

BAB 2

DASAR TEORI

Berdasarkan pembahasan pendahuluan sebelumnya pada bab 1, maka penulis perlu menunjang perancangan penelitian tersebut dalam berbagai aspek. Salah satunya yaitu dasar teori yang bersangkutan dengan penelitian mengenai karakteristik aliran listrik, perangkat keras, ataupun perangkat lunak yang digunakan dan perhitungan yang diperlukan.

2.1 Arus Listrik

Sebelum masuk lebih dalam mengenai penelitian ini diperlukan suatu pemahaman mengenai apa itu arus listrik dan bagaimana cara kerjanya. Arus, digambarkan dengan simbol I yang berasal dari kata perancis yaitu *intensite*, yang didefinisikan sebagai perubahan kecepatan muatan terhadap waktu. Atau dalam pengertian lain adalah muatan yang mengalir dalam satuan waktu. Jadi, sebenarnya arus merupakan sebuah muatan yang bergerak. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus yang mengalir, tetapi sebaliknya arus akan hilang ketika muatan tersebut diam.

Muatan memiliki 2 jenis yaitu muatan positif dan muatan negatif. Arah arus listrik searah dengan arah muatan positif atau berlawanan arah dengan aliran elektron. Ketika suatu partikel kehilangan elektron maka partikel tersebut akan menjadi muatan

positif, dan sebaliknya menjadi muatan negatif apabila menerima elektron dari partikel lain.

Simbol: Q = muatan konstan

q = muatan listrik

muatan 1 elektron = $-1,6021 \times 10^{-19}$ Coulumb

1 Coulumb = $-6,24 \times 10^{18}$ elektron

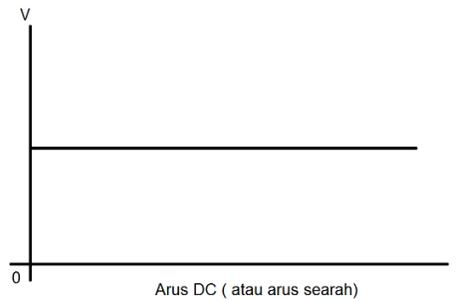
Secara matematis, arus didefinisikan: $i = \frac{dq}{dt}$ (2.1)

Satuan arus: Ampere (A)

Dalam teori rangkaian, arus merupakan pergerakan muatan positif. Suatu elemen akan mengalami beda potensial ketika arus positif mengalir dari potensial tinggi ke arah potensial rendah atau sebaliknya. Jika terdapat suatu arus yang mengalir pada arah tertentu bernilai positif, maka pada arah berlawanan arus yang mengalir akan bernilai negatif.

2.1.1 Arus searah (*Direct Current / DC*)

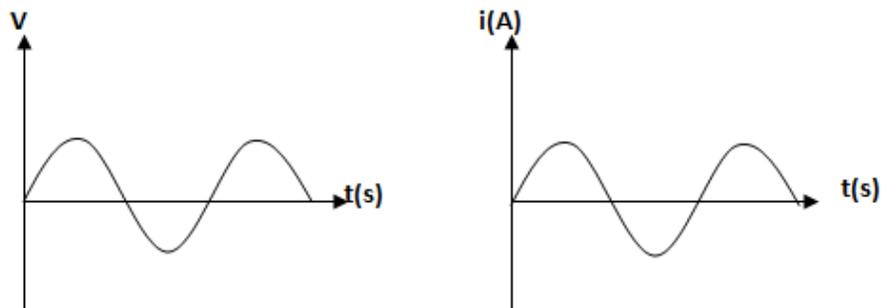
Arus DC adalah arus yang merupakan arus searah secara teori dikatakan bahwa arus DC memiliki nilai polaritas yang tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya di manapun kita mengukur arus searah pada waktu yang berbeda akan mendapatkan polaritas yang sama. Nilai polaritas pada arus searah akan selalu bernilai positif atau pun selalu bernilai negatif. Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa arus DC atau arus searah memiliki nilai polaritas yang sama.



Gambar 2.1 Arus Searah (*Direct Current / DC*)

2.1.2 Arus Bolak-Balik (*Alternating Current/AC*)

Arus AC adalah arus bolak balik yang mempunyai nilai polaritas berubah-ubah terhadap satuan waktu. Dalam kata lain nilai polaritas dari arus AC akan berbeda pada waktu yang berbeda. Gambar 2.2 adalah salah satu bentuk arus AC yang terlihat bahwa arus AC sangat berbeda dengan arus DC yang memiliki polaritas sama. Tetapi arus AC memiliki perbedaan polaritas yang akan berubah sesuai dengan waktunya.



Gambar 2.2 Arus Bolak-Balik (*Alternating Current/AC*)

Adapun pengukuran arus AC yang dilakukan oleh alat ukur amperemeter atau multimeter. Yang terukur oleh amprometer yaitu nilai arus efektif atau I_{eff} . Sedangkan arus AC memiliki rumus matematik sebagai berikut:

$$I_m = I_{eff} \cdot \sqrt{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I_r = \frac{2I_m}{\pi} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

I_m = Arus maksimal

I_{eff} = Arus efektif

I_r = Arus rata-rata

2.2 Tegangan

Tegangan yang biasa disebut dengan voltase atau “beda potensial” merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk menggerakkan muatan sebesar satu Coulumb dari satu terminal ke terminal lainnya. Sehingga akan mendapatkan beda potensial pada kedua terminalnya. Kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan. Jadi, berdasarkan pengertian tersebut maka, tegangan adalah energi per satuan muatan.

Secara matematis: $v = \frac{dw}{dq} \dots\dots\dots (2.5)$

Satuannya: Volt (V)

Tegangan AC dapat diukur oleh beberapa alat ukur, yang salah satunya yaitu multimeter atau osiloskop. Yang dapat terukur oleh multimeter adalah tegangan efektif sedangkan jika menggunakan osiloskop dapat mengukur tegangan puncak dari

gelombang AC yang terukur. Adapun perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui tegangan AC secara matematis yaitu:

$$V_m = V_{eff} \cdot \sqrt{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_{eff} = V_m \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

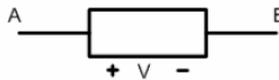
$$V_r = \frac{2V_m}{\pi} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

V_m = Tegangan Maksimal (V)

V_{eff} = Tegangan Efektif (V)

V_r = Tegangan Rata-rata



Gambar 2.3 Beda Potensial

Pada Gambar 2.3, terminal A mempunyai potensial yang lebih tinggi daripada potensial di terminal B sehingga terminal A merupakan potensial positif, sedangkan terminal B merupakan potensial negatif. Ada dua istilah yang digunakan pada rangkaian listrik, yaitu:

2.2.1 Tegangan Turun/*Voltage Drop*

Tegangan turun merupakan beda potensial yang dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah, dalam hal ini dari terminal A ke terminal B.

2.2.2 Tegangan Naik/*Voltage Rise*

Kemudian tegangan naik merupakan beda potensial yang dipandang dari potensial rendah ke beda potensial lebih tinggi. Yang merupakan kebalikan dari tegangan turun yang dipandang dari terminal B ke terminal A. Sehingga nilai tegangan yang dipakai adalah tegangan negatif.

2.3 Energi

Energi memiliki pengertian secara teori yaitu merupakan kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satu Newton sejauh satu meter. Jadi, energi adalah suatu kerja di mana kita memindahkan sebuah objek dari satu tempat ke tempat lain dengan mengeluarkan gaya satu Newton, dengan jarak 1 meter. Satuan energi adalah Joule (J).

