

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Besaran Listrik.

Pada dunia kelistrikan, dikenal beberapa besaran listrik yang penting untuk diketahui, diantaranya adalah arus, tegangan dan daya. Arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik (*coulombs per second*)^[3] yang diukur dalam satuan ampere (A). Arus listrik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :^[3]

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2 - 1)$$

Dimana :

- I = Arus listrik dalam satuan ampere (A)
- Q = Muatan listrik dalam satuan coulomb (C)
- t = Waktu dalam satuan detik (s)

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai *joule per coulomb*^[3]. Misalkan sebuah baterai memiliki tegangan sebesar 12,6 V, itu berarti setiap muatan 1 coulomb menyediakan energi 12,6 joule. Jika sebuah lampu dihubungkan ke baterai tersebut maka setiap muatan 1 coulomb yang mengalir

melalui lampu akan mengkonversi energi sebesar 12,6 joule menjadi energi panas dan energi cahaya. Dengan demikian rumus tegangan adalah sebagai berikut: ^[3]

$$V = \frac{E}{Q} \quad (2 - 2)$$

Dimana :

- V = Tegangan dalam satuan volt (V)
- E = Energi dalam satuan joule (J)
- Q = Muatan dalam satuan coulomb (C)

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau *joule per second* ^[3] yang diukur dalam satuan watt (W). Daya listrik dirumuskan dengan persamaan berikut : ^[3]

$$E = P \cdot t \quad (2 - 3)$$

$$P = \frac{E}{t} \quad (2 - 4)$$

Dimana :

- P = Daya dalam satuan watt (W)
- E = Energi dalam satuan joule (J)
- t = Waktu dalam satuan detik (s)

Energi listrik dapat juga didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selama waktu tersebut.^[2] Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan *kiloWatt-hour* (kWh).

Pada sebuah rangkaian listrik, hubungan antara arus dan tegangan dijelaskan dengan hukum ohm dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan.^[3] Hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada rangkaian yang dapat menghalangi aliran arus. Hambatan dinotasikan dengan huruf R dan diukur dalam satuan ohm (Ω).^[3]

$$I = \frac{V}{R} \quad (2 - 5)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2 - 6)$$

$$V = I R \quad (2 - 7)$$

Dimana : I = Arus dalam satuan ampere (A)

V = Tegangan dalam satuan volt (V)

R = Hambatan (*resistance*) dalam satuan ohm (Ω)

Selanjutnya hubungan arus, tegangan dan daya dijelaskan dengan persamaan berikut :^[2]

$$P = I V \quad (2 - 8)$$

$$P = I^2 R \quad (2 - 9)$$

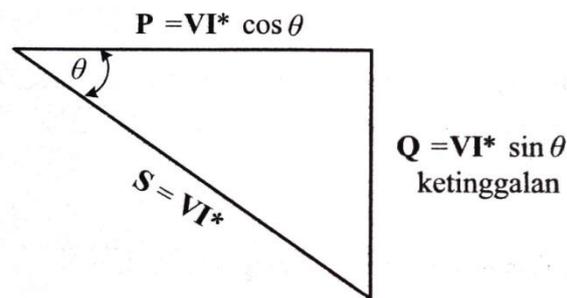
$$I = \frac{P}{V} \quad (2 - 10)$$

$$V = \frac{P}{I} \quad (2 - 11)$$

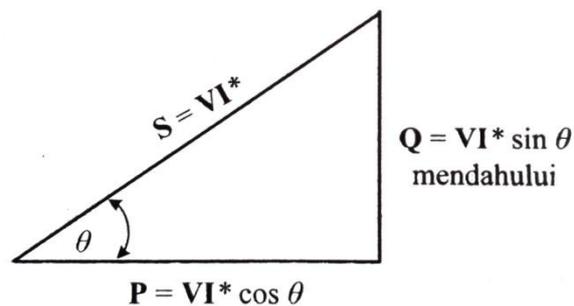
Pada jaringan listrik AC dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal beberapa jenis bentuk daya, diantaranya adalah daya kompleks, daya aktif dan daya reaktif.

