

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Lingkungan yang Menimbulkan Gagasan

Kebutuhan sumber listrik yang berlebihan dapat membawa dampak pemanasan global. Setiap aktivitas dalam kehidupan kita selalu membutuhkan sumber listrik sebagai penerangan maupun untuk mengaktifkan perangkat-perangkat elektronik. Seperti yang kita ketahui pembakaran batubara diperlukan agar dapat menghasilkan energi listrik, akan tetapi pembakaran tersebut juga membawa dampak yang buruk terhadap lingkungan.

Masih banyak terdapat cara lain untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam baik dari cahaya matahari, angin, dan lain-lain. Sampai sejauh ini, energi baru terbarukan selalu menjadi solusi alternatif untuk mengurangi dampak kebutuhan listrik yang berlebihan. Era Industri 4.0 yang serba cepat ini, kebutuhan masyarakat akan *smartphone* seiring waktu semakin meningkat. *Smartphone* di tuntut untuk selalu siap ketika menerima informasi, bahkan *smartphone* telah menjadi barang wajib untuk menunjang suatu pekerjaan tak terkecuali di lingkungan Gedung V bahkan Gedung Bengkel dan Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.

Berdasarkan hasil pengamatan, saat pembelajaran mata kuliah Pembangkit Listrik Energi Terbarukan, mahasiswa cenderung banyak menghabiskan waktu dan tenaga untuk melakukan praktikum untuk memonitor atau mengukur langsung besaran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya di lingkungan kampus dan juga melihat bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya berpotensi untuk digunakan secara pribadi oleh masyarakat umum. Dari sini penulis berpendapat bahwa ketersediaan sumber listrik sebagai pengisi daya perangkat seperti *smartphone*, laptop dan *WiFi* yang dapat menyalurkan koneksi internet dan dimanfaatkan sebagai akses jaringan jarak jauh.

Melihat kebutuhan tersebut, kami berinisiatif membantu menyediakan Sistem *Monitoring*. Selain itu, sistem *Monitoring switch* solar sel pada penggunaannya dapat dikontrol melalui perangkat *smartphone* baik Android atau iOS melalui

pemanfaatan dari Mikrokontroler NODEMCU ESP32 yang sudah terintegrasi modul internet sehingga implementasi dari revolusi industri 4.0 dapat kita wujudkan.

2.2 *Internet of Things*⁶

Internet of Things (IoT) adalah struktur dimana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer. IoT merupakan perkembangan teknologi yang menjanjikan IoT dapat mengoptimalkan kehidupan dengan sensor sensor cerdas dan benda yang memiliki jaringan dan bekerjasama dalam internet.

Digitalisasi dan meningkatnya konektivitas antar perangkat, warga negara, dan pemerintah terus mengubah banyak aspek masyarakat dan ekonomi di Indonesia. *Internet of Things* (IoT) memungkinkan objek fisik untuk melihat, mendengar, berpikir dan melakukan pekerjaan dengan membuat mereka berkomunikasi bersama, untuk berbagi informasi dan mengkoordinasikan keputusan. *Internet of communication* (IOC) mengubah benda-benda ini dari yang tradisional menjadi cerdas dengan memanfaatkan dasar teknologi seperti komputasi di mana saja dan meluas, perangkat yang dilengkapi, teknologi komunikasi, jaringan sensor, internet protokol dan aplikasi.

Konsep IoT bertujuan untuk membuat internet semakin berkembang dan meluas. Selanjutnya, dengan memungkinkan akses dan interaksi yang mudah dengan beragam perangkat seperti, peralatan rumah tangga, kamera cctv, sensor pemantauan, aktuator, display, kendaraan, dan sebagainya. IoT akan mendorong pengembangan sejumlah aplikasi yang memanfaatkan jumlah dan variasi data yang berpotensi besar yang dihasilkan oleh objek tersebut untuk memberikan layanan baru kepada warga negara, perusahaan, dan administrasi publik. Namun, bidang aplikasi seperti itu membuat identifikasi solusi yang mampu memenuhi persyaratan dari semua kemungkinan hal pada aplikasi merupakan tantangan yang berat.

⁶ A.W Burange & Harshal D. Misalkar, *Review of Internet of Things in Development of Smart Cities with Data Management & Privacy*, (India : IEEE, 2015)

Kesulitan ini telah menyebabkan berkembangnya berbagai usulan yang berbeda dan terkadang tidak tepat untuk realisasi praktis pada sistem IoT. Oleh karena itu, dari perspektif sistem, realisasi jaringan IoT, bersamaan dengan perangkat dan perangkat jaringan *backend* yang dibutuhkan, masih belum memiliki pengampu yang siap karena hal baru dan kompleksitasnya. Orang akan secara otomatis dan kolaboratif dilayani oleh perangkat cerdas, transportasi, lingkungan cerdas menggunakan sebuah sistem *Global Position System* (GPS) dimana lokasi seseorang dapat diunggah ke server yang langsung mengembalikan rute terbaik ke tujuan perjalanan orang tersebut, sehingga orang tersebut tidak terjebak macet, merupakan salah satu penerapan di bidang industri penyedia informasi jalan .