Energi memiliki hukum alam yang disebut kekekalan energi, yaitu bahwa energi tidak dapat dihilangkan dan energi tidak dapat diciptakan, tetapi energi hanya akan berpindah dari satu bentuk ke bentuk lain. Contohnya seperti pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan energi listrik dari perputaran sebuah generator yang dihasilkan oleh pergerakan air yang mengalir. Kemudian energi listrik yang dihasilkan tersebut dapat berpindah menjadi energi lainnya seperti energi cahaya ketika melewati lampu ataupun panas ketika kita sedang menggunakan setrika, dan seterusnya.

Untuk menyatakan apakah energi dikirim atau diserap, bukan hanya polaritas tegangan yang berpengaruh, tetapi juga arah arus. Arah arus akan berperan untuk menentukan polaritas yang akan diserap atau dikirim oleh elemen. Dengan kata lain, arah arus memiliki sisi positif dan sisi negatif. Berdasarkan energi yang dihasilkan,

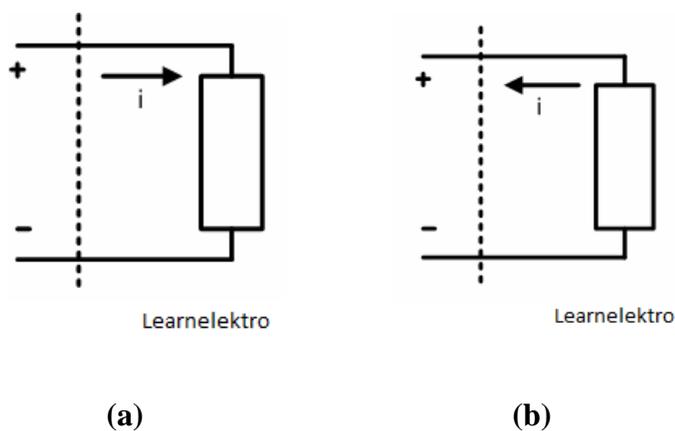
elemen listrik digolongkan menjadi dua yaitu elemen yang menyerap energi dan elemen yang mengirim energi:

2.3.1 Elemen yang Menyerap Energi

Sebuah elemen dapat dikatakan menyerap sebuah energi ketika elemen tersebut menyerap energi dari luar, atau energi dari luar dikirim ke elemen tersebut. Yang dapat dikatakan ketika arus positif yang meninggalkan terminal positif untuk menuju ke komponen atau beban. Dengan kata lain, arah arus positif yang mengalir ke komponen datang dari arah terminal positif.

2.3.2 Elemen yang Mengirim Energi

Kemudian, sebuah elemen dapat dikatakan mengirim energi ketika energi yang berada dalam elemen tersebut dikirim ke luar atau ketika arus positif memasuki terminal positif. Dengan kata lain arus positif yang dikeluarkan oleh suatu elemen mengalir ke bagian terminal positif.



Gambar 2.4 (a) Elemen Menyerap Energi, (b) Elemen Mengirim Energi

2.4 Daya

Daya merupakan rata-rata kerja yang dilakukan atau sama dengan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah joule per detik (J/s), atau biasa disebut dengan watt.

$$\text{Daya secara matematis: } P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = vi \dots\dots\dots (2.9)$$

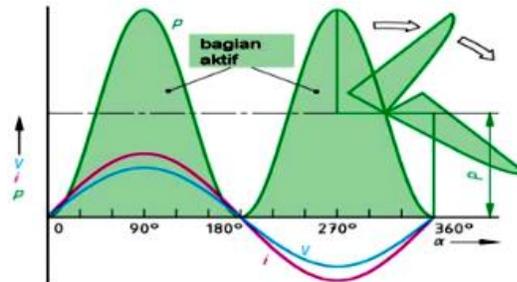
Daya pada umumnya selalu dituliskan dalam satuan watt dan sering dijumpai keterangannya pada barang-barang elektronik yang kita gunakan sehari-hari. Sehingga, dengan adanya keterangan tersebut pengguna diharapkan mengetahui beban yang dihasilkan oleh barang tersebut dan dapat mengontrol penggunaannya agar sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, satuan watt ini menjadi satuan tarif harga per kWh (kilo Watt hour). Adapun macam-macam daya yang terbagi menjadi 3, yaitu:

2.4.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang digunakan sesungguhnya oleh beban atau merupakan daya rata – rata yang terpakai. Daya aktif memiliki satuan yaitu W (*Watt*) yang dapat diukur oleh kWh meter. Daya aktif memiliki 2 jenis yaitu daya terhadap beban resistansi dan impedansi.

Daya Aktif merupakan daya yang dihasilkan oleh beban yang memiliki sifat resistansi (R), sehingga besarnya daya sebagai perkalian tegangan dan arus menghasilkan dua gelombang yang bernilai positif, dan memiliki besaran watt. Pada

Gambar 2.5 terlihat bahwa sisa puncak dibagi menjadi dua untuk mengisi celah kosong sehingga kedua rongga akan terisi oleh dua puncak yang mengisinya.



Gambar 2.5 Gelombang Daya Aktif Resistansi

Adapun persamaan daya aktif pada beban yang bersifat resistansi yaitu:

$$P = \frac{1}{2} \times P_m$$

$$= \frac{1}{2} \times V_m \times I_m$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{2} \times V \times \sqrt{2} \times I$$

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (W)

P_m = Daya Maksimum (W)

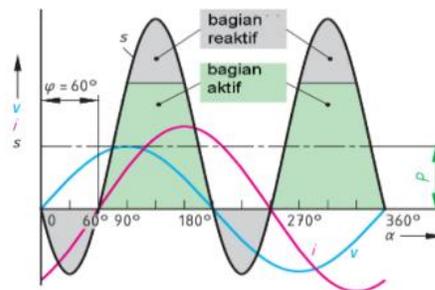
I_m = Arus Listrik Maksimum (A)

V_m = Tegangan Maksimum (V)

V = Tegangan Listrik (V)

I = Arus Listrik (A)

Kemudian yang kedua adalah daya aktif pada beban impedansi (Z), beban impedansi pada suatu rangkaian disebabkan oleh adanya beban yang bersifat resistansi (R) dan induktansi (L). Maka gelombang akan mendahului gelombang arus sebesar ϕ . Perkalian antara gelombang tegangan dan gelombang arus menghasilkan dua puncak positif yang besar dan dua puncak negatif yang kecil. Pergeseran sudut fasa bergantung seberapa besarnya nilai dari suatu komponen induktor. Gambar 2.6 merupakan gelombang daya aktif dengan beban impedansi yang memiliki gelombang tegangan mendahului arus sebesar $\phi = 60^\circ$



Gambar 2.6 Gelombang Daya Aktif Impedansi

Adapun persamaan daya aktif (P) pada beban yang bersifat impedansi yaitu:

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus Listrik (A)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.4.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah salah satu dari jenis daya, yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif. Daya reaktif memiliki satuan VAR (*Volt Ampere Reaktif*). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif. Adapun persamaan daya reaktif yaitu:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus Listrik (A)