Perkalian tegangan V dengan arus I^* dalam kedua besaran ini dalam bentuk kompleks adalah VI^* yang dinamakan daya kompleks dengan simbol S , dalam satuan Volt Ampere (VA). Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $VI^* \cos \theta$ dengan simbol P , dalam satuan Watt (W). Sedangkan daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan $S \sin \theta$ atau $VI^* \sin \theta$ dengan simbol Q , dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR).^[2]

Hubungan antara ketiga jenis daya diatas dapat dijelaskan dengan sketsa segitiga daya seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:



(a) Bersifat induktif.



(b) Bersifat kapasitif.

Gambar 2.1 : Segitiga Daya^[2]

Komponen-komponen segitiga daya dapat dituliskan sebagai berikut: ^[2]

$$\text{Daya aktif} \quad : P = VI^* \cos \theta \quad (\text{W}) \quad (2-12)$$

$$\text{Daya reaktif} \quad : Q = VI^* \sin \theta \quad (\text{VAR}) \quad (2-13)$$

$$\text{Daya kompleks} \quad : S = VI^* \quad (\text{VA}) \quad (2-14)$$

$$\text{Faktor daya} \quad : p.f = \cos \theta \quad (2-15)$$

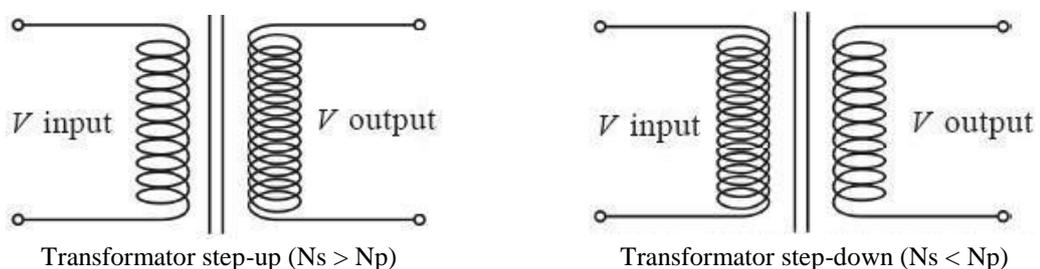
Sudut fasa θ muncul akibat adanya selisih fasa antara fasa tegangan dan fasa arus, jika rangkaian bersifat induktif maka fasa arus akan tertinggal dari fasa tegangan, jika rangkaian bersifat kapasitif maka fasa arus akan mendahului fasa tegangan, sedangkan jika rangkaian bersifat resistif maka arus akan sefasa dengan tegangan sehingga sudut fasa $\theta = 0$. Dengan adanya sudut fasa θ maka akan muncul sebuah besaran yang disebut Faktor daya atau *power factor* (p.f) yang merupakan nilai cosinus dari besar sudut fasa θ . Faktor daya pf sering digunakan sebagai indikator baik atau buruknya pasokan daya pada sebuah sistem. Nilai pf tidak akan lebih besar dari satu (1), jika nilai pf semakin mendekati 1 maka akan semakin baik bagi sistem.

2.2. Pengukuran Tegangan Tinggi AC.

Untuk melakukan pengukuran tegangan tinggi AC, metode yang digunakan adalah dengan cara menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah. Metode ini yang digunakan dalam pembuatan alat ukur tegangan atau Voltmeter. Untuk menurunkan tegangan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan atau yang kedua dengan menggunakan transformator step down.

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris namun berhubungan secara magnetis. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani.



Gambar 2.2 : Skema Transformator

Secara umum, Transformator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Transformator step-up dan Transformator step-down. Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh. Sedangkan Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan.

Rumus tegangan pada transformator adalah sebagai berikut :

$$V_o = \frac{V_i \cdot N_o}{N_i} \quad (2 - 16)$$

Dimana : V_o = Tegangan Output (V)

V_i = Tegangan Input (V)

N_o = Jumlah lilitan output (lilitan skunder)

N_i = Jumlah lilitan input (lilitan primer)

Transformator yang baik untuk digunakan sebagai sensor tegangan adalah transformator yang memiliki sifat linieritas yang baik, artinya tegangan output dari transformator akan naik ataupun turun sesuai dengan naik atau turunnya tegangan input dari transformator tersebut. Untuk menentukan tingkat linieritas trafo dapat dilakukan dengan mencari koefisien korelasi antara tegangan output dan tegangan input transformator. Koefisien korelasi merupakan angka yang menunjukkan tinggi atau rendahnya hubungan antara dua buah variabel atau lebih.