Cara kerja dari IoT yaitu setiap benda harus memiliki sebuah alamat *Internet Protocol* (IP). Alamat *Internet Protocol* (IP) adalah sebuah identitas dalam jaringan yang membuat benda tersebut bisa diperintahkan dari benda lain dalam jaringan yang sama. Selanjutnya, alamat *Internet Protocol* (IP) dalam benda-benda tersebut akan dikoneksikan ke jaringan internet.

Saat ini koneksi internet sudah sangat mudah didapatkan. Dengan demikian pengguna dapat memantau benda bahkan memberi perintah (*remote control*) kepada benda tersebut dengan koneksi internet. Setelah sebuah benda memiliki alamat IP dan terkoneksi dengan internet, pada benda tersebut juga dipasang sebuah sensor. Sensor pada benda memungkinkan benda tersebut memperoleh informasi yang dibutuhkan. Setelah memperoleh informasi, benda tersebut dapat mengolah informasi itu sendiri, bahkan berkomunikasi dengan benda-benda lain yang memiliki alamat IP dan terkoneksi dengan internet juga. Terjadi pertukaran informasi dalam komunikasi antara benda-benda tersebut. Setelah pengolahan informasi selesai, benda tersebut dapat bekerja dengan sendirinya, atau bahkan memerintahkan benda lain juga untuk ikut bekerja. Hal ini merupakan kelebihan dari IoT. IoT mampu menghubungkan miliaran atau triliun benda-benda yang memiliki IP melalui internet, sehingga ada kebutuhan kritis akan arsitektur berlapis fleksibel. Semakin banyak jumlah arsitektur yang diajukan belum terkonvergensi menjadi model referensi. Sementara itu, ada beberapa proyek seperti *Internet of*

Things (IoT-A) yang mencoba merancang arsitektur bersama berdasarkan analisis kebutuhan peneliti dan industri.

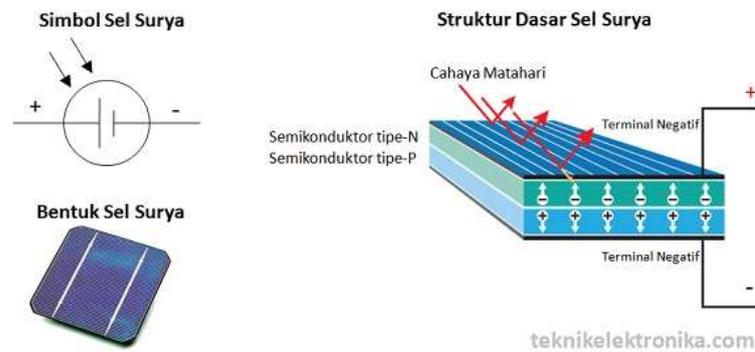
Pada abad ke-21, komputer pribadi dan ponsel digabungkan, menciptakan *smartphone* salah satu *platform* paling sukses sepanjang masa. Sekitar hampir ratusan miliar perangkat terhubung diramalkan pada tahun 2020, dimana sekitar 50 miliar akan terkait dengan IoT. Pada tahun 2018 IoT diperkirakan akan melampaui angka perangkat ponsel yang mencakup mobil, mesin, wearable dan elektronik konsumen lainnya yang terhubung. Antara tahun 2016 dan 2022, perangkat IoT diperkirakan meningkat sebesar 21% yang didorong oleh penggunaan baru. Pada akhir 2016, terdapat 400 juta IoT telah terkoneksi dengan ponsel dan jumlah tersebut diproyeksikan mencapai 1,5 miliar perangkat pada 2022 atau sekitar 70 persen dari kategori *wide-area*.

2.3 Solar Sel⁵

Photovoltaic (PV) adalah suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diexpose di bawah energi cahaya.

Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang terserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik.

⁵ Fahmi Azhar Hasibuan, *Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Kerja Panel Surya 50 Wp*, (Medan : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2020), hlm. 5



Gambar 2.1 Sel Simbol Dan Struktur Dasar Sel Surya

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *Photovoltaic* (PV). Yang dimaksud dengan Efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau *Solar Cell* sering disebut juga dengan Sel *Photovoltaic*.



Gambar 2.2 Sel Surya

(<https://www.greenoptimistic.com/japanese-solar-cell-efficiency-20170325/>)

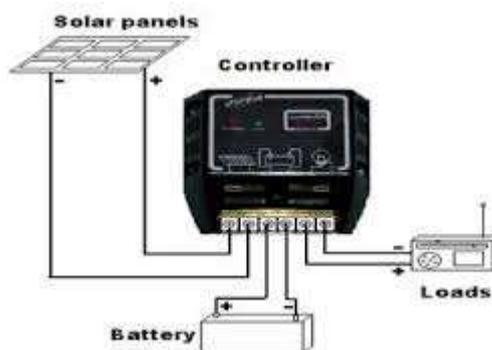
Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir. Sama seperti Dioda Foto (*Photodiode*), Sel Surya atau *Solar Cell* ini juga memiliki kaki Positif dan kaki Negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik. Pada dasarnya, Sel Surya merupakan Dioda Foto (*Photodiode*) yang memiliki permukaan yang sangat besar. Permukaan luas Sel Surya tersebut

menjadikan perangkat Sel Surya ini lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan Tegangan dan Arus yang lebih kuat dari Dioda Foto pada umumnya. Contohnya, sebuah Sel Surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5 V dan Arus setinggi 0,1 A saat terkena cahaya matahari.