$\sin \varphi$ = Faktor Reaktif

2.4.3 Daya Semu (S)

Terakhir adalah daya semu, daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya nyata merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Daya nyata memiliki satuan yaitu VA (*Volt Ampere*). Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang memiliki sifat resistansi (R), sebagai

contohnya yaitu, lampu pijar, setrika, kompor listrik dll. Peralatan listrik yang memiliki sifat resistansi ini tidak dapat dihemat karena tegangan dan arus listrik satu fasa yang memiliki perbedaan sudut fasa 0° dan memiliki nilai faktor daya 1. Adapun persamaan daya semu yang digunakan yaitu:

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus Listrik (A)

2.5 Faktor Daya

Faktor daya memiliki definisi, yaitu merupakan cosinus sudut fasa ($\cos \varphi$) antara tegangan dan arus. Faktor daya juga merupakan sebuah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu (VA). Faktor daya harus selalu lebih kecil atau sama dengan satu yang menandakan bahwa tidak terjadinya pemborosan listrik. Faktor daya memiliki hubungan antara daya aktif dengan daya semu yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.14)$$

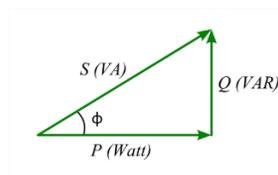
Keterangan:

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

Setiap beban memiliki nilai faktor daya yang berbeda, tergantung dengan komponen yang digunakan pada beban tersebut. Secara teori faktor daya ditentukan oleh diagram fasor yang memiliki 2 sifat, yaitu *lagging* dan *leading*. *Lagging* adalah kondisi dimana ketika fasa arus tertinggal oleh fasa tegangan, dengan beban yang bersifat kapasitif (C). Sedangkan *Leading* merupakan kondisi sebaliknya, dimana fasa arus mendahului tegangan dengan beban yang bersifat induktif (L). Adapun gambaran dari hubungan ketiga daya dengan besar fasa yang terdapat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Segitiga Daya

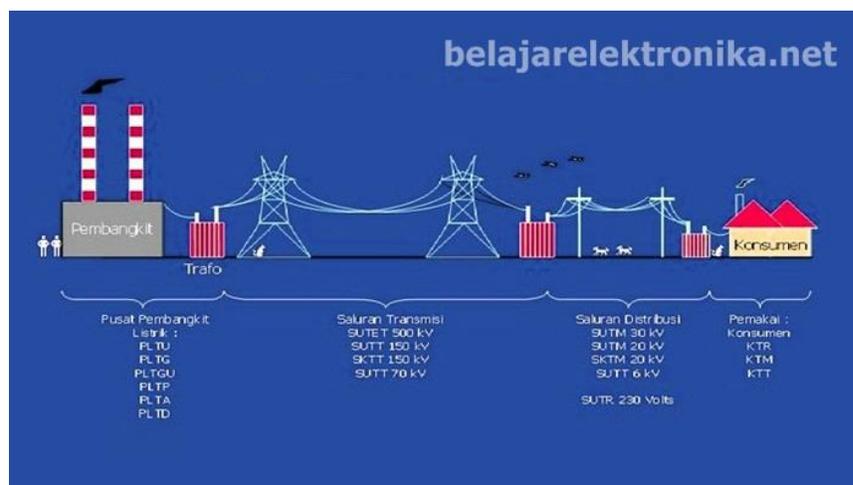
2.6 Sistem Distribusi Listrik PLN

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang dilakukan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik ini memiliki fungsi untuk membagi atau menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan dan merupakan sebuah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

Kenapa sistem distribusi listrik dibutuhkan yaitu karena, tenaga yang dihasilkan oleh pembangkit listrik sangatlah tinggi tegangannya dari 11kV – 24kV dan kemudian

akan dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70kV, 154kV, 220kV, atau 500kV. Penaikan tegangan tersebut memiliki tujuan untuk mengurangi kerugian daya listrik melalui saluran transmisi. Karena kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir pada hambatan ($I^2 \times R$). Dengan memperbesar tegangan sebelum terdistribusi melalui transmisi maka kerugian daya akan menjadi lebih kecil, karena nilai arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil juga.

Setelah melewati jalur transmisi, tegangan akan diturunkan kembali menjadi 20kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi agar siap disalurkan oleh saluran distribusi primer. Saluran distribusi primer ini merupakan penyuplai gardu-gardu yang akan di distribusikan pada konsumen menjadi tegangan yang lebih rendah yaitu 220/380Volt. Setelah tegangan menjadi 220/380Volt maka akan sampai kepada konsumen melalui distribusi sekunder yaitu jaringan listrik tiang kabel yang menuju ke setiap konsumen secara menyeluruh.



Gambar 2.8 Sistem Distribusi Listrik

Pada Gambar 2.8 merupakan sistem distribusi listrik secara umum dan terdapat beberapa komponen utama yang berperan dalam pendistribusian listrik seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

2.6.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik merupakan sebuah generator pembangkit yang berguna untuk menghasilkan tegangan tinggi yang dihasilkan oleh beberapa sumber pembangkit, yang diantaranya yaitu air, gas, angin, batu bara, uap, dll. Pada bagian ini daya yang dihasilkan berkisar antara 11kV – 24kV.

2.6.2 Trafo Step-Up

Trafo Step-Up akan berfungsi untuk menaikkan tegangan sumber yang dihasilkan pembangkit agar siap di distribusikan melalui saluran transmisi dengan kerugian yang kecil. Trafo Step-Up akan menaikkan tegangan dari sumber menjadi 70kV, 154kV, 220kV, atau 500kV.

2.6.3 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan sebuah jalur untuk mengirimkan energi listrik yang sudah dinaikan sebelumnya oleh Trafo Step-Up menuju ke saluran distribusi primer. Saluran transmisi ini memiliki beberapa macam tergantung dengan besarnya energi yang disalurkan. Terdapat 3 jenis saluran transmisi umum dan setiap saluran transmisi memiliki spesifikasi dan keterangan yang berbeda, yaitu seperti pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Jenis Saluran Transmisi

No.	Saluran Transmisi	Keterangan	Tegangan
1	SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi)	a) Konstruksi tiang yang besar dan tinggi b) Memerlukan lahan yang luas c) Memerlukan isolator yang banyak	500kV
2	SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi)	a) Single atau double sirkuit b) 1 sirkuit terdiri dari 3 phase dengan 3 atau 4 kawat	30-150kV
3	SKTT (Saluran Kabel Tegangan Tinggi)	a) Underground Cable	30-150kV

2.6.4 Trafo Step-Down

Trafo Step-Down merupakan trafo yang digunakan untuk menurunkan kembali tegangan yang diterima dari saluran transmisi. Trafo Step-Down akan menurunkan tegangan tersebut menjadi 220/380Volt untuk disalurkan ke distribusi primer yaitu gardu-gardu listrik.