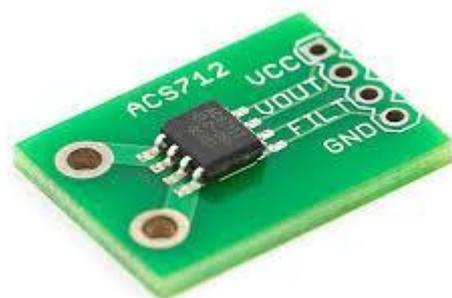
Menurut Goilford, klasifikasi koefisien korelasi tanpa memperhatikan tanda positif dan negatif ditunjukkan pada table 2.1 berikut:^[14]

Tabel 2.1: Klasifikasi koefisien korelasi.

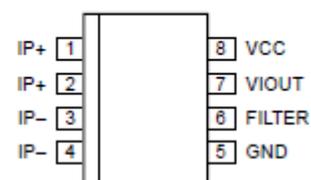
Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0,00 sd 0,20	Tidak ada korelasi
0,21 sd 0,40	Rendah atau kurang
0,41 sd 0,70	Cukup
0,71 sd 0,90	Tinggi
0,91 sd 1,00	Sangat tinggi (sempurna)

2.3. Pengukuran Arus AC.^[15]

Pengukuran arus biasanya membutuhkan resistor shunt yaitu resistor yang dihubungkan secara seri pada beban dan megubah arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya di umpankan ke *current transformer* terlebih dahulu sebelum masuk kerangkaian pengkondisi sinyal. Teknologi *hall effect* yang diterapkan oleh perusahaan *Allegro* menggantikan *resistor shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor yang ukuran yang relatif jauh lebih kecil yaitu ACS712 yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Pin-out Diagram



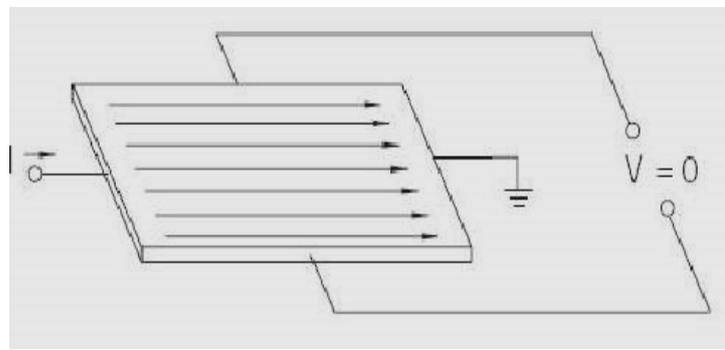
Gambar 2.3 : Sensor Arus ACS712^[15]

Istilah *Hall Effect* dikenal setelah Edwin H. Hall (1855-1938) menemukan bahwa jika arus listrik mengalir melalui penghantar yang ditempatkan pada *tranverse* medan magnet yang kuat, akan menghasilkan beda potensial yang melewati penghantar pada kedua sudut penghantar itu. *Hall Effect Sensor* adalah suatu transduser yang dapat mengubah besaran medan magnet menjadi besaran listrik yaitu berupa tegangan. Sensor *Hall effect* digunakan untuk mendeteksi kedekatan, keberadaan atau ketiadaan medan magnet dari suatu objek dengan kritis. Sensor *Hall effect* digunakan untuk sensor perpindahan, sensor letak atau jarak, sensor kecepatan dan sensor arus.

