

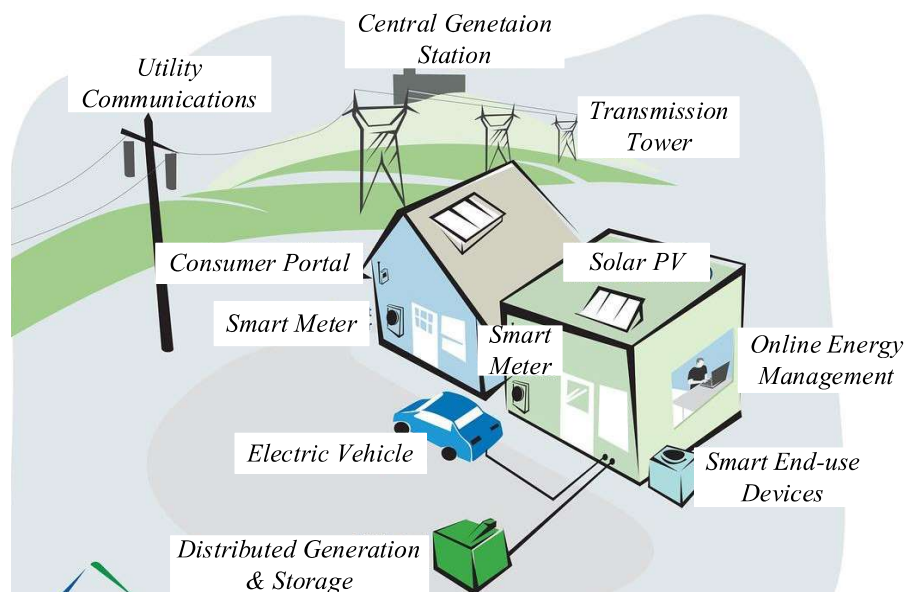
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Smart Grid*

Smart grid merupakan konsep jaringan listrik modern yang perencanaan, pengembangan, dan penelitiannya telah dimulai sejak 10 tahun yang lalu. Penelitian *smart grid* mempunyai visi bahwa jaringan *power system* harus fleksibel dalam memenuhi kebutuhan konsumen, mudah diakses, reliabel, dan ekonomis.

Kelayakan dan keandalan suplai listrik merupakan salah satu parameter yang vital dalam distribusi energi khususnya untuk lintas aplikasi atau operator. Informasi yang tersedia di masing-masing area pembangkit, transmisi, dan distribusi biasanya hanya untuk masing-masing jaringan listrik lokal dan data sistem tersebut belum berbasiskan data yang *real time*. Permasalahan tersebut yang menjadi tantangan ke depan agar jaringan listrik mampu lebih berkualitas dengan tingkat keandalan yang tinggi serta aman dari gangguan. Gambar 2.1 adalah konsep dari *smart grid*.



Gambar 2.1 Konsep *Smart Grid* [16]

Gambar 2.1 menunjukkan konsep serta model *smart grid*. Jaringan *smart grid* terdapat beberapa peralatan digital seperti data kolektor dan *recording*, otomatisasi,

sensor, *smart meter*, *real time data display*, data manajemen, dan aplikasi komunikasi dua arah ditambahkan dalam jaringan listrik [16].

2.2 Peralatan Listrik Rumah Tangga

Peralatan listrik rumah tangga ialah peralatan yang besumber dari sambungan tegangan listrik AC, baik yang bersumber dari PLN maupun sumber lain. Tegangan listrik AC terpasang pada rumah tangga harus berstandar terutama di Indonesia, implementasinya adalah tegangan standar antara hantaran fasa ke hantaran netral adalah 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz [17].