2.6.5 Saluran Distribusi

Saluran distribusi ini merupakan bagian yang sering dijumpai di perumahan atau pemukiman. Saluran distribusi memiliki 2 jenis yaitu distribusi primer dan sekunder, distribusi primer adalah gardu-gardu listrik kemudian akan disalurkan ke distribusi sekunder yaitu jaringan tiang listrik yang akan sampai ke konsumen. Tegangan yang terdistribusi memiliki berbagai macam jenis sesuai dengan kebutuhan masyarakat, diantaranya untuk keperluan rumah tangga, perusahaan, industri, jalan umum, kantor pemerintah dan beberapa jenis layanan khusus. Saluran distribusi memiliki beberapa jenis seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Jenis Saluran Distribusi

No.	Saluran Distribusi	Keterangan	Tegangan Distribusi
1	SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)	a) Merupakan jaringan kawat tidak berisolasi dan berisolasi b) Bagian utamanya adalah tiang (beton, besi) c) Cross arm dan konduktor	20-30kV
2	SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah)	a) Ditanam langsung di tanah b) Tidak mudah mengalami gangguan c) Tidak ada pemeliharaan	20kV
3	SUTR (Saluran Udara Tegangan Rendah)	a) Menggunakan penghantar kawat berisolasi b) Pemasok tegangan langsung ke pengguna	220/380 Volt
4	SKTR (Saluran Kabel Tegangan Rendah)	a) Ditanam di dalam tanah	220/380 Volt

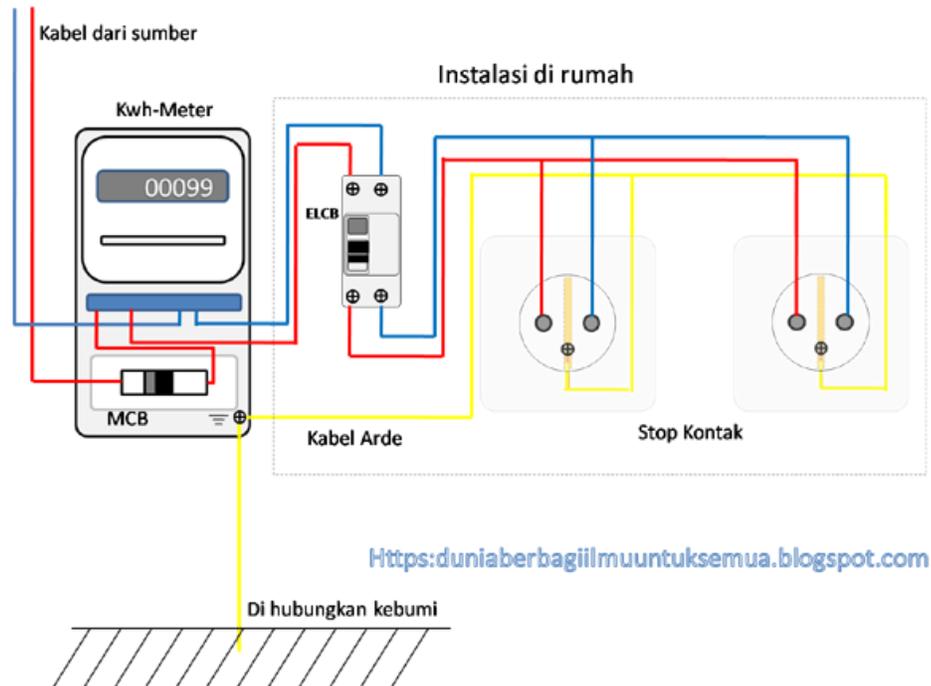
2.6.6 Konsumen

Pada tahap ini konsumen merupakan titik akhir pendistribusian, konsumen akan menerima tegangan yang sudah diturunkan menjadi 220/380Volt agar bisa digunakan untuk keperluan elektronik rumah tangga yang memiliki spesifikasi rendah seperti lampu, kulkas, TV, mesin cuci, dll.

2.7 Sistem Instalasi Listrik

Ketika membangun sebuah rumah atau bangunan, hal utama yang harus diperhatikan adalah ketersediaan listriknya. Jika dapat melewati jaringan listrik maka bisa memasang instalasi listrik dengan menghubungi pihak PLN. Sistem instalasi listrik harus terdaftar ke pihak PLN kemudian PLN akan bertindak untuk memasangkan instalasi listrik dengan beberapa pemasangan alat yaitu kWh-Meter dan MCB seperti yang terdapat pada Gambar 2.9. Pada gambar tersebut terdapat beberapa bagian yang akan dipasang untuk instalasinya yaitu, kWh-Meter, MCB, ELCB/MMCB, dan

Ground. Sumber tegangan dari jala-jala tiang listrik akan diambil dan dihubungkan kepada kWh-Meter yang terpasang untuk disalurkan kedalam jala-jala listrik rumah tangga dan siap digunakan dan termonitoring penggunaannya oleh kWh-Meter.



Gambar 2.9 Instalasi Listrik Sederhana

2.7.1 Arde/Grounding

Kabel Arde/Grounding merupakan kabel khusus yang dipasang di tanah/bumi menggunakan pipa besi. Kabel Arde/Grounding terdapat pada Gambar 2.9 yang berwarna kuning, kabel ini akan dipasang dekan dengan meteran listrik. Kabel Arde ini akan berfungsi sebagai pengaman pertama arus listrik bila terjadi sambaran petir. Kabel Arde dipasang dengan cara dililitkan pada besi kemudian ditanam di tanah, dan cara penyambungan Kabel Arde pada besi perbumian menggunakan teknik sambungan seperti penyambungan kabel pada umumnya.

2.7.2 kWh Meter

kWh Meter berfungsi sebagai penghitung energi listrik penggunaan sehari hari yang sudah bisa mengirimkan hasil pengukurannya kepada pihak PLN secara langsung. Selain itu kWh Meter saat ini sudah berfungsi untuk pengisian token listrik atau pulsa listrik, sehingga pembayaran listrik dapat diatur sesuai kebutuhan.



Gambar 2.10 Kwh Meter

2.7.3 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

MCB terdapat di setiap instalasi listrik, dan berfungsi sebagai saklar untuk mematikan atau menghidupkan arus listrik. Selain itu, MCB juga berfungsi sebagai pengaman saat terjadi lonjakan arus listrik dan akan memutuskan arus listrik secara otomatis.



Gambar 2.11 MCB

Pada dasarnya pengguna tidak boleh mengotak-atik MCB ataupun kWh Meter karena dapat menyebabkan kecelakaan dan pihak PLN akan bertindak memutuskan aliran listrik ke pengguna apabila melakukannya.

2.7.4 ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker)

ELCB atau MRCB pada dasarnya berfungsi sebagai circuit breaker sama seperti MCB. Sistem kerjanya pun sama yaitu sebagai relay penghubung tegangan dari sumber listrik. Tetapi ELCB ini memiliki kelebihan untuk bekerja lebih cepat dan lebih sensitif dibandingkan MCB untuk memutuskan arus listrik dari sumber ketika terjadi kebocoran listrik.



Gambar 2.12 ELCB

2.8 Perangkat Keras

Untuk membangun sebuah sistem monitoring arus listrik dan watts metering dengan sistem notifikasi dari smartphone ini membutuhkan beberapa perangkat keras yang merupakan komponen-komponen pendukung perancangan alat. Dalam segi perangkat keras komponen utama yang dibutuhkan berupa sensor, mikrokontroler dan perangkat pendukung lainnya.