Saat ini, telah banyak yang mengaplikasikan perangkat Sel Surya ini ke berbagai macam penggunaan. Mulai dari sumber listrik untuk Kalkulator, Mainan, pengisi baterai hingga ke pembangkit listrik dan bahkan sebagai sumber listrik untuk menggerakkan Satelit yang mengorbit Bumi kita.

2.4 *Charger Controller*¹³

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.



Gambar 2.3 *Wiring Diagram Charger Controller*

Solar charge controller menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / *solar cell* 12 Volt umumnya memiliki tegangan *output* 16-21 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14-14.7 Volt.

¹³<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/28843/E.%20BAB%20II.pdf?sequence=6&isAllowed=y>, diakses pada tanggal 4 April 2022



Gambar 2.4 *Charger Controller*

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging* Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar battery tidak *full discharge dan overloading*.
- b. *Monitoring* temperatur baterai

Untuk membeli *solar charge controller* yang harus diperhatikan adalah:

- a. Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC
- b. Kemampuan (dalam arus searah) dari kontroler. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
- c. *Full charge dan low voltage cut*.

Seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya / *solar cell* berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 *input* (2 terminal) yang terhubung dengan *output* panel surya / solar cell, 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban (*load*). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke

panel sel surya karena biasanya ada '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya / *solar cell* ke baterai, bukan sebaliknya.

2.4.1 Cara Kerja *Charger Controller*

Komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Solar charge controller* berfungsi untuk:

- a. *Charging mode*: Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau battery penuh).
- b. *Operation mode*: Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai 'kosong').

2.4.2 *Charging Mode Solar Charge Controller*

Dalam *charging mode*, umumnya baterai diisi dengan metoda *three stage charging*:

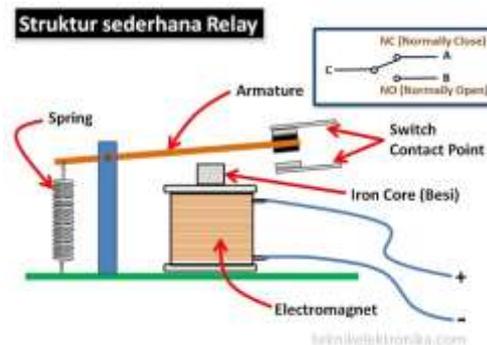
- a. Fase *bulk*: baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan setup (*bulk* – antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya / *solar cell*. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah fase *absorption*.
- b. Fase *absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller* timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- c. Fase *float*: baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13.4 -13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / *solar cell* pada stage ini.

Untuk *solar charge controller* yang dilengkapi dengan sensor temperatur baterai. Tegangan *charging* disesuaikan dengan temperatur dari baterai. Dengan sensor ini didapatkan optimum dari *charging* dan juga optimum dari usia baterai.

Apabila *solar charge controller* tidak memiliki sensor temperatur baterai, maka tegangan *charging* perlu diatur, disesuaikan dengan temperatur lingkungan dan jenis baterai.

2.5 Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang digerakkan secara elektrik dan menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan saklar yang dapat mengontrol daya tinggi seperti 220 volt dengan kontak menggunakan 5 volt dengan menggerakkan *armature* relay.



Gambar 2.5 Struktur Relay

Kontak Poin (*Contact Point*) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu :

- *Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *CLOSE* (tertutup)
- *Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *OPEN* (terbuka)

Berdasarkan gambar diatas, sebuah Besi (*Iron Core*) yang dililit oleh sebuah kumparan *coil* yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya Elektromagnet yang kemudian menarik *armature* untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi Saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana *armature* tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi *open* atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, *armature* akan kembali lagi ke posisi Awal (NC). *Coil* yang digunakan oleh Relay untuk menarik kontak poin ke posisi *close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.

2.6 Baterai¹³

Aki (baterai) adalah alat penyimpan energi yang di isi aliran DC dari panel surya, di samping menyimpan tenaga DC, aki juga berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik, pada dasarnya orang hanya mengetahui dua jenis aki yaitu aki primer dan aki sekunder. Umumnya baterai di gunakan pada peralatan elektronik seperti jam dindin yaitu menggunakan yang primer. Sedangkan sekunder digunakan untuk PLTS, hanya aki sekunder yang diminati. Suplai aliran listrik sumber surya ke alat-alat pemakaian listrik akan berhenti ketika malam hari, supaya bisa tahan lama dari pengisian dan pengeluaran arus yang tak terputus, umumnya aki *deep-cycle* yang di pakai pada sistem surya. Aki biasa yang terpasang pada mobil tidak cocok di pasang untuk menyimpan aliran listrik dari panel surya.



Gambar 2.6 Baterai VRLA
(Panelsuryajakarta.com)

Saat proses pengisian tenaga listrik solar panel di ubah menjadi tenaga listrik di dalam akumulator yang di simpan di dalamnya, pada saat tenaga listrik di dalam akumulator digunakan untuk mencatu energi dari peralatan listrik. Dengan terjadinya proses ini dapat di kenal dengan elemen primer dan sekunder. Contoh beterei yang cocok digunakan yaitu beterei VRLA AGM yang sering kali di sebut dengan aki kering. Baterai ini tertutup, dari tertutupnya sistem baterai ini maka memiliki maka uap yang akan keluar sangat sedikit, maka tidak perlu melakukan penambahan cairan atau elektolyte selama waktu penggunaan baterai ini.