Ketika beban peralatan listrik rumah tangga aktif, beban tersebut mengonsumsi tegangan dan arus terhadap waktu yang disebut dengan daya. Daya aktif (*aktif power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, dan satuan daya aktif adalah Watt. Daya aktif dapat dihitung dalam Persamaan (2.1) [13]:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.1)$$

Keterangan:

P = Daya

V = Tegangan

I = Arus

$\cos\varphi$ = Faktor daya

Persamaan (2.1) adalah persamaan daya aktif yang dimana, hasil daya aktif dihasilkan dari perkalian tegangan, arus, dan faktor daya. Perhitungan konsumsi daya sehari dalam Persamaan (2.2) [18]:

$$\text{Konsumsi Daya}(Wh) = t \cdot P \cdot n \quad (2.2)$$

t = Lama beban dihidupkan (jam)

P = Daya beban (watt)

n = Jumlah beban

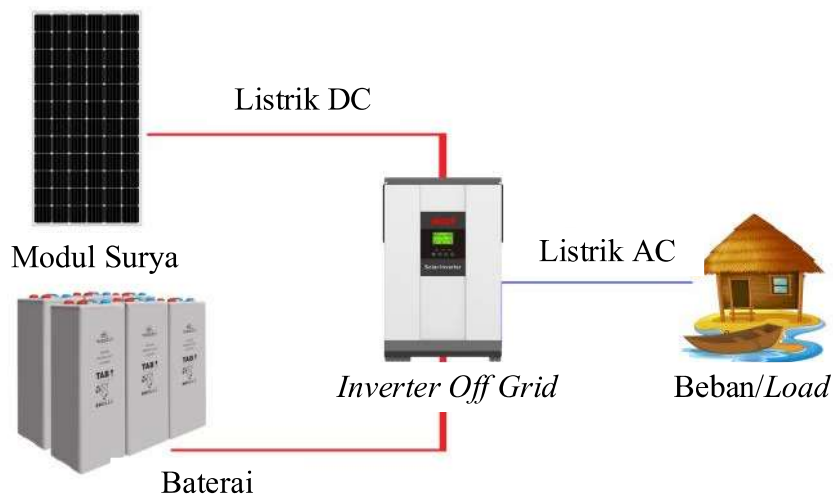
Persamaan (2.2) adalah persamaan konsumsi daya, dalam perhitungan konsumsi daya dihasilkan melalui besar daya listrik yang digunakan beban dan lama beban digunakan dalam satu hari [18].

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkit listrik dimana energi matahari diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan teknologi *PhotoVoltaic* (PV) atau sel surya. *Photovoltaic* atau sel surya adalah piranti semikonduktor yang dapat merubah radiasi matahari secara langsung menjadi arus listrik searah atau *Direct Current* (DC) dengan menggunakan kristal Silicon (Si) yang tipis. Proses di dalam sel surya, tegangan yang dihasilkan tergantung dari intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi [18].

2.4 PLTS *Off Grid*

PLTS *off grid* sering disebut juga PLTS *stand alone* artinya sistem hanya disuplai oleh panel surya saja tanpa ada pembangkit jenis lain misalnya PLTD. Sistem tipe ini hanya tergantung pada matahari seutuhnya, karena panel tidak mungkin mendapatkan sinar matahari terus menerus terutama malam hari, maka sistem ini membutuhkan media penyimpan yaitu baterai. Gambar 2.2 adalah skema dari PLTS tipe *off grid*.



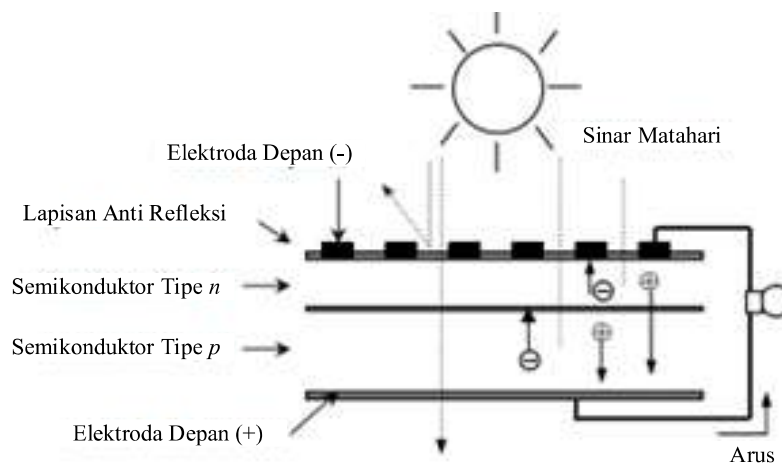
Gambar 2.2 Skema Dasar PLTS *Off Grid* [19]