2.8.1 Sensor

Tabel 2.3 Macam Sensor Arus dan Tegangan

No.	Sensor	Sistem Kerja & Spesifikasi	Keterangan	Kategori Harga
1	ACS712	<ul style="list-style-type: none"> a) Sensor dapat mengukur arus hingga 30A b) Daya yang dapat dilewati hingga 6600VA c) Low-noise analog signal d) 80kHz bandwidth e) Total output error 1.5% dengan suhu 25° f) 2.1 kVRMS minimum isolation voltage g) Bekerja pada tegangan 5V h) Dapat bekerja untuk sensor arus AC maupun DC i) Menggunakan Hall Effect Sensor 	Sensor arus ACS712 sangat banyak digunakan di sistem kendali automasi, salah satunya sebagai sistem keamanan arus beban pada listrik, kwh meter, dll.	Murah
2	CT Current Sensor (SCT 013)	<ul style="list-style-type: none"> a) Sensor dapat mengukur arus hingga 50A b) Frekuensi 50/60Hz c) Ratio error ±1% d) Menggunakan resistor dan kapasitor polar 	Sensor CT Current ini merupakan sensor yang lebih mudah digunakan daripada sensor ACS712 karena sensor ini lebih aman digunakan.	Mahal
3	Current Shunt Resistor	<ul style="list-style-type: none"> a) Dapat dibuat dengan menghitung kebutuhan pengukuran dengan rangkaian resistor dan op-amp 	Biasa digunakan untuk mengukur arus dan tegangan power supply digital	Sangat Murah
4	Sensor PZEM-004T	<ul style="list-style-type: none"> a) Tegangan supply 80-260V b) Arus AC yang dapat diukur hingga 100A c) Daya yang dapat dihitung 0-22kW 	Sensor ini dapat mengukur arus AC dan tegangan AC dan output data sudah digital.	Mahal
5	Sensor Tegangan ZMPT101B	<ul style="list-style-type: none"> a) Sensor dapat mengukur tegangan AC 110-250V b) Nilai input current 2mA c) Isolasi Tegangan 4000V d) Suhu operasi -40° hingga 70°C 	Sensor ZMPT101B ini hanya dapat mengukur tegangan AC saja.	Murah
6	INA219	<ul style="list-style-type: none"> a) Pengukuran tegangan hingga 26VDC b) Pengukuran arus hingga 3.2A c) Chip I2C 	Sensor INA 219 ini hanya dapat mengukur arus dan tegangan DC saja.	Murah

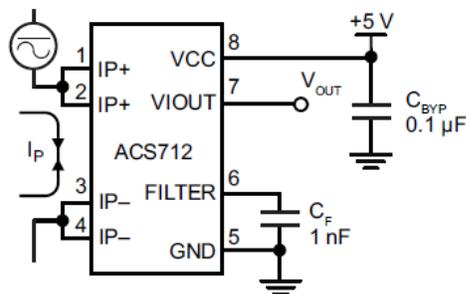
Sensor merupakan komponen utama dalam perancangan sistem ini, sensor harus memiliki karakteristik yang mampu mendeteksi secara akurat, memiliki respon

time yang cepat dan ekonomis. Ada beberapa sensor yang akan digunakan pada perancangan alat ini. Berikut adalah beberapa sensor yang berkaitan dengan pengukuran arus dan tegangan untuk membangun perancangan sistem monitoring arus listrik dan watts metering ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Dari beberapa sensor yang tersedia untuk pengukuran arus dan tegangan pada Tabel 2.3 perancangan sistem membutuhkan sebuah sensor yang memiliki 3 aspek karakteristik yang sebelumnya sudah dijelaskan. Sehingga penulis menentukan sensor mana saja yang mencakup 3 aspek tersebut, diantaranya adalah:

1. Sensor Arus ACS712

Sensor Arus ACS712 ini memiliki kemampuan yang sangat baik untuk mengukur arus AC maupun DC hingga 30A, memiliki nilai error yang kecil yaitu 1.5%, dan harganya yang relatif murah. Sehingga sangat cocok untuk penggunaan konvensional. Terlihat pada Gambar 2.13, Sensor ACS712 ini memiliki rangkaian yang cukup sederhana dengan input +5VDC.

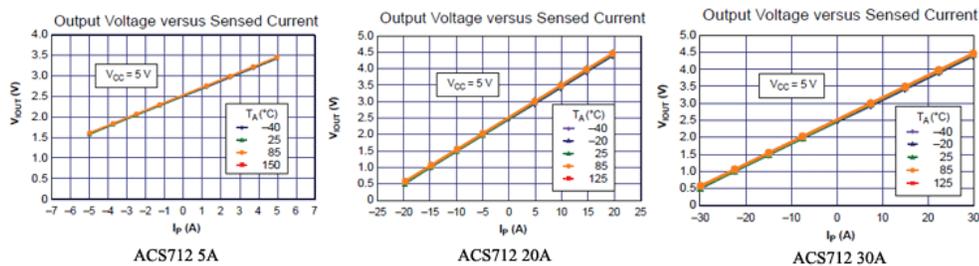


Gambar 2.13 Rangkaian Sensor Arus ACS712

Selain itu ACS712 merupakan sebuah modul sensor yang sudah menggunakan teknologi *Hall Effect*, yang dimaksud dengan teknologi *Hall Effect* ini yaitu mengalirkan jalur beban yang diukur melalui suatu media konduksi tembaga untuk menghasilkan medan magnet. Medan magnet tersebut kemudian akan diubah menjadi tegangan proporsional terhadap arus yang mengalir oleh sebuah *IC Hall*. Modul sensor ACS712 memiliki 3 jenis, diantaranya yaitu:

- ACS712-05B rentang pengukuran arus dari -5A hingga 5A
- ACS712-20B rentang pengukuran arus dari -20A hingga 20A
- ACS712-30B rentang pengukuran arus dari -30A hingga 30A

Sensor ACS712 memiliki tingkat akurasi yang tinggi, harga yang terjangkau dan respon yang cepat sehingga, sensor ACS712 sangat cocok untuk digunakan sebagai sensor arus pada perancangan ini. Adapun grafik sensitivitas dari masing-masing sensor ACS712 yang tersedia pada Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14 Grafik Sensitivitas ACS712

Pada Gambar 2.14 merupakan datasheet grafik sensitivitas dari masing-masing sensor ACS712 5A, ACS712 20A dan ACS712 30A. Dari grafik linier tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa:

- a) *Offset* tegangan output = 2.5V
- b) ACS712 5A mempunyai sensitivitas 185 mV/A
- c) ACS712 20A mempunyai sensitivitas 100mV/A
- d) ACS712 30A mempunyai sensitivitas 66mV/A

2. Sensor Tegangan ZMPT101B

Selanjutnya yaitu sensor tegangan yang akan digunakan adalah ZMPT101B. Sensor ini merupakan modul sensor tegangan AC yang menggunakan trafo isolasi dengan rasio tegangan 1:1. Sensor ZMPT101B ini tidak memiliki persamaan resolusi sehingga sensor harus dikalibrasi dengan manual. Proses kalibrasi akan dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil pembacaan analog bit tegangan keluaran sensor dengan pembacaan tegangan RMS menggunakan multimeter digital. Kemudian hasil perbandingan akan digunakan untuk membuat persamaan konversi bit ke tegangan RMS. Sensor ini telah dilengkapi dengan *summing amplifier* sehingga dapat digunakan untuk pembacaan tegangan negatif, pada Gambar 2.15 dapat dilihat model dari modul ZMPT101B.



Gambar 2.15 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor ZMPT101B ini sangat sesuai sekali digunakan untuk dihubungkan dengan mikrokontroler karena pengukurannya yang akurat. Sensor ini dapat beroperasi pada tegangan input 5VDC dan dapat mengukur tegangan 110-250VAC. Selain itu sensor ini sangat kuat dengan dapat bertahan pada suhu -40°C sampai $+70^{\circ}$. Sensor ZMPT101B ini telah memenuhi ketiga kriteria penggunaan sensor, yang salah satunya adalah harganya yang ekonomis sehingga sangat cocok digunakan untuk penggunaan konvensional.