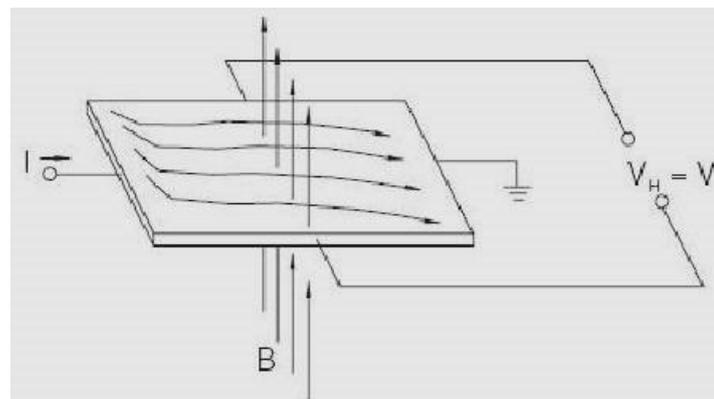
Konduktor atau *Hall Effect* elemen berbentuk lempengan pipih. Pembawa arus di dalamnya didorong ke tepi atas oleh gaya magnet yang bekerja padanya. Gaya ini merupakan gaya nonelektrostatik, besar medan nonelektrostatik sama dengan gaya satuan muatan. Jika pembawa muatan itu elektron, akan ada muatan lebih menumpuk di pinggir atas lempengan dan meninggalkan muatan lebih menumpuk di pinggir bawah, sampai medan elektrostatik *tranverse* dalam konduktor sama dan berlawanan dengan nonelektrostatik.

Arus transversal akhir sama dengan nol, maka konduktor itu berada pada “rangkaiian terbuka” dalam arah transversal, dan beda potensial antara tepi-tepi lempeng, yang dapat diukur dengan meter, sama dengan GGL Hall dalam lempeng. Ketika konduktor yang dialiri arus diletakkan di dalam suatu medan magnet, akan dihasilkan tegangan yang tegak lurus dengan arus dan medan magnet.

Material semikonduktor (Hall Element) dilewati arus. Tegangan keluaran tegak lurus dengan arah arus. Ketika tidak ada medan magnet, penyaluran arus sama besar dan tidak ada tegangan seperti pada gambar 2.4(a) Pada saat terdapat medan magnet tegak lurus terhadap bidang seperti gambar 2.4(b) gaya Lorentz mendesak arus. Gaya ini mengganggu penyebaran arus, menghasilkan tegangan pada output. Tegangan ini adalah tegangan Hall(V_H).



(a)



(b)

Gambar 2.4 : Prinsip dari *Hall Effect*.^[15]

2.4. kWh meter digital

Saat ini kWh meter digital telah banyak dijual di pasaran, salah satunya adalah jenis *Din Rail Power Meter* tipe TEM015-D4250 buatan Thera yang ditunjukkan pada gambar 2.5. kWh meter jenis ini dilengkapi dengan output berupa sinyal impuls yang dapat digunakan untuk monitoring melalui komputer yang nilainya adalah 2000 impuls/kWh.

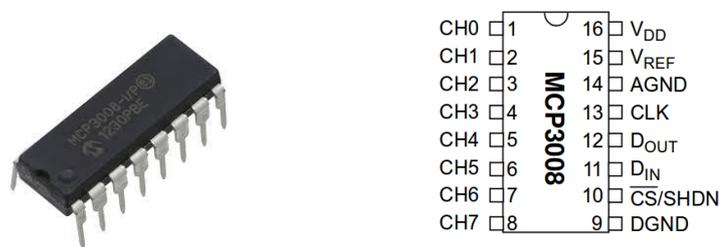


Gambar 2.5 : kWh meter digital TEM015-D4250^[16]

2.5. Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan piranti elektronik yang dapat mengubah besaran dari bentuk analog menjadi bentuk digital. ADC sangat dibutuhkan dalam proses pembacaan sensor, misalkan sensor cahaya, sensor suhu dan lain-lain. Kebanyakan sensor, hasil pengukuran masih berupa besaran analog,

sehingga agar dapat dibaca komputer besaran tersebut harus diubah menjadi bentuk digital dengan bantuan sebuah ADC. Banyak jenis ADC yang ada di pasaran, salah satunya adalah ADC MCP3008 yang ditunjukkan pada gambar 2.6. ADC jenis ini memiliki resolusi 10bit, resolusi ini mempengaruhi hasil pengukuran, semakin besar nilai resolusi sebuah ADC maka tingkat akurasi semakin tinggi. Untuk sistem komunikasi data, MCP3008 menggunakan SPI serial interface yang dapat dihubungkan langsung dengan GPIO Raspberry Pi.