Baterai adalah suatu alat penyimpan energi listrik yang dapat diisi (*charge*) setelah energi yang digunakan. Kapasitas atau kemampuan menyimpan energi ditentukan oleh semua komponen didalam batere seperti jenis material yang digunakan dan jenis elektrolitenya sehingga dikenal batere asam dan batere alkali.

¹³ Ibid, hlm.23

Alat untuk mengisi energi listrik kedalam betere dinamakan *rectifier (charging)* yang berfungsi mengubah arus bolak-balik menjadi searah dan tegangan *outputnya* sesuai dengan tegangan baterai. Kapasitas *rectifier* ini ditentukan oleh kapasitas batere, sehingga besarnya arus dan tegangan pengisian serta waktu sangat menentukan kondisi batere. Jika tegangan baik dan sesuai (lebih tinggi dari pada tegangan baterai) sehingga arus pengisian dapat mengalir mengisi baterai tersebut yang sesuai. Untuk mengetahui apakah batere sudah terisi penuh dan dapat menyimpannya dengan baik maka perlu dilakukan pengukuran kondisi batere dengan cara menguji secara simulasi beban yang dapat diatur sehingga arusnya pun.

2.7 Inverter¹³

Power Inverter atau biasanya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik DC (*Direct Current*) menjadi arus AC (*Alternative Current*) 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*).



Gambar 2.7 Inverter DC to AC
(teknikelektronika.com)

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

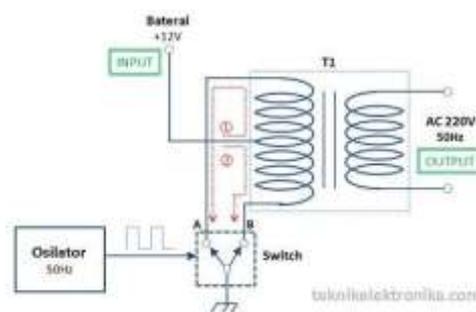
¹³ Ibid, hlm.32

peralatan-peralatan rumah tangga seperti Televisi, Kipas Angin, Komputer atau bahkan Kulkas dan Mesin Cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.

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, sudah banyak macam dan jenis inverter yang di jual.

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 2.8 *Inverter DC diagram*

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 NODEMCU ESP32

2.8.1 Mikrokontroler¹⁴

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi dan komputer *mainframe*, mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan *output* yang spesifik berdasarkan *input* yang diterima dan program yang dikerjakan. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler sebagai alat yang mengerjakan perintah-

¹⁴ https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/583-Full_Text.pdf, diakses pada tanggal 1 April 2022

perintah yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem komputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang programmer. Program ini memerintahkan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh programmer. Sistem dengan mikrokontroler umumnya menggunakan piranti *input* yang jauh lebih kecil seperti saklar atau keypad kecil. Hampir semua *input* mikrokontroler hanya dapat memproses sinyal *input* digital dengan tegangan yang sama dengan tegangan logika dari sumber. Tegangan positif sumber umumnya adalah 5 volt. Padahal dalam dunia nyata terdapat banyak sinyal analog atau sinyal dengan tegangan level.

2.8.2 NODEMCU ESP32-S¹⁵

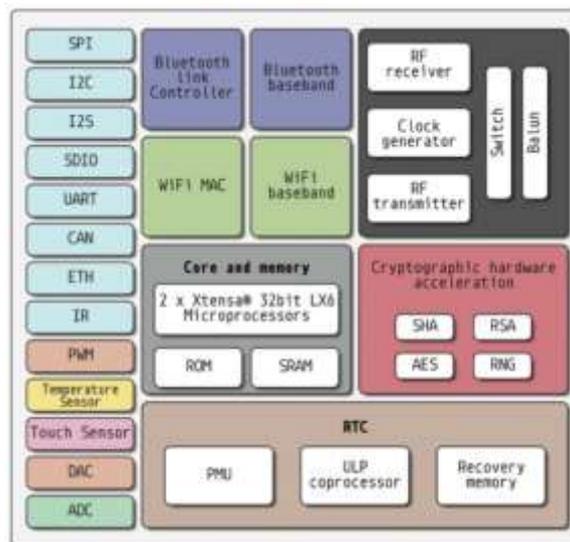
NODEMCU adalah sebuah *platform* IoT yang bersifat *opensource*. Terdiri dari perangkat keras berupa system on chip ESP32, juga *firmware* yang menggunakan bahasa pemrograman *scripting* lua. Istilah NODEMCU secara *default* sebenarnya mengacu pada *firmware* yang digunakan daripada perangkat keras *development* kit.