Gambar 2.2 adalah skema PLTS *off grid*, suatu PLTS dengan konfigurasi *off grid* memiliki komponen yang diantaranya panel surya, *Solar Charge Controller*

(SCC), baterai dan *inverter*. Menentukan kapasitas panel dan baterai untuk digunakan harus dihitung secara akurat, karena jika perhitungannya tidak tepat mengakibatkan ketidaksanggupan PLTS menyuplai beban listrik karena baterai kehabisan daya listrik. Sistem *off grid* umumnya kapasitas baterai ditambah untuk mengantisipasi dihari tersebut tidak ada sinar matahari atau kondisi cuaca berawan yang disebut *Days of Autonomy* (DoA), dan berdasarkan pertimbangan biaya, kapasitas baterai ditambahkan dari 1 s.d. 2 kali periodenya [19].

2.4.1 Panel Surya

Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe *p* dan *n* (*p-n junction semiconductor*) yang jika terkena matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses efek *photovoltaic* dapat dilihat Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Proses Efek *Photovoltaic* [18]

Gambar 2.3 adalah proses dari efek *photovoltaic*. Prinsip kerja sel surya Ketika sinar matahari terdiri dari foton-foton jatuh pada permukaan bahan sel surya (*absorber*), hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai sejumlah energi elektron menjadi pembawa *n* dan meninggalkan *hole*, pembawa *p*. Pembawa *p* akan bergerak menuju persambungan demikian juga pembawa *n* akan bergerak ke persambungan, perpindahan tersebut menghasilkan beda potensial. Arus dan daya yang dihasilkan

PV ini dapat dialirkan ke rangkaian luar. Energi foton terlalu besar dari energi *band-gap*, maka ekstra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada sel surya [18].

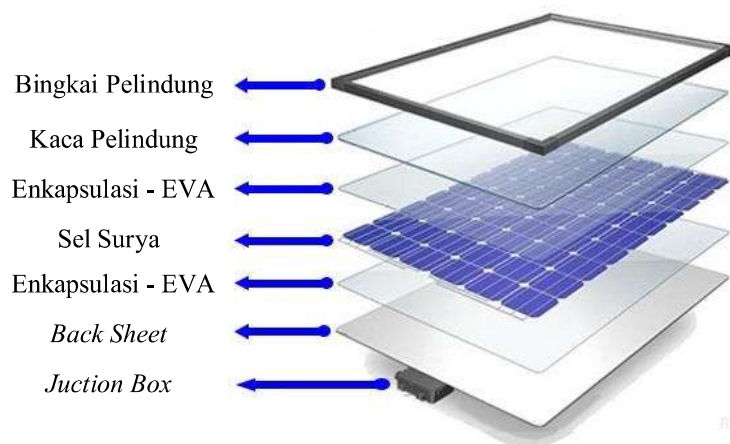
Sel surya adalah bentuk sel PV yang kapasitas daya panel surya diukur dalam satuan Wp (Watt *peak*). Perhitungan untuk kebutuhan banyak panel surya akan digunakan dalam sistem PLTS dapat dilihat di Persamaan (2.3) [18]:

$$\text{Kapasitas panel surya} = \frac{\text{Total konsumsi harian}}{\text{waktu penyinaran matahari}} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) adalah persamaan untuk mencari kebutuhan panel surya yang dihasilkan oleh pembagian dari total konsumsi harian dengan waktu penyinaran matahari. Panel surya memiliki jenis-jenis yang berbeda yang digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya, dan salah satu jeni sel surya yang di pakai dalam penelitian ini adalah bertipe *monocrystalline*.