2.8.2 Mikrokontroler

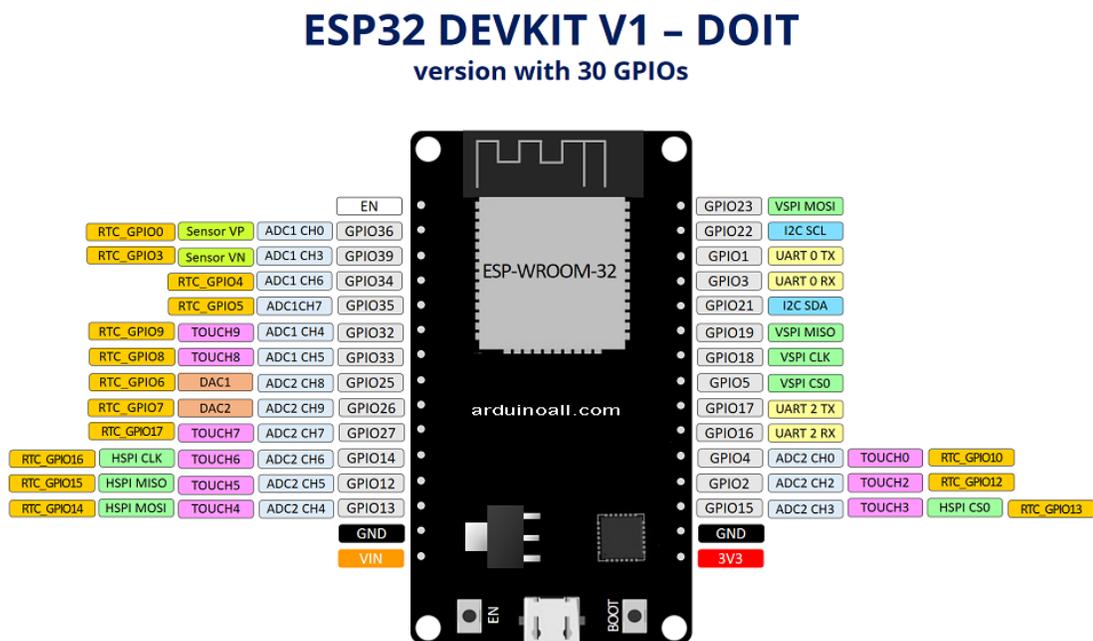
Mikrokontroler adalah merupakan sebuah komputer mini dalam sebuah IC yang didalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM dan lainnya. Mikrokontroler akan berfungsi sebagai tempat pengolahan data menggunakan pemrograman tertentu dan dapat mengerjakan instruksi-instruksi yang diberikan sesuai yang diinginkan programmer. Pada dasarnya kemampuan mikrokontroler memiliki kapasitas yang berbeda-beda sehingga pemilihan mikrokontroler yang tepat sangat berpengaruh dengan kinerja program yang akan dibangun. Pada umumnya mikrokontroler memiliki komponen-komponen sebagai berikut:

- a) Central Processing Unit (CPU), yang akan berfungsi sebagai otak dari mikrokontroler untuk mengoperasikan intruksi dari koding yang diberikan.
- b) Input/Output (IO), berfungsi sebagai akses masuknya data atau keluarnya data yang akan diolah didalam CPU ataupun yang sudah diolah oleh CPU.
- c) Random Access Memory (RAM), merupakan bagian memori sementara yang akan menyimpan data.

- d) Read Only Memory (ROM), merupakan bagian memori yang bertugas untuk menangkap dan menyimpan data program secara volatile atau dengan kata lain jika tidak ada tegangan pada mikrokontroler maka data akan tetap tersimpan.

2.8.3 ESP32 DevKit

ESP32 DevKit merupakan salah satu mikrokontroler keluaran espressif dan merupakan penerus dari ESP8266. ESP32 ini memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh arduino, diantaranya yaitu memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth 4.2 yang sudah tertanam di dalam board itu sendiri. Kemudian ESP32 ini memiliki kecepatan prosesor yang cukup cepat yang sudah Dual-Core 32-bit dengan kecepatan 160/240MHz.



ESP32 DevKit sendiri telah banyak digunakan untuk pemrograman berbasis IoT karena memiliki konektivitas yang sudah ada di dalam board ESP32 tersebut sehingga tidak perlu modul tambahan lagi untuk penggunaan Wi-Fi ataupun Bluetooth. Selain itu terlihat pada Gambar 2.16 ESP32 memiliki GPIO sebanyak 36 pin, GPIO sendiri merupakan *General Purpose Input Output* yang berfungsi sebagai pin input dan output analog maupun digital. Berikut pada Tabel 2.4 terlihat perbandingan ESP8266 dan ESP32 secara fitur dan spesifikasi lengkap.

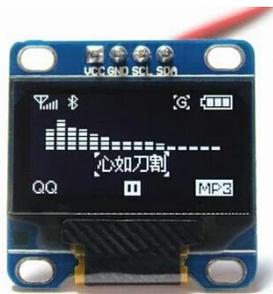
Tabel 2.4 Perbandingan ESP8266 dengan ESP32

Spesifikasi	Board	
	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa Single-core 32-bit L106	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 with 600DMIPS
Wi-Fi	802.11 b/g/n tipe HT20	802.11 b/g/n tipe HT40
Bluetooth	Tidak Ada	Bluetooth 4.2 dan BLE
Frekuensi	80 MHz	160 MHz
SRAM	Tidak Ada	Ada
Total GPIO	17 pin	36 pin
Total ADC pin	1 pin	15 pin
Total Digital pin	9 pin	2 pin
Tegangan Output	3.3 – 5 Volt	3.3 – 5 Volt
Total SPI-UART-I2C-I2S	2-2-1-2	4-2-2-2
Resolusi ADC	10 bit	12 bit
Suhu operasional kerja	-40°C hingga 125°C	-40°C hingga 125°C
Sensor dalam modul	Tidak ada	Touch Sensor, Temperature Sensor, Hall Effect Sensor
Harga di pasaran	Rp. 30.000 – 350.000	Rp. 70.000 – 650.000

Seperti yang terlihat pada Tabel 2.4 diatas, sudah sangat jelas ESP32 lebih unggul dan memiliki *processor* yang lebih tinggi sehingga pengolahan data akan lebih cepat. Selain itu pin ADC yang terdapat pada ESP32 lebih banyak dibandingkan dengan ESP8266. Sehingga dapat melakukan pemrograman yang lebih kompleks.