NODEMCU ESP32 merupakan sebuah perangkat keras berupa mikrokontroler chip terintegrasi dengan *input* dan *output* sehingga dapat memberikan kontrol beban dengan sinyal analog maupun digital. NODEMCU ESP32 memiliki 36 pin GPIO yang bisa difungsikan sebagai berikut:

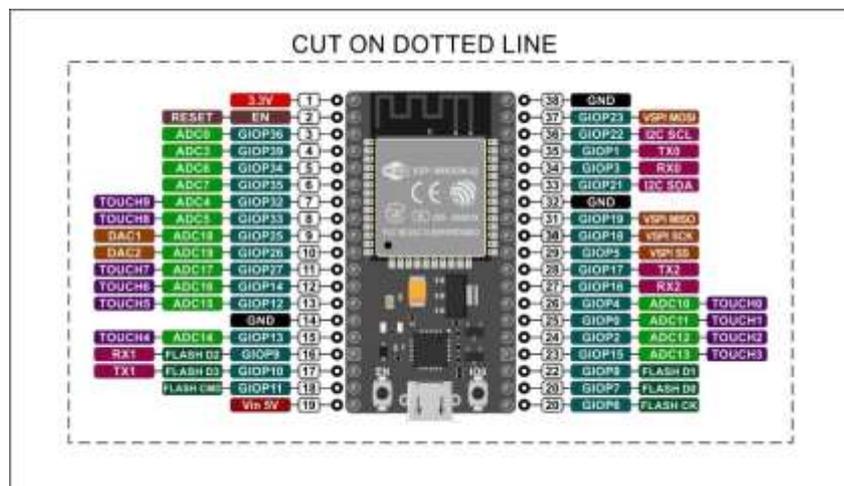
- *Analog to Digital Converter* (ADC) : 16 kanal SAR ADC 12 bit. Rentang ADC bisa diatur di dalam program, apakah 0-1 V, 0-1.4 V, 0-2V atau 0-4V.
- *Digital to Analog Converter* (DAC) : terdapat DAC 8 bit yang bisa menghasilkan tegangan analog.
- *Pulse Width Modulation* (PWM) : 16 kanal PWM yang bisa digunakan untuk mengendalikan LED atau motor.
- *Touch Sensor* : 10 GPIO memiliki kemampuan pengindera kapasitif yang dapat digunakan sebagai 10 tombol buttonpad.

¹⁵ <https://embeddednesia.com/v1/tutorial-nodemcu-pertemuan-pertama/>, diakses pada tanggal 30 Mei 2022

- UART : 2 kanal antarmuka UART. Satu diantaranya digunakan untuk mendownload program secara serial.
- I2C, SPI, I2S : Terdapat dua antarmuka I2C dan 4 antarmuka SPI untuk mengakses sensor dan perangkat ditambah lagi 2 antarmuka I2S.



Gambar 2.9 *Block Diagram ESP-32*
(embeddednesia.com)



Gambar 2.10 *Pin Out Module ESP-32S*
(forum.fritzing.org)

2.9 *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH*⁸



Gambar 2.11 *Automatic Transfer Switch*

Secara umum fungsi dari ATS adalah untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga (sumber utama & sumber cadangan) atau lebih yang terpisah yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan aliran daya menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS adalah untuk melakukan transfer daya secara otomatis ke beban, dari sebuah sumber utama (jaringan listrik) ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber utama. Secara luas ATS telah diaplikasikan di industri maupun perkantoran yang membutuhkan sistem kelistrikan dengan tingkat keandalan yang tinggi (Ginting & Sinuraya, 2014).

2.10 *Sensor PZEM-004T*¹¹

Sensor adalah sebuah perangkat canggih yang sering digunakan untuk mendeteksi dan merespon sinyal listrik atau optik. Sebuah sensor akan mengkonversi parameter fisik (misalnya: suhu, tekanan darah, kelembapan, kecepatan, dll) menjadi sinyal yang dapat diukur secara elektrik. Sebagai contoh: merkuri dalam *thermometer* kaca dan cairan benang dapat mengkonversi suhu sehingga dapat naik turun sesuai dengan suhu sensor. Ada beberapa kriteria untuk memilih sensor. Ada fitur tertentu yang harus dipertimbangkan ketika kita memilih sebuah sensor. Kriteria-kriteria tersebut adalah Akurasi, Kondisi Lingkungan, *Range* atau Batas Pengukuran, Kalibrasi, Resolusi, Biaya dan Pengulangan. Serta

⁸ Paul Hendry Ginting & Enda Wista Sinuraya, *Perancangan Automatic Transfer Switch (ATS) Parameter Transisi Berupa Tegangan dan Frekuensi dengan Mikrokontroler Atmega 16*, (Semarang: Universitas Diponegoro, 2014), hlm. 2

¹¹ Christin Thresia Lumbantobing, *Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Energi Listrik Maksimal 1000W Berbasis Smartphone Android Via Wifi*, (Medan: Universitas Sumatera Utara, 2020), hlm. 11

sensor mempunyai berbagai klasifikasi, yaitu kuantitas masukan primer (ukur), prinsip Transduksi, material teknologi, *property* dan aplikasi. Prinsip transduksi adalah kriteria dasar yang diikuti oleh pendekatan yang efisien. Biasanya kriteria bahan dan teknologi dipilih dalam kelompok rekayasa pembangunan.

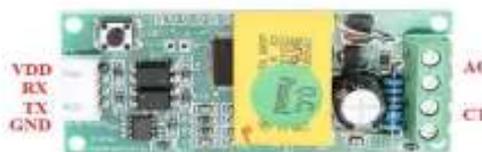
PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi dan *power factor*. Dengan kelengkapan fungsi ini, maka modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan sebagai proyek maupun eksperimen alat pengukur daya pada sebuah jaringan listrik seperti rumah atau gedung. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama *Peacefair*, ada yang model 10 ampere dan 100 ampere.