1. *Monocrystalline*

Monocrystalline terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis. Jenis panel surya *monocrystalline* terdiri dari batang kristal Silikon murni yang diiris tipis dan memerlukan teknologi khusus untuk memotong kristal Silikon menjadi potongan tipis. Teknologi sel surya *Monocrystalline* menjadi paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya yang memiliki nilai efisensi sekitar 15% s.d. 20% [18]. Bagian-bagian dari panel surya *monocrystalline* dapat dilihat di Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bagian-bagian Panel Surya [18]

Gambar 2.4 adalah bagian-bagian panel surya yang memiliki fungsi berbeda-beda, seperti bingkai aluminium berfungsi untuk melindungi tepi bagian laminasi yang menampung sel-sel dan untuk pemasangan modul surya pada sistem PLTS. *Etilen Vinil Asetat* (EVA) merupakan lapisan polimer yang dirancang khusus untuk menahan sel surya pada posisinya selama pembuatan. *Backsheet* adalah bagian belakang modul surya yang berfungsi sebagai isolasi listrik dan penghalang kelembaban. *Junction box* modul surya merupakan hubungan output daya modul surya yang berada pada bagian belakang dan berfungsi sebagai interkoneksi dengan modul surya lainnya [20].

2.4.2 Inverter

Inverter adalah bagian penting dalam sistem PLTS, *inverter* berfungsi mengubah arus searah atau *direct current* (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC). Salah satu contoh *inverter* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Inverter* [19]

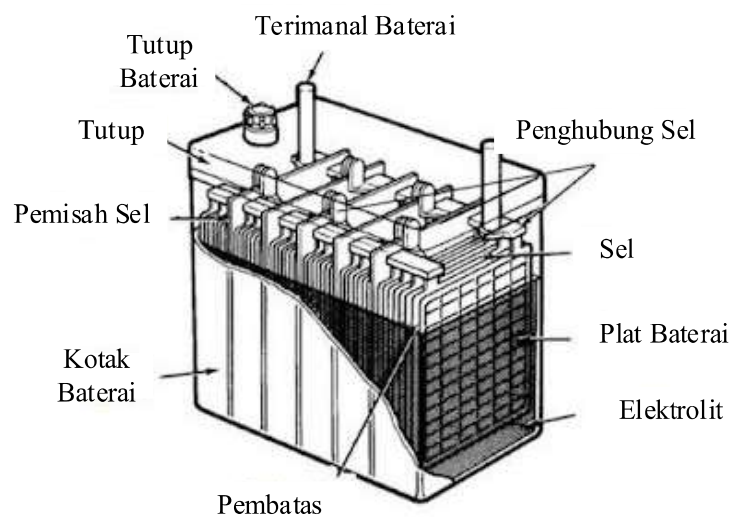
Gambar 2.5 adalah salah satu inverter *off grid* yang mana bekerja karena adanya tegangan DC dari panel surya. Tegangan DC cenderung tidak konstan karena radiasi matahari yang berubah-ubah, dengan adanya *inverter* menjadi tegangan AC yang konstan yang siap disambungkan pada alat elektronik. Parameter tegangan dan arus pada keluaran *inverter* harus sesuai dengan standar baku nasional atau internasional [19].

2.4.3 Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan sementara listrik yang dihasilkan modul surya, agar dapat digunakan pada saat energi matahari tidak ada. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau *Ampere hours*. Perhitungan untuk kebutuhan banyak baterai akan digunakan dalam sistem PLTS dapat dilihat di Persamaan (2.4) [18]:

$$Kapasitas\ baterai = \frac{Total\ konsumsi\ harian}{Tegangan\ baterai} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) adalah persamaan untuk menghitung kebutuhan kapasitas baterai yang dihasilkan dari pembagian total konsumsi harian dengan tegangan baterai. Beberapa teknologi baterai yang umum dikenal adalah *lead acid*, *alkalin*, NiFe, Ni-Cad, dan Li-ion. Masing-masing jenis baterai memiliki kelemahan dan kelebihan baik dari segi teknis maupun ekonomi (harga). Baterai yang digunakan dari sistem PLTS dapat dilihat pada Gambar 2.6.

