besar pula spesifikasi komponen komponennya terutama Breaker dan kontaktornya dan juga ukuran kabelnya.



Adapun bahan – bahan atau komponen yang digunakan untuk membuat suatu rangkaian ATS diantaranya :

- Relay MK3P 220VAC
- Relay MK2P 220VAC/24V
- *Timer* 220VAC
- *Timer* 24VDC
- Magnetik Kontaktor 220VAC
- MCB 220VAC
- Box Panel
- Lampu Indikator



Gambar 2.14 ATS

Sumber : Dokumen Pribadi

2.9 Daya

2.9.1 Pengertian Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan suatu proses listrik. Daya listrik dinyatakan dalam satuan Watt atau *horsepower* (HP) dimana 1 HP setara dengan 764 Watt atau lbft/s. Daya dihasilkan berdasarkan perkalian arus dan tegangan.

Daya dinyatakan dengan P, arus dengan I dan tegangan dengan V.

$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \phi$$

$$P = \text{Watt}$$



2.9.2 Macam-macam Daya

Daya listrik dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

a. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya. Misalnya, energi panas, cahaya, mekanik, dan lain-lain. Satuan dari daya aktif adalah Watt.

$$P_{\text{satu fasa}} = V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{\text{tiga fasa}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

b. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet, akan terbentuk *fluks* medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

$$P_{\text{satu fasa}} = V \times I \times \sin \phi$$

$$P_{\text{tiga fasa}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$$

c. Daya Semu

Daya semu (*apparent power*) adalah daya yang dihasilkan berdasarkan perkalian tegangan dan arus dalam suatu rangkaian. Satuan daya semu adalah VA.

$$P_{\text{satu fasa}} = V \times I$$

$$P_{\text{tiga fasa}} = \sqrt{3} \times V \times I$$

2.9.3 Segitiga Daya

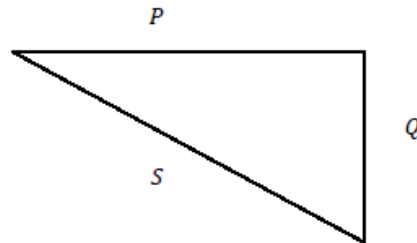
Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri, dimana berlaku hubungan :



$$S = V \times I$$

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$



Gambar 2.15 Segitiga Daya

Sumber : Jamali J, 2013

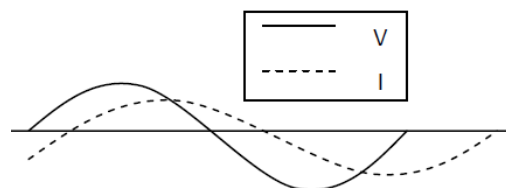
2.9.4 Faktor Daya

Faktor daya ($\cos \varphi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$.

a. Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban atau peralatan listrik memerlukan daya reaktif dengan sistem atau beban yang bersifat induktif.
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut φ



Gambar 2.16 Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

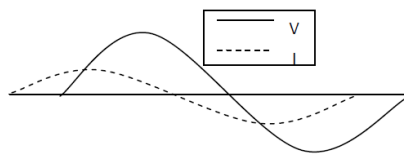
Sumber : Jamali J, 2013



b. Faktor Daya Mendahului (*Ledding*)

Faktor daya mendahului (*Ledding*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi sebagai berikut :

1. Beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif dari system atau beban kapasitif.
2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ .



Gambar 2.17 Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Sumber : Jamali J, 2013

Faktor daya mempunyai nilai range 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang baik apabila bernilai mendekati 1.

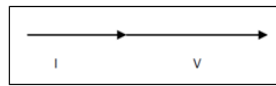
2.10 Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan open circuit. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

a. Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan :

$$R = V / I$$

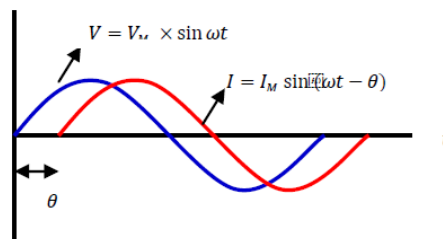


Gambar 2.18 Arus dan Tegangan

Sumber : Jamali J, 2013

b. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh : motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan :

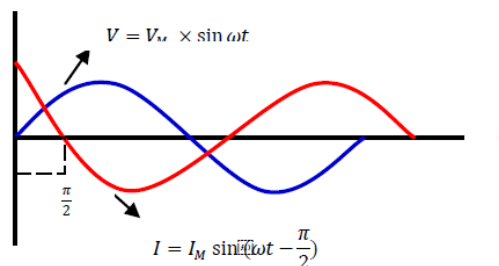


Gambar 2.19 Arus, Tegangan dan GGL Self-Induction Pada Beban Induktif

Sumber : Jamali J, 2013

c. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “leading”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan :



Gambar 2.20 Arus, Tegangan dan GGL Self-Induction Beban Kapasitif

Sumber : Jamali J, 2013



2.11 Energi Angin

Angin terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di kutub utara yang dingin, udaranya menjadi dingin dan naik turun ke bawah, sebaliknya, untuk daerah khatulistiwa udara yang panas menguap dan menjadi ringan, sehingga naik ke atas dan bergerak ke daerah lebih dingin. Hal inilah yang menyebabkan perputaran udara, berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa dan dari khatulistiwa ke kutub utara.

Sebagaimana rumus fisika energi kinetic dari sebuah benda dengan massa (m) dan kecepatan (v) adalah $E = 0,5 mv^2$, dengan ketentuan kecepatan (v) tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus itu juga berlaku untuk angin, karena angin merupakan udara yang bergerak, sehingga :

$$E = 0,5 mv^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

E = Energi (Joule)

M = Massa Udara

v = Kecepatan Angin (m/s)

Bila suatu 'blok' udara, yang mempunyai penampang A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan m/s , maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = A.v.q \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

A = Luas penampang (m^2)

v = Kecepatan Angin (m/s)

q = Kepadatan Udara ($kg/m^2 = 1,225 kg/m^3$)

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah :

$$P = E \text{ per satuan waktu}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot q \cdot A \cdot v^2 \text{ per satuan waktu} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P = Daya (W)

q = Kepadatan Udara (kg/m^3)

E = Energi (J)

A = Luas Penampang (m^2)



v = Kecepatan Angin (m/s)

Untuk mencari daya beban, persamaan yang digunakan adalah :

$$\mathbf{P = V \cdot I} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

P = Daya (W)

V = Tegangan *Output wind turbine* (V_{out})

I = Arus *Output wind turbine* (I_{out})

Untuk mencari arus berdasarkan perhitungan, maka digunakan :

$$\mathbf{V = I \cdot R} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\mathbf{I = \frac{V}{R}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

V = Tegangan *Output wind turbine* (V_{out})

R = Hambatan (Ω)

I = Arus (A_{out})

Untuk mencari tegangan yang keluar dari wind turbine, maka digunakan :

$$\mathbf{v = \frac{V}{\Delta y} \times \Delta x} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

v = Kecepatan Angin

V = Tegangan *Output* (V_{out})

Δx = Selisih Kecepatan Angin (m/s)

Δy = Selisih Tegangan (V)