2.8.4 OLED Display (Adafruit I2C OLED)

OLED display adalah salah satu display output media untuk menampilkan data dalam bentuk text ataupun gambar. Dengan kontras pixel yang tajam OLED tidak membutuhkan cahaya backlight sehingga lebih hemat dalam konsumsi daya. Tampilan akan lebih menarik dibandingkan dengan LCD display. Akan tetapi ukuran dari OLED relatif lebih kecil sehingga akan sangat cocok untuk penerapan pada alat yang sederhana agar menjadi lebih menarik. LCD OLED menggunakan interface komunikasi I2C dengan controller. Tampilan OLED dapat terlihat seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 OLED Display

Dari perbandingan spesifikasi penggunaan pada Tabel 2.5 di atas OLED akan lebih menghemat daya dan resolusi layar yang lebih besar dibandingkan LCD display dengan harga yang hampir setara. Sehingga penggunaan OLED akan lebih efisien dibandingkan LCD display karena pada ESP32 sudah terdapat pin I2C yang dapat digunakan oleh OLED. Adapun spesifikasi dan perbedaan OLED dengan LCD display yang membuat pemilihan OLED ini menjadi pilihan utama yang akan digunakan pada sistem watt metering ini dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Spesifikasi OLED dan LCD Display

No.	Spesifikasi	LCD Display	OLED Display
1	Resolusi Layar	a) 16x2 b) 16x4 c) 8x2 d) 20x4	a) 128x32 b) 128x64 c) 96x64 d) 128x128
2	Warna	Hitam	a) Kuning-Biru b) Putih c) Biru
3	Komunikasi	Pin Digital	I2C dan SPI
4	Input VCC	7 – 12 V	3.3 – 5 Volt
5	Backl Light	Ada	Tidak Ada
6	Harga pasaran	Rp. 12.000 – 50.000	Rp. 30.000 – 250.000

2.8.5 Akses Point (*Gateway*)

Akses point akan berperan sebagai penghubung dari ESP32 ke *cloud* dengan akses internet yang diberikan. ESP32 akan mengirimkan datanya ke *cloud* melalui akses internet sehingga web server dapat menerima data tersebut dan menampilkannya. Akses point sendiri bisa berupa router, tethering dari device lain, menggunakan akses Mi-Fi, atau modem sehingga jaringan menjadi wireless (tanpa kabel).

**Gambar 2.18** Akses Point/Router

Wireless dapat dijangkau oleh ESP32 dengan melakukan pairing atau menyambungkannya secara langsung ke jaringan Wi-Fi. Dengan menggunakan Wi-Fi dari akses point maka pemasangan sensor dapat dengan mudah dilakukan tanpa harus

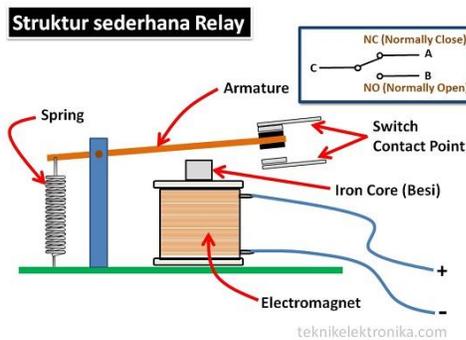
menambah perangkat. Berikut pada Gambar 2.18 merupakan salah satu contoh akses poin yang dapat digunakan.

2.8.6 Relay

Relay merupakan salah satu jenis saklar yang akan beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik yang dimanfaatkan untuk menggerakkan kontaktor guna menghubungkan rangkaian secara tidak langsung. Terbuka dan tertutupnya kontaktor yaitu disebabkan oleh adanya gaya induksi magnetik yang dihasilkan dari kumparan induktor yang dialiri arus listrik secara otomatis. Relay memiliki 5 bagian inti komponen yang dapat dilihat pada Gambar 2.19 diantaranya adalah:

- a) *Armature*, merupakan penampang antara spring dengan *switch contact*
- b) Electromagnet atau Coil, merupakan lilitan yang diberikan pada *iron core*
- c) *Spring*, merupakan bagian untuk mempertahankan posisi *armature*
- d) *Switch Contact/Saklar*, bagian dimana posisi *on* atau *off* yang dipengaruhi oleh perpindahan spring
- e) *Iron Core*, merupakan inti besi yang diberi lilitan kumparan coil agar menimbulkan gaya elektromagnetik

Pada saat relay memiliki kondisi *Normally Open (NO)* maka saklar akan menghantarkan arus listrik, tetapi jika kondisi terdapat pada *Normally Close (NC)* berarti relay tidak teraliri arus listrik. Relay sendiri memiliki banyak fungsi yang sangat berguna pada kehidupan sehari-hari, diantaranya yaitu menjalankan fungsi logika pada mikrokontroler, sebagai aktuator, sebagai proteksi, dan masih banyak lagi.



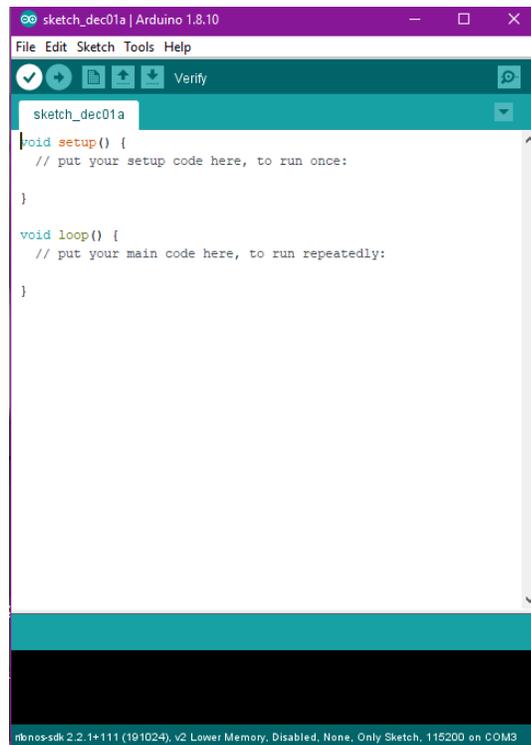
Gambar 2.19 Struktur Sederhana Relay

2.9 Perangkat Lunak

Perangkat lunak atau biasa software merupakan bagian yang utama untuk mengambil data dari hasil pembacaan sensor kemudian diolah menjadi sebuah sistem yang terintegrasi. Penggunaan perangkat lunak yang dibutuhkan untuk sistem yang akan dirancang adalah sebagai berikut.

2.9.1 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan sebuah perangkat lunak yang berfungsi sebagai wadah untuk melakukan pemrograman dalam bentuk bahasa C. Arduino IDE ini dibuat dari bahasa pemrograman Java yang sudah dilengkapi dengan *library C/C++* yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi input atau output menjadi lebih mudah. Arduino IDE juga dapat disebut sebagai *software* untuk mendesain sebuah fungsi-fungsi yang akan dituangkan kedalam perangkat keras. Arduino IDE sendiri sangat populer dan banyak digunakan oleh pengembang untuk melakukan perancangan sederhana hingga kompleks sekalipun. Berikut adalah tampilan Arduino IDE yang dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Tampilan Arduino IDE

Pada Gambar 2.20 terlihat tampilan Arduino IDE yang isinya terdapat 2 buah fungsi yang sudah tersedia yaitu, *void setup* dan *void loop*. *Void setup* merupakan sebuah fungsi untuk meng-inisialisasi node-node yang akan digunakan. Sedangkan *void loop* merupakan sebuah paragraf untuk mengatur program agar melakukan aksi terhadap node-node yang digunakan atau memberi perintah untuk melakukan fungsi tertentu.

2.9.2 Platform IoT (*Internet of Things*)

Platform IoT adalah sebuah penyedia layanan berbasis IoT untuk menyimpan, mengolah, dan menampilkan data yang didapat dari hasil pembacaan sensor dan kemudian dikirim melalui internet. Ada banyak penyedia layanan platform

pengembangan IoT, salah satunya adalah Amazon dan Microsoft. Akan tetapi kedua platform tersebut sudah berbayar, sehingga lebih cocok untuk kebutuhan bisnis. Dengan menggunakan platform IoT yang sudah tersedia, data yang akan kita kirim akan lebih aman dan lebih mudah diakses dari mana saja. Salah satu platform yang dapat digunakan adalah Cayenne MyDevice, dengan kemampuan menyimpan data dan menampilkan data dalam bentuk widget Cayenne MyDevice dapat menjadi alternatif platform untuk membangun sebuah sistem IoT.



Gambar 2.21 Cayenne MyDevice

Cayenne MyDevice memiliki beberapa fitur dan spesifikasi yang mendukung untuk sistem IoT sebagai berikut:

a) Customizable Dashboard

Cayenne memiliki keunggulan yaitu terdapat dashboard interface yang mudah digunakan dan dimengerti oleh orang awam untuk melihat informasi di dalamnya. Dengan fitur drag-and-drop, Cayenne dapat mengontrol perangkat yang terhubung, menampilkan data, dan manajemen data yang telah didapatkan.

b) Remote Monitoring & Control

Memiliki fitur manual kontrol widget, untuk memudahkan pengguna mengontrol secara jarak jauh.

c) Alerts

Memiliki fitur notifikasi yang dapat dikirim melalui e-mail dan LINE notifikasi secara bersamaan. Selain itu dapat membuat jenis notifikasi secara bersamaan dalam satu kondisi.

d) Triggers

Memiliki kemampuan *Creative Automation*, yaitu sebuah kemampuan untuk otomatisasi kondisi yang diinginkan dengan metode *if & then*.

e) Scheduled Automation

Dapat membuat sebuah jadwal yang bisa di otomatisasikan, contohnya ketika ingin menyalakan satu buah lampu pada tanggal tertentu dan waktu tertentu. Kita dapat membuat lampu tersebut menyala secara otomatis pada tanggal dan waktu yang telah ditentukan.

f) Data-Driven IoT

Dapat mengakses dan menganalisis data secara real-time, serta data tersebut dapat di download dalam bentuk dokumen. Data akan tersimpan pada platform dan dapat diakses kapan saja.

g) Track Valuable Assets

Memiliki kemampuan untuk melakukan *location-based tracking*, atau dengan kata lain dapat mengetahui letak sensor, status sensor yang terpasang dan terintegrasi pada Cayenne dengan divisualisasikan dengan map.

h) Custom Code

Dapat melakukan pengkodean secara manual di dalam platform untuk memaksimalkan fungsi alat yang akan dibuat. Dengan melakukan coding secara manual didalam platform akan membuat proses pengolahan data lebih cepat dibandingkan hanya mengandalkan mikrokontroler saja.

i) MQTT API

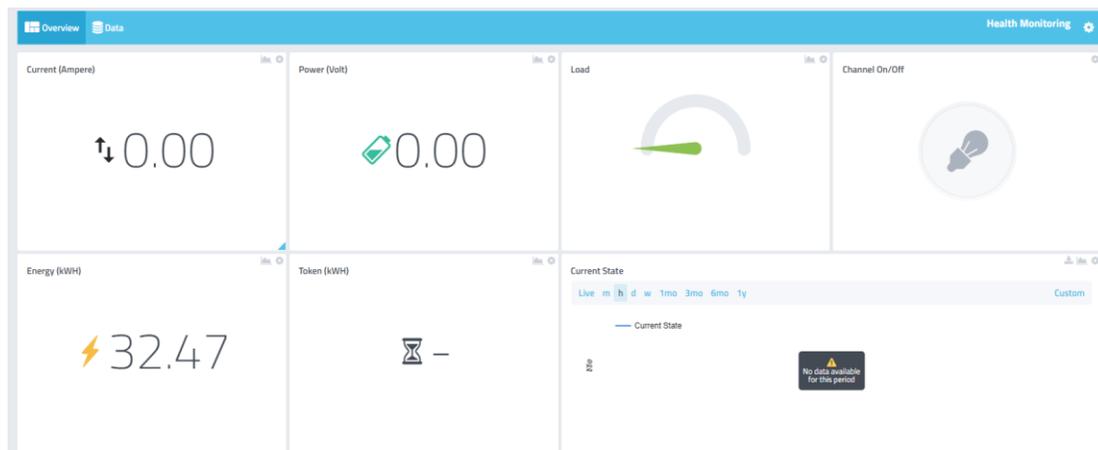
Dengan MQTT API, alat dapat terkoneksi dengan mudah pada Cayenne *Cloud*. Selain itu dengan adanya dukungan MQTT API yang dapat diakses berbagai macam perangkat melalui pengkodean SDK, C++, dan Arduino MQTT. Dengan begitu, perangkat akan mudah mengirim data kedalam dashboard dan menampilkan data tersebut kedalam *custom widgets*.

j) LoRaWAN

Memiliki kemampuan untuk menggunakan perangkat LoRa dan mudah untuk diakses untuk mengumpulkan data, mentransfer data, dan menampilkan data yang dapat diakses secara jarak jauh.

Pada Gambar 2.22 terlihat sebuah contoh tampilan dashboard yang dapat di akses melalui website Cayenne MyDevice. Dalam dashboard tersebut kita dapat menampilkan informasi data yang di inginkan yang kemudian dapat di akses oleh

pengguna. Selain itu, Cayenne MyDevice memiliki layanan database untuk menyimpan dan mengolah data, juga dapat memberikan notifikasi informasi kepada penggunanya seperti alarm, pesan email, atau peringatan lainnya. Gambar 2.22 merupakan salah satu contoh tampilan output sensor yang sudah diolah menjadi informasi melalui Cayenne MyDevice.

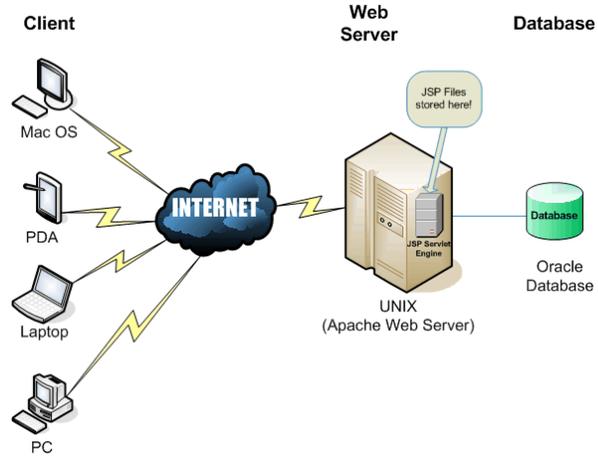


Gambar 2.22 Contoh Tampilan Dashboard Cayenne MyDevice

2.9.3 Web Server

Web Server merupakan bagian perangkat lunak yang dapat di akses melalui berbagai macam web browser seperti mozilla, chrome, firefox dan lainnya. Web Server sendiri memiliki cara kerjanya, yaitu ketika diminta untuk mengakses sebuah halaman web, maka web browser akan mengirim permintaan tersebut ke *cloud* internet dan mengambil data dari *database*. Kemudian permintaan tersebut akan dikembalikan ke perangkat untuk menampilkan permintaan yang telah diambil dari *database* sebelumnya. Pada bagian ini data yang dikirimka oleh ESP32 ke *cloud* melalui

internet akan diakses dan ditampilkan dari device yang mengaksesnya. Adapun struktur Web Server seperti pada Gambar 2.23 berikut.



Gambar 2.23 Struktur Web Server