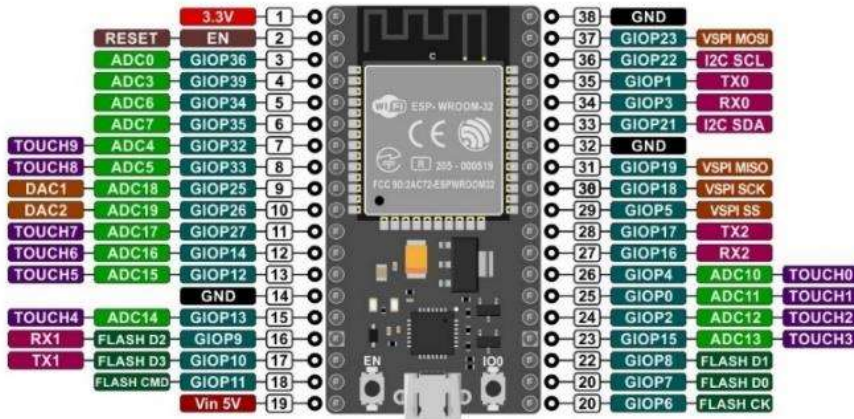


Gambar 2.6 Baterai [18]

Gambar 2.6 adalah baterai *lead acid* yang dinilai lebih unggul dari jenis lain jika mempertimbangkan segi teknis dan ekonomi. Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS dan juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran [18].

2.5 ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Berikut adalah susunan kaki-kaki *board* ESP32 diperlihatkan di Gambar 2.7.

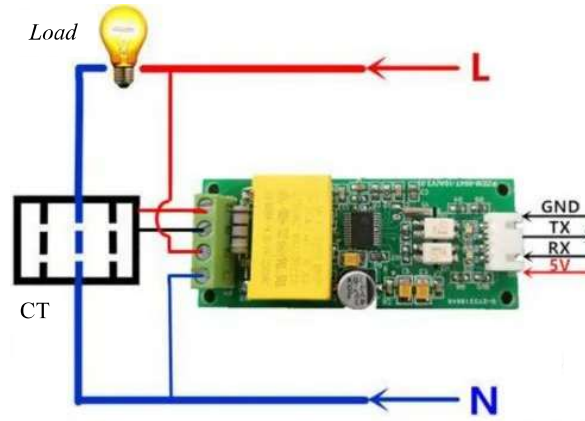


Gambar 2.7 Pin Out Mikrokontroler ESP32 [20]

Gambar 2.7 merupakan penjelasan *pin out* dari mikrokontroler ESP32. ESP32 memiliki modul WiFi dalam *chip* sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi IoT. ESP32 ini juga dapat di program melalui aplikasi Arduino IDE. Pemilihan ESP32 memudahkan di pemograman dan memiliki *pin input* dan *input output* yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim data [20].

2.6 Sensor PZEM-004t

Sensor PZEM-004t adalah alat sensor yang berfungsi untuk mengukur parameter dari tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi daya (Wh). Sensor PZEM-004t dapat digunakan untuk menampilkan konsumsi energi listrik secara waktu nyata. Sensor PZEM-004t dapat dilihat pada Gambar 2.8.

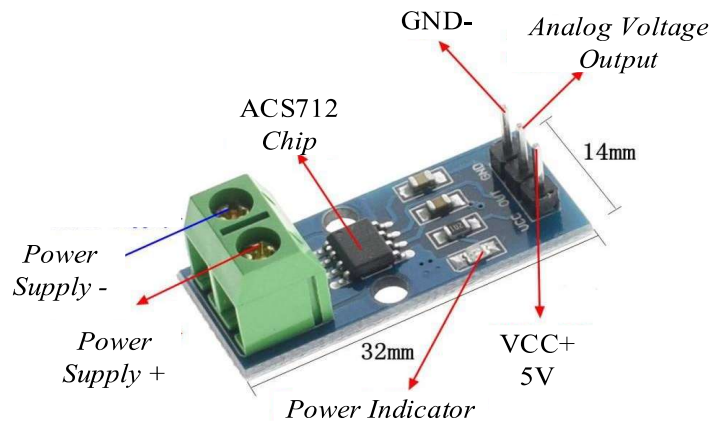


Gambar 2.8 Sensor PZEM-004t [21]

Gambar 2.8 adalah sensor PZEM-004t yang memiliki sistem kabel yang digunakan pada modul ini memiliki 2 bagian, yaitu dari kabel terminal masukan tegangan dan arus, serta kabel komunikasi serial. Berdasarkan pada kebutuhan, modul ini memiliki papan *pin* TTL untuk mendukung komunikasi data serial antar perangkat keras. Jalur komunikasi PZEM-004t menggunakan *port* USB atau RS-232 [21].