Gambar 2.6 : ADC MCP3008

Untuk menentukan nilai tegangan input digunakan persamaan berikut : ^[6]

$$V_{in} = (\text{Data digital} \times 3,3) / 1023 \quad (2-17)$$

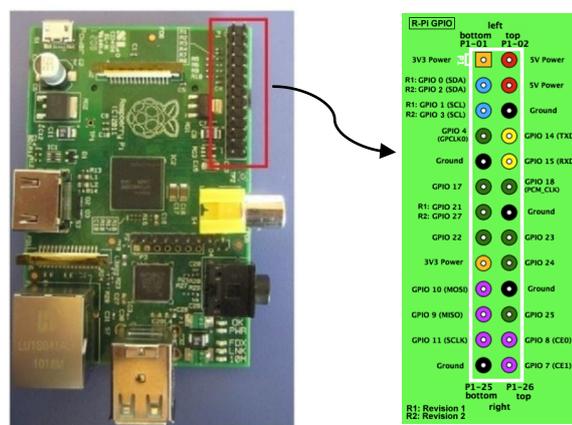
Dimana :

- V_{in} = Nilai tegangan yang diukur (Volt)
- Data digital = Nilai digital hasil konversi ADC
- 3,3 = Tegangan referensi MCP3008 (3,3 V)
- 1023 = Nilai resolusi 10 bit MCP3008

2.6. Single Board Computer BCM2835 (Raspberry Pi)

Single Board Computer BCM2835 (gambar 2.10) atau biasa disebut dengan Raspberry Pi adalah komputer berukuran kartu kredit yang dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation, yang memiliki fungsi yang hampir sama dengan PC kebanyakan. Model PC ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu tipe A dan tipe B. Perbedaan keduanya hanya terletak pada *memory*, jumlah *port USB*, dan network adaptor. Untuk menggunakan Raspberry Pi, kita membutuhkan beberapa peralatan seperti dibawah ini :

- Keyboard
- Mouse
- Monitor
- Kabel power untuk Raspberry Pi
- Kabel HDMI untuk monitor atau RCA
- SDHC card untuk penyimpanan sistem operasi Raspberry Pi (minimal 4 GB)
- Kabel UTP untuk menghubungkan LAN



Gambar 2.10 : GPIO Raspberry Pi.^[10]

Pada Raspberry Pi dilengkapi dengan *General Purpose Input/Output* (GPIO), setiap pin dari GPIO ini dapat diatur sebagai masukan atau keluaran. Melalui GPIO, Raspberry Pi dapat menerima berbagai macam masukan untuk dilakukan pemrograman, masukan dapat berupa berbagai macam sensor seperti sensor suhu, sensor cahaya, sensor tegangan dan lain sebagainya.

2.7. Kesalahan Dalam Pengukuran (*Error*)

Dalam melakukan pengukuran hal yang cukup sulit adalah mengetahui apakah nilai hasil pengukuran merupakan nilai yang benar, karena setiap pengukuran yang menggunakan alat ukur hanya dapat menghasilkan nilai perkiraan. Dengan demikian dalam merancang sebuah alat ukur harus ada nilai pembanding yang bisa didapat dari hasil perhitungan atau dari hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang telah diakui kemampuannya. Nilai pembanding tersebut digunakan untuk mengetahui besar kesalahan dalam pengukuran (*Error*), sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian alat ukur yang dibuat yang selanjutnya akan menentukan kualitas dari alat ukur tersebut. Klasifikasi alat ukur listrik menurut Standar IEC No. 13B-23 menspesifikasikan bahwa ketelitian alat ukur dibagi menjadi 8 kelas yaitu : 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; dan 5.^[18] Kelas-kelas tersebut artinya bahwa besarnya kesalahan alat ukur masing-masing adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, dan $\pm 5\%$. Dari 8 kelas alat ukur tersebut digolongkan menjadi 4 golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya, yaitu :

- 1) Golongan dari kelas 0,05, 0,1 dan 0,2 termasuk alat ukur presisi yang tertinggi, biasa digunakan pada laboratorium yang standar.