Gambar 2.12 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah sensor yang dapat mengukur arus, tegangan, *power* dan energi dari arus AC. Sensor ini mengeluarkan *output* dengan komunikasi serial. Jika dihubungkan dengan arduino maka komunikasi yang digunakan adalah komunikasi serial. Sensor PZEM-004T cukup mudah digunakan karena *output* nya langsung bias dibaca, baik berupa arus, tegangan, power maupun energi. Untuk kekurangan sensor ini sendiri tidak mampu membaca arus AC dengan ketelitian mili ampere. Modul PZEM-004T adalah sebuah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik. Modul ini sudah dilengkapi dengan sensor tegangan dan sensor arus (CT) yang sudah terintegrasi. Dalam penggunaannya, alat ini khusus penggunaan dalam ruangan (*indoor*) dan beban yang terpasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang sudah ditetapkan. PZEM-004T adalah *hardware* berfungsi untuk mengukur parameter dari tegangan, arus, daya aktif dan konsumsi daya (Wh). Pengkabelan dari modul ini memiliki 2 bagian, yaitu dari pengkabelan terminal masukan tegangan dan arus, serta pengkabelan komunikasi serial. Berdasarkan pada

kebutuhan, modul ini memiliki papan pin TTL untuk mendukung komunikasi data serial antar *hardware*. Jika pengguna ingin mengkomunikasikan PZEM-004T ini dengan perangkat yang memiliki port USB atau RS-232 (seperti komputer), diperlukan lagi kabel konverter (TTL ke USB, TTL ke RS232)



Gambar 2.13 Konfigurasi Pin Sensor PZEM-004T

Tabel 2.1 Fungsi Pin Sensor PZEM-004T

NO.	Pin	Fungsi
1.	Vcc	+5V
2.	Gnd	Ground
3.	Tx	RX (<i>Software Serial/Hardware Serial</i>)
4.	Rx	TX (<i>Software Serial/Hardware Serial</i>)

2.10.1 Fungsi Sensor PZEM-004T

Modul PZEM-004T terutama digunakan untuk mengukur tegangan AC, arus, daya aktif, frekuensi, factor daya dan energi aktif, modul tanpa fungsi tampilan, dan dibaca melalui interface TTL. Interface TTL dari modul ini adalah interface pasif membutuhkan catu daya eksternal 5V, yang berarti ketika berkomunikasi keempat port harus terhubung (5V, RX, TX, GND) jika tidak ia tidak dapat berkomunikasi. PZEM-004T 10A dengan rentang pengukuran 10A (*Built-in Shunt*). PZEM-004T 100A dengan rentang pengukuran 100A (*External Transformer*). Fungsi PZEM-004T yaitu:

1. Tegangan

- a. Rentang Pengukuran : 80~260V.
- b. Resolusi : 0.1V.
- c. Ketepatan ukur : 0.5%.

2. Arus

- a. Rentang pengukuran : 0~10A (PZEM-004T-10A);0~100A (PZEM-004T 100A).

- b. Mulai mengukur arus : 0.01A (PZEM-004T-10A);0.02A (PZEM-004T-100A).
- c. Resolusi : 0.001A.
- d. Ketepatan ukur : 0.5%.

3. Daya

- a. Rentang pengukuran : 0~2.3kW (PZEM-004T-10A);0~23kW (PZEM-004T-100A).
- b. Mulai mengukur daya : 0.4W.
- c. Resolusi : 0.1W.
- d. Format tampilan :
 - <1000W, ini menampilkan satu desimal, seperti: 999.9W
 - ≥1000W, ini hanya menampilkan integer, seperti: 1000W
- a. Ketepatan ukur : 0.5%.

4. Faktor Daya

- a. Rentang pengukuran : 0.00~1.00
- b. Resolusi : 0.01
- c. Ketepatan ukur : 1%.

5. Frekuensi

- a. Rentang pengukuran : 45Hz~65Hz.
- b. Resolusi : 0.1Hz.
- c. Ketepatan ukur : 0.5%.

6. Energi

- a. Rentang pengukuran : 0~9999.99kWh.
- b. Resolusi : 1kWh.
- c. Ketepatan ukur : 0.5%.
- d. Format tampilan :
 - <10kWh, unit display adalah Wh (1kWh=1000Wh), seperti : 9999Wh
 - ≥10kWh, unit display adalah kWh, seperti : 9999.99kWh.
- b. Reset energi : gunakan perangkat lunak untuk mereset.

2.10.2 Prinsip Kerja Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah sensor untuk mengukur tegangan, arus dan daya aktif yang dapat dihubungkan melalui nodemcu ataupun *platform opensource* lainnya. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah 3,1 x 7,4 cm. Modul PZEM-004T dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A. Untuk dapat bekerja modul sensor PZEM-004T dihubungkan dengan sumber tegangan AC sehingga nilai daya dan energi listrik dapat diketahui oleh modul sensor PZEM-004T tersebut. Sesuai *datasheet*, modul sensor PZEM-004T memiliki prinsip kerja yaitu bekerja pada tegangan 80~260VAC, tegangan test yaitu 80~260VAC, daya 100A/22.000W, dan frekuensi 45~65Hz.