2.7 Sensor ACS712

ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang mana berguna sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relatif besar dalam hal ukuran. Sensor ACS712 dapat dilihat pada Gambar 2.9.

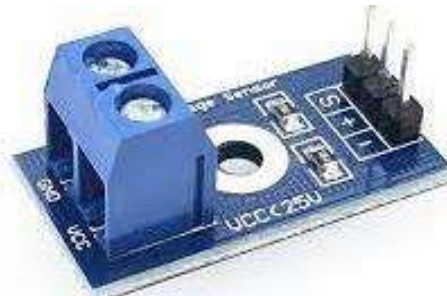


Gambar 2.9 Sensor ACS712 [22]

Gambar 2.9 merupakan sensor ACS712, pada prinsipnya ACS712 sama dengan sensor *efek hall* lainnya yaitu memanfaatkan medan magnetik disekitar arus kemudian dikonversi menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini merupakan *input* untuk mikrokontroler yang kemudian diolah. Keluaran dari sensor ini berupa sinyal tegangan DC dan dibaca oleh *pin* dari mikrokontroler [22].

2.8 Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang didasari perinsip rangkaian pembagi tegangan. Tegangan sumber yang akan dibaca kemudian akan dibagi oleh rangkaian komponen resistor yang akan menurunkan tegangan sumber menjadi tegangan 0 s.d. 3,3 Volt DC, sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler. Sensor tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.10.

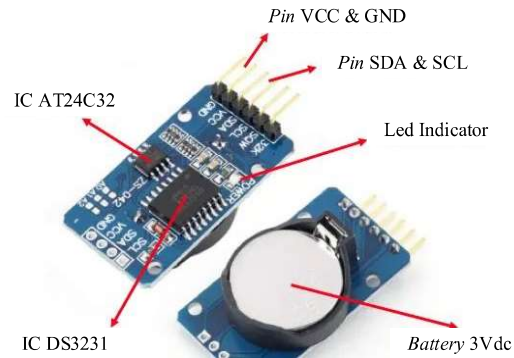


Gambar 2.10 Sensor Tegangan [22]

Gambar 2.10 adalah sensor tegangan yang merupakan sebuah rangkaian sederhana yang bisa mengubah arus listrik tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi utama dari pembagi tegangan di dalam rangkaian elektronika adalah untuk membagi tegangan *input* menjadi satu atau beberapa tegangan *output* yang dibutuhkan oleh komponen lain dalam rangkaian [22].

2.9 Modul RTC (*Real Time Clock*)

Real time clock (RTC) adalah perangkat untuk menghasilkan waktu yang tepat karena dilengkapi pembangkit waktu dan dilengkapi baterai. Modul RTC dapat dilihat pada Gambar 2.11

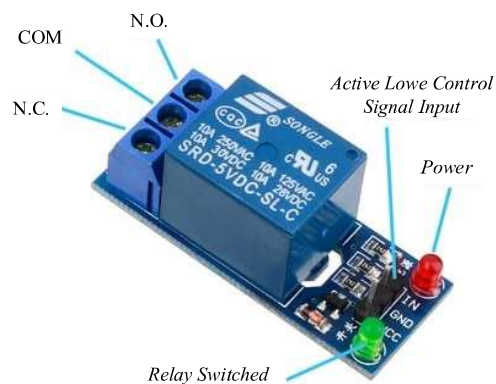


Gambar 2.11 Modul RTC (*Real Time Clock*) [23]

Gambar 2.11 adalah modul RTC DS3231. RTC DS3231 mampu mengakses data waktu secara *real time* mulai dari detik, menit, jam, hari, bulan, dan tahun. RTC sebelum digunakan dikalibrasi ulang jika waktu di RTC sudah tidak menunjukkan waktu yang tepat [23].