- 2) Golongan dari kelas 0,5 memiliki ketelitian dan tingkat presisi berikutnya dari 0,2. Alat ukur ini biasa digunakan pada pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya portabel.
- 3) Golongan dari kelas 1,0 memiliki ketelitian dan tingkat presisi yang lebih rendah dari alat ukur kelas 0,5. Alat ini biasa digunakan pada alat-alat ukur portabel yang kecil atau alat ukur yang digunakan pada panel.
- 4) Golongan dari kelas 1,5, 2,5 dan 5. Alat ukur ini biasa digunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

Ada beberapa cara dalam menentukan kesalahan, namun yang umum digunakan adalah dengan menentukan persentasi kesalahan (*percent of error*)^[11] menggunakan persamaan berikut :

$$\text{persen error} = \frac{|\text{nilai pengukuran} - \text{nilai pembanding}|}{\text{nilai pembanding}} \times 100\% \quad (2 - 18)$$

2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi rujukan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

- a. **Rancang Bangun Pencatat Data kWh Meter Jarak Jauh Berbasis Mikrokontroler** (Vector Anggit Pratomo, 2012).^[8] Penelitian ini menghasilkan sebuah alat untuk menghitung konsumsi energi pada rumah tangga. Alat yang dibuat terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* dipasang pada kWh meter, sedangkan *receiver* digunakan untuk melihat hasil perhitungan dari jarak jauh menggunakan wireless. Untuk

mendapatkan nilai konsumsi energi hanya digunakan sensor arus, dan untuk mengolah data digunakan mikrokontroler.

- b. **Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Temperatur pada Sistem Pencatu Daya Listrik di Teknik Elektro Berbasis Mikrokontroler Atmega128** (Suryawan Dwi Wahyu, 2012).^[13] Penelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor tegangan, arus dan suhu pada sistem pencatu daya 3 fasa. Sensor tegangan menggunakan trafo step-down dan sensor arus menggunakan *current transformer*. Data pengukuran diolah pada mikrokontroler untuk ditampilkan pada LCD.
- c. **Perancangan kWh Meter Digital Menggunakan Sensor Arus ACS712ELC-30A** (Ihsan Thamrin, 2010).^[15] Penelitian ini menghasilkan sebuah kWh meter digital dengan menggunakan sensor arus ACS712-30A, rangkaian pembaca tegangan dan mikrokontroler. Data hasil pengukuran dapat dilihat dari sebuah LCD.
- d. **Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler Secara Wireless** (Dayita Andyan Rusti, 2011).^[12] Penelitian ini menggunakan sensor arus ACS712 dan rangkaian pembagi tegangan untuk sensor tegangan. Dari sensor arus dan sensor tegangan digunakan teknik *zerocrossing* untuk mendapatkan nilai faktor daya. Dengan demikian nilai konsumsi energi listrik dapat dihitung. Monitoring dapat dilakukan dari sebuah komputer PC dengan jaringan wireless.
- e. **Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler ATmega32** (Dimas Adityawarman, 2014).^[1] Penelitian ini menghasilkan alat ukur arus dengan menggunakan *current*

transformer sebagai sensor arus dan mikrokontroler sebagai pengolah data. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD.

- f. **Energy Monitoring System Berbasis WEB** (Novan Zulkarnain, 2013)^[20]
Penelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor pemakaian energi listrik pada sebuah gedung. Data monitoring disimpan pada database dengan aplikasi MySQL, kemudian dibuat grafik dengan pemograman PHP sehingga monitoring dapat dilakukan melalui WEB.
- g. **Rancang Bangun Sistem Monitoring Bandwidth, Koneksi Listrik dan Temperatur Ruang Berbasis Raspberry Pi pada Gedung Pusat Data Universitas Lampung** (Hanang Priambodo, 2014).^[9] Penelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor bandwidth pada koneksi internet, untuk memonitor koneksi listrik dan suhu ruang. Data hasil monitoring disimpan pada database MySQL dan dapat dilihat dari WEB dalam bentuk grafik.