2.11 Kabel¹⁸

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



Gambar 2.14 Kabel

2.12 *WiFi Portable*¹⁹

WiFi portable merupakan *router* internet yang dapat digunakan secara berpindah. Pada dasarnya, jika *router WiFi* secara umum tersambung pada kabel optik yang dipasang oleh *provider* penyedia layanan internet, maka sebaliknya *WiFi portable* tidak tersambung kabel. Pada proyek ini *WiFi portable* ini berfungsi sebagai penyuplai sinyal ke sensor agar dapat dimonitor melalui aplikasi yang ada pada *smartphone*.

¹⁸ <https://www.coursehero.com/file/p6ur7uu6/Penyangga-dan-Sistem-Pelacak-Mounting-and-Tracking-Systems-Modul-surya-harus/>, diakses pada 1 Juni 2022

¹⁹ <https://www.ekrut.com/media/wifi-portable>, diakses 7 Juni 2022



Gambar 2.15 WiFi Portable

2.12.1 Prinsip Kerja Wifi⁷

Secara singkat cara kerja dari *WiFi* pada komputer yaitu *Wireless LAN* yang telah di konfigurasi sehingga menjadi *WiFi* akan menerima data dari komputer yang berbentuk digital. Selanjutnya data tersebut akan diubah menjadi sinyal radio lalu dikirimkan ke *router*, pengiriman gelombang ini melalui antena yang ada pada adaptor. Dan sinyal dari *router* akan mengirimkan data yang telah di olah dari internet ke komputer yang sudah tersambungkan dengan *WiFi* adaptor.

2.12.2 Fungsi Wifi

Dari penjelasan di atas maka dapat diambil kesimpulan, bahwa *WiFi* Berfungsi sebagai:

1. Untuk Koneksi Ke jaringan Internet

Dapat menghubungkan perangkat PC, laptop maupun *smartphone* yang mendukung *WiFi* ke jaringan internet tanpa menggunakan kabel, sehingga lebih praktis dan cepat.

2. *Sharing File*

Perangkat yang mendukung *WiFi* memungkinkan dapat saling berbagi data/File tanpa menggunakan kabel, sehingga lebih praktis dan tidak ribet.

3. Menghubungkan *Handphone* ke PC

Saat ini *handphone* semakin canggih dan sudah mendukung WiFi, dengan tambahan aplikasi tertentu maka *handphone* kita dapat terhubung ke PC atau

⁷ Roberto Corputty, Interworking Wimax dan Wifi, (Merauke: Universitas Musamus Merauke), hlm. 13

Laptop tanpa menggunakan USB cukup dengan *WiFi* saja, dan tentunya PC atau Laptop kita juga harus mendukung perangkat wireless.

4. Menjadikan *Handphone* Sebagai Modem

Bukan Hanya sebagai penerima sinyal *WiFi* saja, tapi *smartphone* juga bisa menjadi modem *portable* lebih tepatnya sebagai pemancar sinyal radio atau *hotspot*. Sehingga jika di hubungkan ke perangkat Laptop/PC yang mendukung *WiFi*, maka Laptop/PC tersebut dapat mengakses internet.

5. Kecepatan yang Baik

Bagi pengguna *smartphone* tentunya kecepatan jika menggunakan *WiFi* lebih baik daripada menggunakan jaringan seluler biasa saat mengakses Internet. Banyak sekali pengguna *smartphone* yang menggunakan *WiFi* untuk mengakses streaming video, dan mendownload file, karena akses yang cepat dan mudah. Selain itu alasan lainnya menggunakan *WiFi* karena hemat biaya.

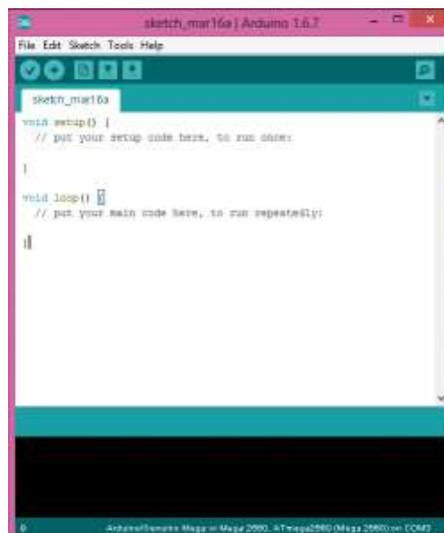
2.13 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi dalam pengendalian dan perancangan program di dalam *development board*. Secara harfiah berarti arduino IDE mempunyai bahasanya sendiri yang menyerupai bahasa C.

Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan *library C/C++* yang biasa disebut *wiring* yang membuat operasi *input* dan *output* menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari *software processing* yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino.¹⁰

Program yang ditulis dengan menggunakan Arduino *Software* (IDE) disebut sebagai sketch. Sketch ditulis dalam suatu editor teks dan disimpan dalam file dengan ekstensi *.ino*. Teks editor pada Arduino *Software* memiliki banyak fitur seperti *cutting/paste* dan *searching/replacing* sehingga memudahkan kamu dalam menulis kode program.

¹⁰ Wahyu Syahputra, Perancangan Sistem Keamanan Brankas Bertingkat Menggunakan KTP Elektronik dan Verifikasi Smartphone, (Medan: Universitas Harapan Medan, 2022)



Gambar 2.16 Tampilan dari *Software* Arduino IDE
(*Sinauarduino.com*)

2.14 Multimeter Digital¹²

Multimeter digital atau sering juga disebut sebagai digital multimeter sama merupakan jenis multimeter yang telah menggunakan *display* digital sebagai penampil hasil ukurnya. Hasil ukur yang ditampilkan pada multimeter digital merupakan hasil yang telah sesuai, sehingga tidak perlu dilakukan lagi perhitungan antara hasil ukur dan batas ukur.

Multimeter digital berdasarkan tegangan yang dikonversi ke sinyal digital
Bagian-bagian Multimeter Digital:

- *Display* digital
- Saklar pemilih
- Lubang kutub
- Saklar pemilih polaritas
- Kotak meter
- Skala

¹² <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/mengenal-jenis-dan-fungsi-pada-multimeter/>, diakses pada tanggal 10 Mei 2022



Gambar 2.17 Multimeter Digital
(WWW.Google.com)

2.14.1 Fungsi Multimeter¹⁶

Fungsi ukur yang dimiliki setiap multimeter ada beberapa macam tergantung tipe dan merk multimeter. Akan tetapi pada umumnya setiap multimeter / multimeter memiliki 3 fungsi ukur utama yaitu sebagai alat ukur arus, tegangan dan resistansi. Berikut adalah beberapa fungsi ukur yang ada pada multimeter.

- Ampere Meter

Ampere meter adalah salah satu fungsi ukur pada multimeter yang berfungsi untuk mengukur arus listrik. Pada multimeter pada umumnya terdiri dari 2 jenis ampere meter yaitu ampere meter DC dan ampere meter AC. Pada multimeter analog dan digital pada fungsi ampere meter ini saklar selektor berfungsi sebagai batas ukur maksimum, oleh karena itu arus yang akan diukur harus diprediksikan dibawah batas ukur multimeter yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan pada multimeter.

¹⁶ <https://teknikjaya.co.id/fungsi-multimeter-digital-analog/>, diakses pada tanggal 10 Mei 2022

- Volt Meter

Volt meter merupakan fungsi ukur untuk mengetahui level tegangan listrik. Sama halnya dengan fungsi multimeter sebagai ampere meter. Pada fungsi volt meter ini saklar selektor yang ada pada multimeter baik digital maupun analog berfungsi sebagai batas ukur maksimum, oleh karenanya harus diprediksikan level tegangan yang akan diukur harus dibawah nilai batas ukur yang dipilih.

- Ohm Meter

Ohm meter merupakan salah satu fungsi multimeter yang berfungsi untuk mengetahui nilai resistansi suatu resistor atau komponen elektronika yang memiliki unsur resistansi. Pada fungsi ohm meter ini untuk multimeter analog saklar selektor berfungsi sebagai multiplier sedangkan pada multimeter digital saklar selektor berfungsi sebagai batas ukur maksimum suatu resistansi yang dapat dihitung oleh multimeter tersebut.

2.14.2 Kelas Ketelitian Alat Ukur²⁰

Salah satu sifat yang sangat diperlukan pada alat ukur listrik ialah ketelitian/kecermatan.

Tergantung dari besar kecilnya ketelitian tersebut alat-alat ukur dibagi menjadi :

- Alat cermat atau alat presisi ($< 0,5\%$).
- Alat kerja ($\pm 1 \div 2 \%$).
- Alat ukur kasar ($> 3 \%$).

Ketelitian alat ukur tergantung dari besar atau kecilnya salah ukur pada alat tersebut dan dinyatakan dalam prosen. Jika sebuah ampere diumpamakan mengukur paling tinggi 5 ampere dan alat tersebut mempunyai kecermatan + 5%, berarti angka maksimum yang ditunjukkan ampere meter tersebut 5% lebih tinggi dari yang sebenarnya. Jadi pada pengukuran 5 ampere harga sebenarnya, adalah:

$$5 - (5\% \times 5) = 4,75 \text{ ampere}$$

²⁰ <https://www.slideshare.net/RedoPariansah/5-instrumentasi-dan-pengukuran-listrik-mkk>, diakses pada tanggal 20 Juni 2022 pukul 10.15

2.15 Daya Aktif

Daya nyata merupakan daya Sebenarnya yang dibutuhkan beban.. Daya Aktif dihasilkan dari hasil perkalian Daya Semu dengan Faktor Daya (Cosphi). Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif.

$$P = V.I. \text{ Cos } \phi \dots\dots\dots (2.1)^9$$

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.2)^4$$

$$V = I.R \dots\dots\dots (2.3)^{19}$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Cos ϕ = 0,85

2.16 Selisih Hasil Ukur

Untuk menghitung selisih hasil ukur antara multimeter dengan sensor menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ Selisih Ukur} = \frac{|A-B|}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)^{17}$$

Keterangan :

A = Hasil pembacaan sensor (*realtime*).

B = Hasil ukur multimeter.

⁹ Nanang Setiaji, *Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik*, (Jakarta : Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, 2021)

⁴ B.L Theraja, *Worked Example in Electrical Technology*,(New Delhi: Techouse, 1983), hlm.29

¹⁹ Ibid, hlm.30

¹⁷ <https://www.cara.aimyaya.com/2019/02/cara-menghitung-persentase-penurunan.html>, diakses pada tanggal 20 Juni 2022 pukul 15.15