2.10 Relai

Relai adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau *switch* elektrik yang dioperasikan arus secara programmable. Relai digunakan untuk mengatur kondisi-kondis untuk perpindahan catu daya. Modul relai dapat dilihat pada Gambar 2.12.



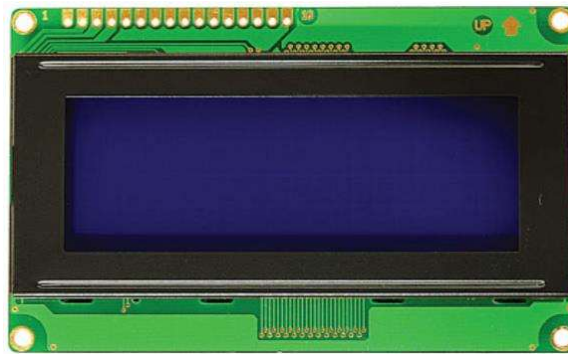
Gambar 2.12 Relai [23]

Gambar 2.12 merupakan relai atau biasa disebut sebagai komponen *electromechanical* atau elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu *coil* atau electromagnet dan kontak saklar atau mekanikal. Komponen relai

menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau *low power* dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi [23].

2.11 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) adalah perangkat yang berfungsi sebagai media penampil dengan memanfaatkan kristal cair sebagai objek penampil utama. LCD 20x4 dapat dilihat pada Gambar 2.13.

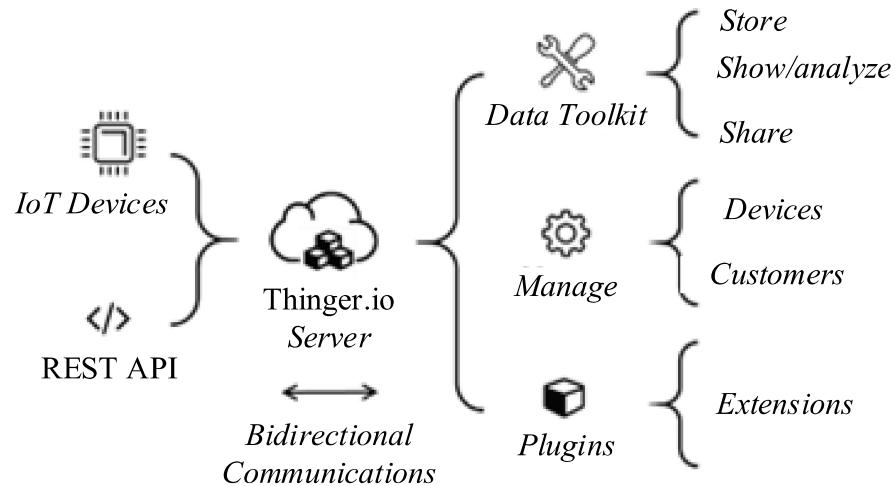


Gambar 2.13 LCD 20x4 I2C [21]

Gambar 2.13 adalah LCD yang digunakan adalah LCD berukuran 20x4 karakter dengan tambahan *chip* modul I2C untuk mempermudah programmer nantinya dalam mengakses LCD. Penggunaan modul I2C akan lebih menghemat penggunaan *pin* pada mikrokontroler, dengan hanya diperlukan 4 buah *pin*, yaitu *pin* SCL, *pin* SDA, *pin* VCC, dan *pin* GND [21].

2.12 *Platform Thinger.io*

Platform Thinger.io merupakan *platform Internet of Things (IoT)* berbasis *cloud open-source*. Model komunikasi Thinger.io dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Model Komunikasi Thingier.io [14]

Gambar 2.14 merupakan model komunikasi dari Thingier.io ini berfungsi untuk media pembacaan dan penerimaan data sensor yang digunakan untuk mempermudah suatu proses *monitoring*, sehingga dapat menghubungkan perangkat keras yang akan mengirimkan data sensor menuju *cloud* Thingier.io. Thingier.io dapat dihubungkan ke berbagai jenis *board* arduino yang menggunakan *ethernet*, Wi-Fi, GSM atau *board* lain yang didukung seperti TI CC3200, NodeMCU, dan ESP32. *Client library* memungkinkan menghubungkan perangkat IoT pengguna ke *platform cloud* Thingier.io. Pemakaian *library* Thingier.io sudah dirancang untuk Arduino IDE, yang mana dapat mudah memprogram perangkat untuk dihubungkan ke Thingier.io dalam waktu singkat [14].

2.13 Kajian Pustaka

Kajian pustaka digunakan sebagai perbandingan dari penelitian sejenis serta sumber informasi penelitian seperti penelitian mengenai perancangan pengatur suplai daya listrik pada sistem gabungan pembangkit listrik tenaga surya dengan jala-jala listrik PLN. Rancangan pengatur suplai daya memanfaatkan PLTS *off grid* dan sumber listrik PLN dengan parameter pergantiannya berdasarkan radiasi matahari 600 s.d. 700 Watt/m². Rancangan pengatur suplai daya listrik ketika radiasi matahari mencapai 1000 Watt/m² maka seluruh beban menggunakan sumber PLTS, sedangkan ketika radiasi matahari di bawah 600 Watt/m² maka beban

menggunakan sumber PLN [24]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah pendistribusian sumber PLN ataupun PLTS dapat dibagikan ke lebih dari satu jala-jala distribusi beban listrik.

Penelitian selanjutnya membahas tentang *smart grid hybrid* sistem (*fotovoltaik-PT. PLN*) berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian *smart grid hybrid* sistem membuat rancangan *prototype hybrid* memanfaatkan PLTS *on grid* dengan kapasitas 20 Wp dan sumber listrik PLN secara bersamaan. Penelitian *smart grid hybrid* sistem menghasilkan penghematan energi sebesar 18,9% [25]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat memantau penggunaan energi listrik dengan bantuan IoT.

Penelitian selanjutnya membahas tentang rancang bangun dan implementasi *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan Arduino Uno dan relai. Penelitian ini membuat perangkat ATS untuk pensaklaran dari sumber utama ke sumber cadangan catu daya. Penelitian rancang bangun ATS menghasilkan bahwa, alat dapat berjalan dengan baik untuk memindahkan sumber listrik utama ke sumber listrik cadangan [7]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah implementasi dari kendali distribusi daya listrik menggunakan relai.

Penelitian selanjutnya membahas tentang rancang bangun ATS sebagai pengalih catu daya otomatis berbasis *Programmable Logic Control* (PLC). Penelitian rancang bangun ATS berbasis PLC dapat memindahkan catu daya utama menuju catu daya cadangan secara otomatis dan cepat, saat catu daya utama mengalami gangguan ataupun terjadi pemutusan suplai ke beban. ATS ini di kendalikan dengan PLC sebagai kendali otomatis sehingga memudahkan dalam pembuatan dan meminimalisir biaya dalam penggunaan komponen [8]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah perpindahan sumber listrik PLN ke PLTS berdasarkan tegangan dan frekuensi yang sesuai standar.

Penelitian selanjutnya membahas tentang rancang bangun ATS dengan parameter arus, frekuensi, dan suhu. Penelitian rancang bangun ATS dapat bekerja untuk memindahkan suplai listrik dari satu sumber ke sumber lain jika sudah melampaui batas parameter yang sudah ditentukan berupa arus, frekuensi, dan suhu [26]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah sistem ATS dapat berjalan menggunakan mikrokontroler sebagai pusat kendali.

Berdasarkan referensi yang digunakan maka dari itu, penelitian merancang alat *smart grid* dengan distribusi beban listrik antara sumber PLN dengan PLTS begitu juga dengan sebaliknya. Perancangan alat ini juga dapat memantau konsumsi daya listrik yang telah digunakan oleh konsumen yang bersumber dari PLTS maupun PLN yang dapat memanfaatkan *Internet of Thing* (IoT) sehingga pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh.