



# DAFTAR ISI

|  |    |
|--|----|
| BAB 1 SISTEM KELISTRIKAN DI INDONESIA .....          | 5  |
| 1.1. Pengetahuan Dasar Tentang Kelistrikan.....      | 6  |
| 1.2. Proses Penyaluran Listrik .....                 | 14 |
| 1.3. Profil Pengguna Rumah Tinggal .....             | 17 |
| KESIMPULAN.....                                      | 19 |
| LATIHAN SOAL .....                                   | 20 |
| BAB 2 ATURAN DALAM INSTALASI LISTRIK.....            | 22 |
| 2.1. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) ..... | 23 |
| 2.2. Maksud dan Tujuan PUIL .....                    | 24 |
| 2.3. Ruang Lingkup PUIL .....                        | 24 |
| 2.4. PUIL 2011 Instalasi Rumah Tangga.....           | 25 |
| 2.5. Keselamatan Kerja.....                          | 29 |
| KESIMPULAN.....                                      | 34 |
| LATIHAN SOAL .....                                   | 35 |
| BAB 3 KOMPONEN INSTALASI LISTRIK .....               | 36 |
| 3.1. Syarat Instalasi Listrik .....                  | 37 |
| 3.2. Komponen Instalasi Listrik Rumah Tangga .....   | 39 |
| 3.2.1. Kabel Penghantar.....                         | 39 |
| 3.2.2 Saklar .....                                   | 43 |
| 3.2.3 Kotak Kontak dan Kontak Tusuk .....            | 44 |
| 3.2.4 Peralatan Pengaman dan Pengukuran.....         | 45 |
| 3.2.5 Fitting Lampu .....                            | 48 |
| 3.2.6 Pipa dan Klem.....                             | 49 |
| 3.2.7 Kotak Hubung.....                              | 51 |
| 3.3. Komponen Instalasi Tenaga .....                 | 52 |
| 3.3.1 Kontaktor Magnet .....                         | 52 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3.2 Saklar Tekan/ <i>Push Button</i> .....   | 55  |
| 3.3.3 <i>Time Definite Relay</i> (TDR).....    | 55  |
| 3.3.4 <i>Thermal Overload Relay</i> (TOR)..... | 56  |
| 3.3.5 Motor Induksi .....                      | 57  |
| 3.4. Pembumian/ <i>Grounding</i> .....         | 58  |
| KESIMPULAN.....                                | 63  |
| LATIHAN SOAL .....                             | 64  |
| BAB 4 GAMBAR INSTALASI LISTRIK.....            | 65  |
| 4.1 Pendahuluan.....                           | 66  |
| 4.2 Perancangan Instalasi.....                 | 70  |
| 4.3 Konservasi Energi.....                     | 78  |
| 4.4 Segitiga Daya .....                        | 80  |
| 4.5 Perbaikan Faktor Daya .....                | 83  |
| KESIMPULAN.....                                | 86  |
| LATIHAN SOAL .....                             | 88  |
| BAB 5 INSTALASI PANEL SURYA .....              | 90  |
| 5.1 Potensi Energi Surya.....                  | 91  |
| 5.2 Teknologi Fotovoltaik .....                | 93  |
| 5.2.1. Prinsip Kerja Fotovoltaik.....          | 94  |
| 5.2.2. Efisiensi Modul Fotovoltaik .....       | 95  |
| 5.2.3. Performansi Modul Fotovoltaik.....      | 96  |
| 5.2.4. Jenis Modul Fotovoltaik .....           | 98  |
| 5.3. Komponen Sitem PLTS .....                 | 102 |
| 5.3.1. Modul Fotovoltaik .....                 | 103 |
| 5.3.2. Solar Charge Controller (SCC).....      | 105 |
| 5.3.3. Penyimpanan Energi.....                 | 107 |
| 5.3.4. Inverter.....                           | 110 |
| 5.4. Konfigurasi Sistem PLTS .....             | 111 |

KESIMPULAN.....120  
LATIHAN SOAL .....121

4. Solar panel dapat terhubung secara seri maupun paralel. Selain itu panel surya juga dapat disusun secara kombinasi.

### **LATIHAN SOAL**

1. Jelaskan potensi energi surya di Indonesia!
2. Jelaskan perbedaan modul fotovoltaik generasi pertama, kedua dan ketiga!
3. Sebut dan jelaskan komponen penyusun sistem PLTS!
4. Jelaskan perbedaan sistem on-grid dan off-grid dalam sistem PLTS!

konversi hanya akan terjadi dalam inverter jaringan. Disisi lain, konfigurasi AC memberi lebih poly fleksibilitas untuk memakai mudah diperluas memakai tambahan rangkaian modul fotovoltaik atau dijalankan secara hybrid bersama memakai pembangkit listrik lainnya. Mirip memakai sistem DC-coupling, inverter baterai wajib bekerja secara paralel untuk mencapai keluaran daya yang lebih tinggi. Karena inverter baterai adalah “otak” pembentukan jaringan distribusi dalam PLTS off-grid, terdapat setidaknya satu inverter yg bertindak sebagai “master” yg menyediakan surat informasi tegangan & frekuensi, & pula inverter baterai sisanya bertindak sebagai “slave” yang bergabung dalam jaringan.

## KESIMPULAN

1. Terdapat beberapa jenis radiasi yang dihasilkan dari sinar matahari, antara lain radiasi langsung, radiasi hambur, radiasi terserap, dan radiasi global.
2. Modul fotovoltaik terdiri dari beberapa generasi yang ditunjukkan dari bahan pembuatannya yaitu generasi pertama (tipe polycrystalline), generasi kedua (tipe silikon aarmhorphous), dan generasi ketiga.
3. Terdapat beberapa komponen utama penyusun PLTS antara lain modul fotovoltaik, solar charge controller, penyimpanan energi, dan inverter.

# BAB 1

## SISTEM KELISTRIKAN INDONESIA

### Capaian Pembelajaran:

Bab ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami istilah-istilah dalam kelistrikan serta mampu menjelaskan proses perjalanan listrik dari pembangkitan listrik, distribusi listrik sampai ke pengguna rumah tangga. Materi pada bab ini mencakup jenis-jenis pembangkit, saluran transmisi, saluran distribusi, dan komponen kelistrikan yang berperan dalam penyaluran listrik sampai ke pengguna rumah tinggal. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami pengertian istilah-istilah dasar dalam kelistrikan, menjelaskan proses perjalanan listrik, serta menyebutkan komponen-komponen yang berperan dalam penyaluran listrik.

## 1.1. Pengetahuan Dasar Tentang Kelistrikan

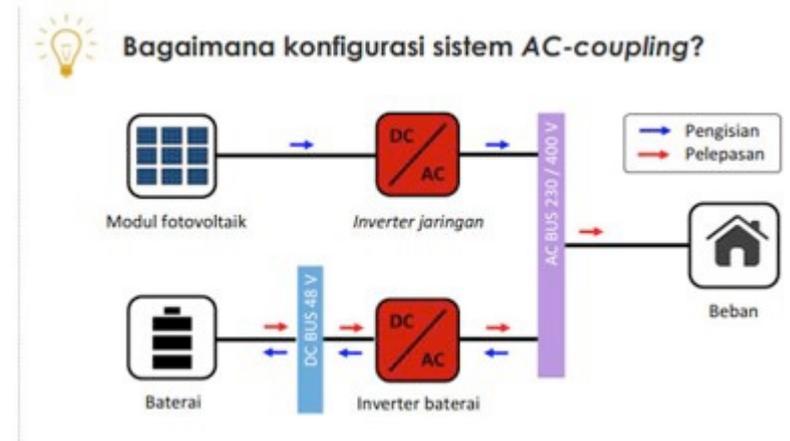
Saat ini listrik menjadi salah satu hal yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Pemanfaatan listrik untuk keperluan industri berawal dari revolusi industri kedua yang terjadi sekitar tahun 1870-an. Pada masa tersebut, listrik digunakan pada jalur perakitan untuk mendukung proses produksi produk secara masal. Setelah itu, perkembangan teknologi sangat bergantung pada ketersediaan listrik. Bahkan saat ini, revolusi industri yang dikenal sebagai Industry 4.0 atau Society 5.0 sangat bergantung pada ketersediaan listrik untuk mencapai tujuannya.

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai sistem kelistrikan, kita perlu memahami beberapa istilah dasar dalam kelistrikan, antara lain:

### 1. Muatan dan arus

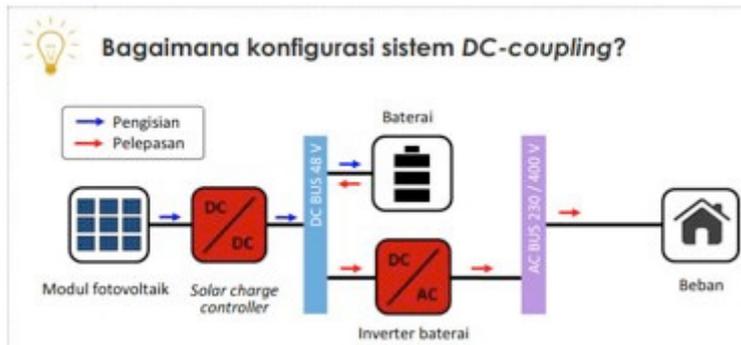
Konsep muatan listrik adalah prinsip dasar untuk menjelaskan fenomena listrik. Besaran yang paling dasar pada rangkaian listrik adalah muatan listrik (*electric charge*). Kita tentunya punya pengalaman melihat pengaruh muatan listrik saat kita memakai atau melepas baju kita yang berbahan wool dan mendapatkannya menempel pada tubuh kita sehingga kita merasakan rambut kita berdiri akibat hal tersebut. Muatan listrik merupakan sifat kelistrikan suatu partikel atom tertentu, satuannya adalah coulombs (C). Muatan listrik dapat diartikan sebagai muatan dasar yang dimiliki suatu benda, yang membuatnya mengalami gaya pada benda lain yang berdekatan dan juga memiliki muatan listrik.

Pada ilmu fisika dasar kita mengetahui bahwa seluruh benda tersusun dari atom yang terdiri dari proton, elektron dan neutron. Muatan  $e$  pada elektron adalah negatif dan nilainya sama dengan



Gambar 5.13 Konfigurasi system AC-coupling

Berbeda memakai sistem DC-coupling, inverter baterai dalam sistem AC-coupling bekerja secara dua arah (bidirectional). Alat ini berfungsi sebagai pengatur pengisian baterai (charger) ketika radiasi sinar matahari cukup, beban terpenuhi, & baterai belum terisi penuh (SoC rendah). Ketika beban melampaui jumlah daya masukan modul fotovoltaik, biasanya pada malam hari atau ketika hari sedang berawan, maka inverter baterai akan beralih menjadi inverter membarui arus DC-AC menjadi akibatnya energi dari baterai mampu digunakan untuk memenuhi permintaan beban. Sistem konversi dalam sistem AC-coupling bekerja dalam dua cara. Hal ini menyebabkan rugi-rugi konversi yang lebih tinggi dibandingkan sistem DC-coupling. Namun demikian, sistem AC-coupling lebih menguntungkan bila kemungkinan beban pada siang hari lebih tinggi karena dalam hal ini kerugian



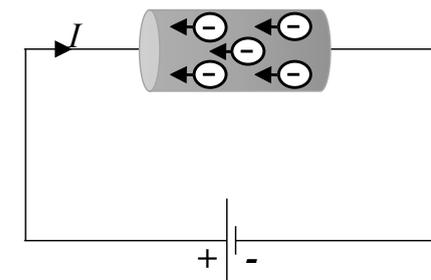
Gambar 5.12 Konfigurasi system DC-coupling

### B. Sistem AC-coupling

Komponen utama yang membedakan sistem AC-coupling memakai DC-coupling adalah inverter jaringan. Dalam konfigurasi AC-coupling, modul fotovoltaik & baterai dihubungkan dalam bus AC melalui inverter jaringan & inverter baterai. Modul fotovoltaik terhubung ke inverter jaringan dimana tegangan diubah berdasarkan DC ke AC. Serupa memakai charge controller, inverter jaringan pula dilengkapi perangkat MPPT untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Daya berdasarkan rangkaian modul fotovoltaik mampu langsung digunakan oleh beban dalam siang hari & kelebihanannya digunakan untuk mengisi baterai melalui inverter baterai pada saat yang sama. Konfigurasi DC-Coupling dapat dilihat pada Gambar 5.13.

$1,602 \times 10^{-19}$  C, ketika proton membawa muatan positif pada nilai yang sama. Adanya nilai proton dan elektron yang sama membentuk atom bermuatan netral. Beberapa hal yang perlu diperhatikan tentang muatan listrik adalah:

- Coloumb* adalah satuan dari muatan listrik. Pada muatan 1 C terdapat  $1/(1,602 \times 10^{-19}) = 6,24 \times 10^{18}$  elektron. Nilai muatan yang biasa digunakan pada skala laboratorium adalah pada orde pC, nC dan  $\mu$ C,
- Sesuai dengan hasil pengamatan, hanya muatan yang terdapat di alam yang merupakan perkalian integral dari muatan listrik  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C.
- Hukum Kekekalan Muatan menyatakan bahwa muatan tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, hanya dapat dipindahkan. Dengan demikian jumlah aljabar muatan listrik dalam suatu sistem tidak berubah.



Gambar 1.1. Arus listrik akibat aliran muatan listrik dalam konduktor

Dari Gambar 1.1 kita dapat melihat bahwa muatan listrik dapat mengalir. Muatan dapat berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain, dimana muatan dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain. Ketika kabel sebagai konduktor (mengandung atom) dihubungkan

dengan baterai sebagai sumber *Electromotive Force* (emf) atau gaya gerak listrik (ggl), muatan dipaksa untuk bergerak. Muatan positif bergerak ke satu arah ketika muatan negatif bergerak ke arah berlawanan. Gerakan ini menimbulkan arus listrik. Kita dapat mengartikan arus listrik sebagai perpindahan/pergerakan muatan positif. Pernyataan itu merupakan kebalikan dari Gambar 1.1 yang menunjukkan perpindahan muatan negatif pada suatu konduktor. Pernyataan ini dikemukakan oleh Benjamin Franklin (1706-1790), yang merupakan seorang peneliti dan penemu. Meskipun kita tahu bahwa arus dalam konduktor berbahan metalik terjadi karena elektron bermuatan negatif, namun kita perlu mengikuti kesepakatan bersama bahwa arus merupakan aliran muatan positif. Arus listrik dapat diartikan sebagai perubahan muatan setiap satuan waktu, yang diukur dalam ampere (A). Persamaan matematika yang menunjukkan hubungan antara arus (i), muatan (q) dan waktu (t) dapat dilihat pada persamaan (1.1).

$$i \triangleq \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

Muatan yang mengalir dari  $t_0$  ke  $t$  didapat dengan mengintegalkan kedua sisi persamaan (1.1), sehingga mendapatkan persamaan (1.2).

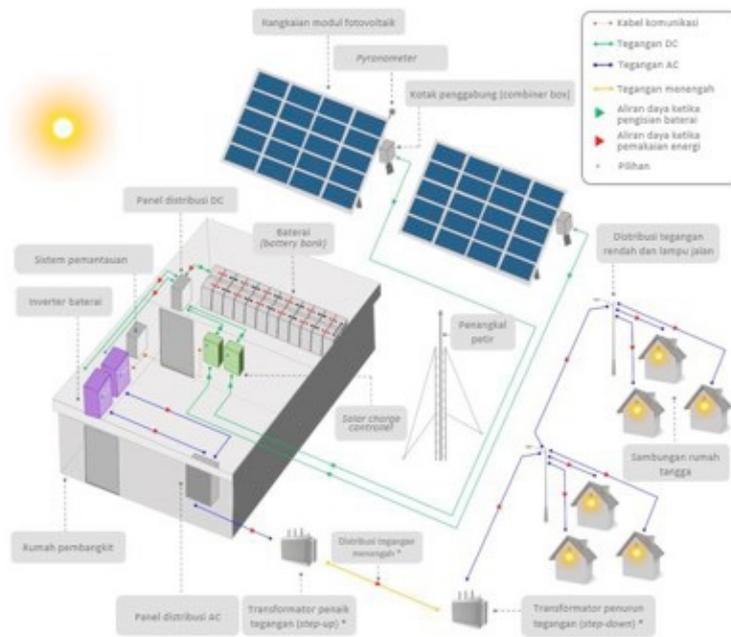
$$Q \triangleq \int_{t_0}^t i dt \quad (1.2)$$

Terdapat dua macam arus yang kita pelajari, yaitu arus searah (*direct current/dc*) dan arus bolak balik (*alternating current/ac*). Arus searah/dc merupakan arus yang memiliki nilai konstan sepanjang

#### A. Sistem DC-coupling

Sistem dianggap memiliki konfigurasi penyambungan sistem DC (DC-coupling) apabila komponen utamanya terhubung dalam bus DC. Daya listrik dibangkitkan oleh modul fotovoltaik & digunakan untuk mengisi baterai melalui solar charge controller. SCC adalah pengonversi DC-DC untuk menurunkan tegangan modul fotovoltaik ke level tegangan baterai yang juga dilengkapi memakai maximum power point tracker (MPPT) untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Di siang hari, memakai radiasi sinar matahari yang cukup, baterai diisi untuk mencapai kondisi pengisian (SoC, state of charge) yang maksimal. Seiring memakai meningkatnya permintaan listrik hingga beban melebihi daya larik fotovoltaik yang terhubung, inverter baterai akan menyalurkan energi dari baterai ke beban & akan berhenti beroperasi ketika SoC baterai mencapai batas minimum. Konfigurasi DC-Coupling dapat dilihat pada Gambar 10.

Penyambungan sistem PLTS off-grid yang generik yaitu sistem penyambungan AC atau AC-coupling & penyambungan DC atau DC-coupling. Secara singkat, DC adalah singkatan untuk direct current (arus searah), terdapat interim AC adalah singkatan untuk alternating current (arus bolak-balik). Penyambungan (coupling) mengacu pada titik penyambungan dalam sistem. Sistem DC-coupling menghubungkan rangkaian modul fotovoltaik ke sisi DC sistem PLTS melalui solar charge controller. Sementara itu, sistem AC-coupling menghubungkan rangkaian modul mentari & baterai ke sisi AC melalui inverter jaringan & inverter baterai.



Gambar 5.11 PLTS Off-grid

waktu, sedangkan arus bolak balik/ac merupakan arus dengan nilai berubah-ubah secara sinusoidal sepanjang waktu. Perbedaan antara kedua jenis arus tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Tipe arus: (a) arus searah/dc, (b) arus bolak balik/ac

## 2. Beda potensial

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan mengenai muatan, khususnya muatan negatif atau elektron. Muatan yang bergerak pada satuan waktu disebut sebagai arus. Untuk menggerakkan elektron dalam sebuah konduktor pada arah tertentu memerlukan usaha atau energi. Usaha ini dilakukan oleh emf (yang dikenal juga sebagai tegangan atau beda potensial) eksternal seperti baterai pada Gambar 1.3. Tegangan atau beda potensial antara dua titik *a* dan *b* dalam suatu rangkaian listrik merupakan energi yang diperlukan untuk menggerakkan muatan dari titik *a* ke titik *b* melalui suatu elemen yang secara matematika dapat dituliskan persamaannya:

$$v_{ab} \triangleq \frac{dw}{dq} \tag{1.3}$$

dimana *w* adalah energi dalam joule (J), *q* adalah muatan dalam coulomb (C) dan *v<sub>ab</sub>* atau *v* adalah tegangan dalam volt (V).

Gambar 1.3 menunjukkan bahwa tegangan melewati sebuah elemen yang terhubung dengan titik  $a$  dan  $b$ . Tanda positif (+) dan negatif (-) digunakan untuk menunjukkan polaritas tegangan. Tegangan  $v_{ab}$  dapat diartikan menjadi: (i) titik  $a$  pada potensial  $v_{ab}$  memiliki nilai yang lebih tinggi dari titik  $b$ , atau (ii) potensial titik  $a$  terhadap titik  $b$  adalah  $v_{ab}$ . Sehingga dapat dikatakan bahwa  $v_{ab} = -v_{ba}$ .



Gambar 1.3. Polaritas tegangan  $v_{ab}$

### 3. Gaya listrik

Ketika muatan pada tubuh saling tarik menarik atau saling menjauh, maka di sana terdapat gaya listrik yang berlaku antara muatan pada tubuh. Hukum Coulomb merupakan hubungan antara muatan pada tubuh,  $q_1$  dan  $q_2$ , dan jarak antara keduanya,  $R$ , dengan gaya,  $F$ , dengan persamaan

$$F_e = \frac{K q_1 q_2}{R^2} \quad (1.4)$$

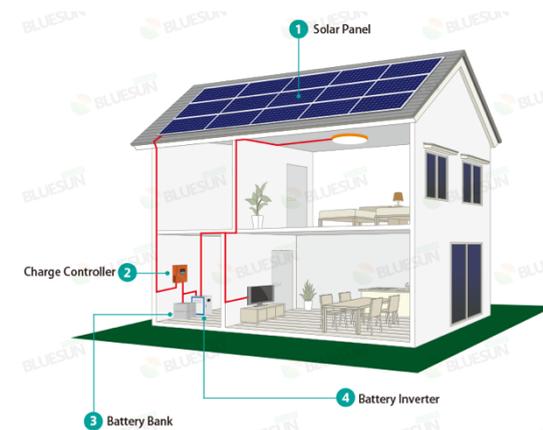
Dengan  $K = 1/(4\pi\epsilon_0)$ , dengan permitivitas ruang hampa  $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ . Satuannya adalah newton (N).

### 4. Medan listrik

Medan listrik,  $E$ , didefinisikan sebagai gaya listrik yang bekerja pada muatan positif dibagi dengan nilai muatan. Oleh karena itu,

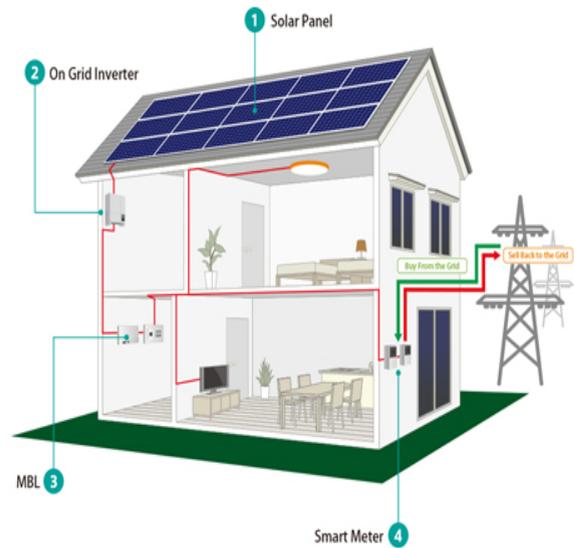
- o Ketika aliran jaringan listrik mati maka system tidak dapat digunakan
- ## 2. Off Grid Sistem

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (Off-Grid) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan listrik atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau fotovoltaic. Salah satu keunggulan sistem off-grid bila dibandingkan dengan sistem on-grid yakni dapat tetap menyediakan listrik jika terdapat pemadaman listrik dari jaringan listrik. Namun sistem ini memiliki kekurangan yakni kemungkinan tidak dapat memenuhi kebutuhan beban listrik secara total. Biaya pembelian baterai juga relative tinggi. Instalasi off-grid dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Instalasi *Off-Grid*.

dijual/dialirkan ke jaringan listrik melalui alat ukur energi khusus. Instalasi on-grid dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Instalasi *On-Grid*

**Keuntungan:**

- Membantu menekan biaya listrik dari PLN
- Semakin mahal biaya PLN maka semakin besar biaya penghematan bisa dilakukan.
- Tidak membutuhkan baterai sebagai penampung, kelebihan energi langsung dialirkan ke PLN.
- Menekan biaya operasional dari genset.

**Kelemahan:**

- Bergantung pada jaringan listrik yang disediakan

medan listrik memiliki satuan dalam SI sebagai newton per coulomb. Secara matematis, persamaan medan listrik adalah:

$$E = \frac{F_e}{q} \tag{1.5}$$

Maka usaha yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan sebesar 1 C dalam medan listrik sebesar 1 N/C pada jarak 1 m adalah 1 N.m atau 1 J.

**5. Resistansi dan resistivitas**

Ketika tegangan diberikan melewati suatu konduktor, sejumlah arus akan melewati konduktor tersebut sebanding dengan tegangan yang diberikan. Konstanta proporsional adalah resistansi listrik,  $R$ , dengan satuan SI ohm ( $\Omega$ ). Resistansi listrik dapat dihubungkan dengan resistivitas listrik,  $\rho$ , untuk kabel yang memiliki luas penampang  $A$  dan panjang  $L$  yang dirumuskan dengan persamaan:

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{1.6}$$

dengan satuan SI  $\Omega.m$ . Suatu konduktor memiliki nilai resistivitas rendah (contoh perak/Ag:  $1,5 \times 10^{-8} \Omega.m$ ), isolator memiliki nilai resistivitas tinggi (contoh kuarsa:  $5 \times 10^7 \Omega.m$ ) dan semikonduktor memiliki nilai diantara keduanya (contoh silikon/Si:  $2 \Omega.m$ ).

Resistivitas adalah sifat suatu benda dan berhubungan dengan suhu benda dengan persamaan:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \tag{1.7}$$

dengan  $\rho_0$  adalah resistivitas referensi pada suhu referensi  $T_0$  dan  $\alpha$ , koefisien suhu pemuai benda. Untuk konduktor, nilai  $\alpha$  berkisar

antara  $0,0002/^{\circ}\text{C}$  sampai  $0,007/^{\circ}\text{C}$ . Maka untuk suatu kabel persamaannya:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (1.8)$$

## 6. Kapasitansi

Ketika tegangan melewati dua plat yang dipisahkan oleh celah isolator, muatan akan dijumlahkan pada masing-masing plat. Salah satu plat bermuatan positif (+ $q$ ) sedangkan plat yang lain bermuatan negatif (- $q$ ). Jumlah muatan yang diperoleh secara linear sebanding dengan tegangan yang diberikan. Konstanta proporsional adalah kapasitansi,  $C$ . Maka,  $q=CV$  dengan satuan SI coulomb per volt (C/V) atau farad (F), sebagai penghargaan kepada Michael Faraday (1791-1867).

## 7. Induktansi

Induktansi diri, atau sederhananya induktansi, adalah sifat dari rangkaian di mana perubahan arus menyebabkan perubahan tegangan pada rangkaian yang sama. Ketika satu sirkuit menginduksi aliran arus di sirkuit terdekat kedua, itu dikenal sebagai induktansi timbal balik. Ketika arus AC mengalir melalui seutas kabel dalam suatu rangkaian, medan elektromagnetik dihasilkan yang terus tumbuh dan menyusut serta berubah arah karena arus yang terus berubah di kabel. Medan magnet yang berubah ini akan menginduksi arus listrik di kabel atau sirkuit lain yang didekatkan ke kabel di sirkuit utama. Arus di kabel kedua juga akan menjadi AC dan sebenarnya akan terlihat sangat mirip dengan arus yang mengalir di kabel pertama. Trafo listrik menggunakan induktansi untuk mengubah tegangan listrik menjadi level tegangan yang berbeda.

Seperti dapat dilihat pada gambar 5.8 terdapat 8 modul fotovoltaik yang dibagi dalam 4 string. Pada masing masing string 2 buah modul fotovoltaik dihubungkan secara seri. Setelah itu 4 string yang ada dihubungkan secara parallel dan masuk ke dalam sebuah DC Combiner.

Selain konfigurasi pemasangan rangkaian modul fotovoltaik. Pemasangan sistem PLTS juga harus mempertimbangkan konfigurasi pada sistem pemasangan. Secara umum terdapat 2 jenis sistem konfigurasi PLTS yaitu ON Grid, Off Grid, Penjelasan mengenai kedua sistem tersebut sebagai berikut:

### 1. On Grid Sistem

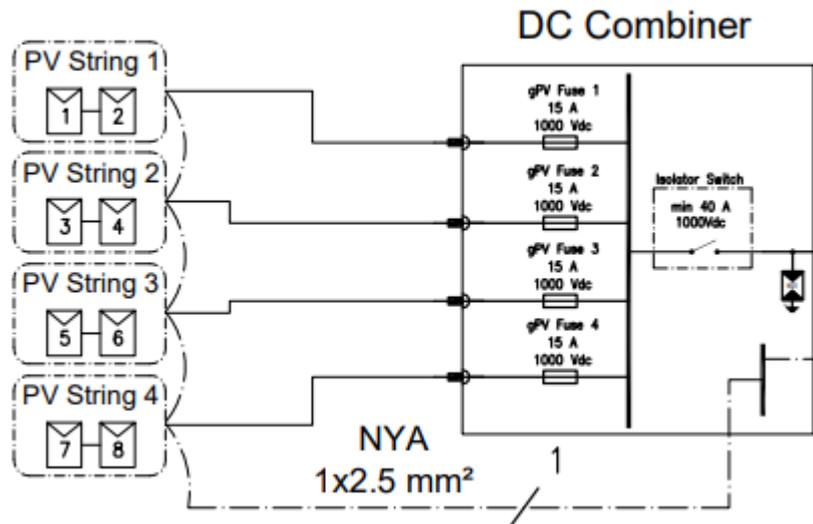
PLTS On Grid dimaknai sebagai sistem PLTS yang terhubung ke jaringan listrik yang tersedia di daerah tersebut. Secara umum PLTS On Grid tidak memerlukan baterai sebagai media penyimpanan karena langsung terhubung ke jaringan. Modul Fotovoltaik yang dipasang pada bagian atas gedung/atap, dan panas matahari yang diterima langsung dikonversikan menjadi arus DC. Dari arus DC tersebut melalui inverter dikonversikan lagi menjadi arus AC dan disinkronisasikan dengan arus listrik dari penyedia jaringan listrik untuk digunakan. Ketika energi yang dihasilkan oleh matahari berlebihan dari pemakaian, maka bisa langsung

menaikkan arus output dari modul fotovoltaik. Sifat rangkaian pada penyambungan paralel diantaranya:

- A. Arus yang dihasilkan sama dengan jumlah arus modul yang terpasang dalam satu rangkaian
- B. Tegangan total rangkaian akan sama dengan tegangan terkecil dari modul fotovoltaik yang terhubung paralel

### 3. Penyambungan Kombinasi

Sistem penyambungan kombinasi merupakan gabungan penyambungan antara seri dan paralel. Tujuannya adalah untuk mendapatkan arus dan tegangan output sesuai dengan yang diinginkan. Penyambungan ini ditujukan pada sistem pembangkitan yang digunakan untuk menghasilkan kapasitas daya yang besar



Gambar 5.8 Modul fotovoltaik

### 8. Konduktor dan isolator

Konduktor adalah bahan yang memiliki elektron bebas dan memungkinkan arus listrik mengalir dengan mudah. Tembaga dianggap sebagai konduktor karena menghantarkan arus elektron atau aliran elektron dengan cukup mudah. Sebagian besar logam dianggap sebagai konduktor arus listrik yang baik. Tembaga hanyalah salah satu bahan yang lebih populer yang digunakan untuk konduktor.

Bahan lain yang terkadang digunakan sebagai konduktor adalah perak, emas, dan aluminium. Tembaga masih merupakan bahan yang paling populer digunakan untuk kabel karena merupakan konduktor arus listrik yang sangat baik dan cukup murah jika dibandingkan dengan emas dan perak. Aluminium dan sebagian besar logam lainnya tidak menghantarkan listrik sebaik tembaga.

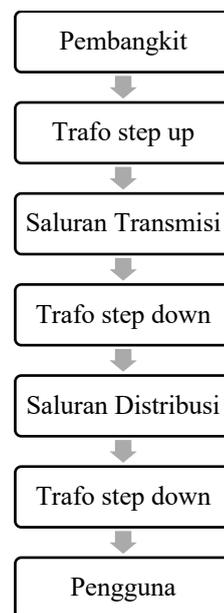
Isolator adalah bahan yang memiliki efek berlawanan pada aliran elektron yang dilakukan oleh konduktor. Mereka tidak membiarkan elektron mengalir dengan sangat mudah dari satu atom ke atom lainnya. Isolator adalah bahan yang atomnya memiliki elektron yang terikat erat. Elektron ini tidak bebas berkeliaran dan digunakan bersama oleh atom tetangga. Isolator digunakan untuk melindungi kita dari efek berbahaya listrik yang mengalir melalui konduktor. Terkadang tegangan dalam rangkaian listrik bisa sangat tinggi dan berbahaya. Beberapa bahan isolator yang umum adalah kaca, plastik, karet, udara, dan kayu.

## 9. Daya listrik

Daya listrik merupakan energi listrik yang dipindahkan per satuan waktu,  $P(t)=I(t)V(t)$ . Berdasarkan Hukum Ohm persamaan tersebut dapat ditulis menjadi  $P(t)=I^2(t)R$ . Satuan SI daya listrik adalah J/s atau watt (W).

## 1.2. Proses Penyaluran Listrik

Fokus utama pembahasan buku ini sebenarnya adalah pada instalasi rumah tinggal. Namun demikian, di bagian awal ini akan dijelaskan proses pembangkitan listrik dan penyaluran energi listrik hingga sampai di rumah tinggal. Proses perjalanan energi listrik mulai dari pembangkitan sampai dapat digunakan di rumah tinggal dapat dilihat pada blok diagram seperti Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Diagram blok perjalanan listrik

## 5.4. Konfigurasi Sistem PLTS

Dalam perencanaan sebuah sistem PLTS menentukan konfigurasi sistem modul fotovoltaik yang akan dipasang menjadi hal yang sangat penting. Konfigurasi pemasangan modul fotovoltaik sangat berpengaruh terhadap output yang akan dihasilkan. Hal ini disebabkan juga dengan tidak menentukannya penyinaran matahari setiap harinya. Dalam kondisi penyinaran yang tidak ideal modul fotovoltaik perlu di desain agar daya yang dihasilkan tetap sesuai dengan spesifikasi desain perencanaannya. Pada penyambungan modul fotovoltaik terdapat tiga konfigurasi sebagai berikut:

### 1. Pengambungan Seri

Sistem penyambungan seri pada modul fotovoltaik dilakukan dengan menyambungkan secara berurutan sehingga menjadi sebuah rangkaian seri. Tujuannya adalah untuk menaikkan tegangan output dari modul fotovoltaik. Sifat rangkaian pada penyambungan seri diantaranya:

- Arus total rangkaian akan sama dengan arus terkecil dari modul fotovoltaik yang terhubung seri
  - Tegangan yang dihasilkan sama dengan jumlah tegangan modul yang terpasang dalam satu rangkaian
- ### 2. Penyambungan Paralel

Sistem penyambungan paralel pada modul fotovoltaik dilakukan dengan menyambungkan secara sejajar sehingga menjadi sebuah rangkaian paralel. Tujuannya adalah untuk

baterai mencapai batasnya sebelum terjadinya penurunan performa.

#### 5. Self Discharge

Self discharge atau pengosongan sendiri merupakan reaksi kimia yang dapat mengurangi muatan baterai yangf disimpan tanpa adanya koneksi antar elektroda

### 5.3.4. Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang nantinya akan digunakan untuk suplay tegangan ke beban. Tegangan dan frekuensi yang keluar dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan.

Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya berbentuk gelombang sinus tetapi nyatanya tidak demikian karena adanya harmonisa atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan dan frekuensi funda mentalnya yang disebabkan oleh penggunaan beban-beban non linier pada sistem tenaga yang menimbulkan distorsi pada bentuk gelombang sinus sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinus. Selain itu input inverter juga perlu diperhatikan karena rentang tegangan input yang tidak sesuai maka akan berakibat pada turunnya efisiensi.

Pembangkit listrik merupakan sekumpulan peralatan dan mesin yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik melalui proses transformasi energi dari berbagai sumber energi. Sebagian besar jenis pembangkit listrik menghasilkan tegangan listrik arus bolak-balik 3-fasa. Pembangkitan listrik Sebagian besar menggunakan generator sinkron yang didukung oleh penggerak mula yang memperoleh energi dari bahan bakar atau sumber daya alam. Jenis pembangkit listrik umumnya dinamakan sesuai dengan tipe penggerak yang digunakan, antara lain air (PLTA), diesel (PLTD), uap (PLTU), gas (PLTG), gas dan uap (PLTGU), panas bumi (PLTP), dan nuklir (PLTN). Pada umumnya pembangkit listrik dapat menghasilkan listrik sekitar 11 kV – 24 kV.

Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit yang berasal dari sumber yang berbeda-beda. Energi listrik secara umum didapatkan dari sumber yang dikelompokkan menjadi sumber energi terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Sumber energi terbarukan (*renewable energy*) merupakan energi yang diperoleh dari aliran energi alami dan persisten/ terus menerus yang terjadi di lingkungan terdekat. Beberapa contoh sumber energi terbarukan antara lain: energi matahari, angin, air, ombak, tidal, geothermal, dan sebagainya.

Sumber energi tidak terbarukan (*non-renewable energy*) merupakan energi yang bersumber dari bahan yang tidak dapat diperbarui. Beberapa contoh sumber energi tidak terbarukan antara lain: bahan bakar fosil, batu bara, minyak bumi, gas alam, nuklir, dan sebagainya.

Listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit dikirim menuju pengguna yang jaraknya sangat jauh. Oleh karena itu, level tegangan yang dihasilkan harus dinaikkan dengan menggunakan trafo step up menuju level di atas 115 kV untuk mengurangi rugi-rugi akibat jarak tempuh yang jauh. Sebagian besar penyaluran listrik pada saluran transmisi menggunakan penyaluran listrik bolak balik tiga fase, meskipun terdapat tipe saluran transmisi arus searah satu fase. Teknologi arus searah satu fase dinilai lebih efektif digunakan pada jarak transmisi yang sangat jauh. Selain itu, pada umumnya saluran transmisi menggunakan saluran udara dibandingkan saluran bawah tanah karena investasinya lebih rendah. Saluran transmisi bawah tanah digunakan pada daerah padat penduduk dan pada lingkungan yang khusus.

Saluran transmisi di Indonesia mencakup beberapa level tegangan pada rentang kurang lebih 30 kV sampai 500 kV. Secara umum kapasitas tegangan listrik dapat dibedakan menjadi:

1. Tegangan Sangat Rendah, tegangan berkisar sampai 50 V,
2. Tegangan Rendah (*Low Voltage* = LV), tegangan rendah berkisar antara 50 V – 1 kV,
3. Tegangan Menengah (*Medium Voltage* = MV), tegangan menengah/MV berkisar 1 kV – 36 kV,
4. Tegangan Tinggi (*High Voltage* = HV), Tegangan Tinggi (*High Voltage*) berkisar 36 kV – 150 kV,
5. Tegangan Ekstra Tinggi (*High Extra Voltage* = HEV), tegangan berkisar antara diatas 150 kV – 750 kV,

temperature pada baterai. Naiknya temperature baterai akan mempengaruhi proses kimia pada baterai akibatnya akan berbuhungan dengan usia baterai dan efektifitas kerja baterai.

## 2. State Of Charge (SOC)

Pada perencanaan PLTS perlu mempertimbangan SOC sebuah baterai. SOC merupakan ukuran muatan listrik dalam baterai yang dinyatakan dalam persen (%). Pada suatu baterai dengan kapasitas 100 Ah dengan SOC 80% artinya baterai tersebut hanya memiliki kapasitas 80 Ah. Nilai tersebutlah yang perlu dipertimbangan pada perencanaan agar penyimpanan baterai dapat memenuhi energi listrik sesuai dengan perencanaan waktunya.

## 3. Depth of Dischare (DOD)

DOD merupaka kebalika dari nilai SOC. DOD merupakan ukuran kedalaman muatan listrik yang dilepaskan baterai. Jika nilai SOC 100 % atau berarti baterai dalam kondisi penuh maka nilai DOD baterai tersebut 0% begitu berlaku sebaliknya

## 4. Lifecycle

Lifecycle merupakan siklus pengisian dan pelepasan energi dari awal penggunaan. Satu siklus dihitung berdasar pengisian penuh mulai dari 0% sampai 100%. Tingginya siklus baterai akan semakin cepat

Baterai VRLA merupakan jenis baterai timbal (lead acid). Baterai ini dilengkapi dengan katup (valve) yang terbuka pada saat tekanan gas hasil elektrolisis air melebihi suatu nilai tekanan tertentu. Keunggulan dari jenis baterai ini tidak memerlukan perawatan rutin dan dapat beroperasi dalam ruangan dengan ventilasi yang minim.

## 2. Baterai Lithium Ion

Baterai lithium ion merupakan baterai yang banyak ditemui dan digunakan. Penggunaan baterai ini biasanya pada peralatan handphone, laptop dan lain sebagainya. Baterai ini memanfaatkan senyawa Lithium sebagai elektrodanya. Baterai ini dikenal dengan nama baterai Li-Ion. Keunggulannya adalah memiliki waktu charging yang cepat dan kepadatan energi yang tinggi, selain itu umumnya baterai ini ringan sehingga mudah dalam mobilisasinya.

Selain pada jenis baterai tersebut pada penggunaannya diperlukan juga untuk mengetahui bagaimana faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengoperasian baterai, karakteristik baterai sangat dipengaruhi beberapa faktor berikut :

### 1. Temperatur

Penggunaan baterai dalam jangka waktu tertentu akan berpengaruh pada temperatur yang ada pada baterai itu sendiri. Biasanya akan terjadi kenaikan

6. Tegangan Ultra Tinggi (*High Ultra Voltage* =HUV), Tegangan Ultra Tinggi (*High Ultra Voltage*) berkisar di atas 750 kV.

Tegangan dari saluran transmisi yang tinggi diturunkan menggunakan trafo step down untuk didistribusikan oleh saluran distribusi ke pengguna. Terdapat beberapa pengguna yang disuplai oleh saluran distribusi, antara lain industri, sekolah, fasilitas sosial, rumah tangga, dan sebagainya. Level tegangan yang diatur pada sistem distribusi adalah penurunan dari level tegangan 150 kV ke 20 kV. Pada level pengguna rumah tangga, level tegangan 20 kV tersebut diturunkan kembali ke level 220 V menggunakan trafo step down sehingga dapat digunakan oleh pengguna rumah tangga.

## 1.3. Profil Pengguna Rumah Tinggal

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan proses perjalanan listrik sampai ke pengguna, khususnya rumah tangga/ rumah tinggal. Arus yang mengalir dalam rangkaian kelistrikan pengguna rumah tinggal merupakan arus AC/ bolak balik. Tegangan jala-jala/ *rating* tegangan yang digunakan oleh pengguna rumah tinggal di Indonesia saat ini adalah 220 V dengan frekuensi sebesar 50 Hz.

Level/*rating* daya di Indonesia terbagi menjadi beberapa kelompok. Sesuai aturan PLN rating daya tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1. Pada kelompok pengguna rumah tinggal, level tegangan ditentukan oleh besarnya *miniature circuit breaker* (MCB) yang terpasang pada alat ukur energi (meteran) sesuai persamaan (1.1).

$$P = VI \quad (1.1)$$

Dengan  $P$  adalah daya yang terpasang,  $V$  adalah tegangan jala-jala (220 V), dan  $I$  adalah arus maksimal yang terpasang di bangunan.

Tabel 1.1 Level daya di Indonesia

| No | Golongan | Batas Daya           |
|----|----------|----------------------|
| 1  | R-1/TR   | 900 VA               |
| 2  | R-1/TR   | 1300 VA              |
| 3  | R-1/TR   | 2200 VA              |
| 4  | R-2/TR   | 3500 VA              |
| 5  | R-2/TR   | 4400 VA              |
| 6  | R-2/TR   | 5500 VA              |
| 7  | R-3/TR   | 6600 VA ke atas      |
| 8  | B-2/TR   | 6600 VA s.d. 200 kVA |
| 9  | B-3/TM   | di atas 200 kVA      |
| 10 | I-3/TM   | di atas 200 kVA      |
| 11 | I-4/TT   | 30.000 kVA ke atas   |
| 12 | P-1/TR   | 6600 s.d. 200 kVA    |
| 13 | P-2/TM   | di atas 200 kVA      |

Berdasarkan Tabel 1.1, terdapat beberapa golongan yang disuplai oleh perusahaan kelistrikan di Indonesia khususnya Perusahaan Listrik Negara (PLN), antara lain konsumen rumah tangga (R), konsumen bisnis (B), golongan industri (I), dan pemerintah (P). Setiap golongan juga dibedakan ke dalam pengguna tegangan rendah (TR), menengah (TM), dan tinggi (TT). Golongan ini berkorelasi dengan tarif yang dikenakan pada setiap golongan. Tarif yang ditentukan oleh PLN disesuaikan dengan golongan yang ada pada Tabel 1.1.

daya yang dihasilkan oleh panel surya sekecil apapun dengan kata lain SCC jenis MPPT lebih efisien dibandingkan jenis PWM.

### 5.3.3. Penyimpanan Energi

Pada proses pembangkitan energi listrik yang berasal dari energi terbarukan tidak semuanya dimanfaatkan secara langsung. Energi listrik akan digunakan sesuai dengan kebutuhannya, seperti pada saat malam hari, terjadi gangguan ataupun kondisi lain. Terdapat berbagai macam pilihan cara dalam melakukan penyimpanan energi tersebut. Pada sistem PLTS penyimpanan energi umumnya menggunakan sistem baterai atau battery Energy Storage System (BESS).

Pada prinsipnya baterai memiliki polaritas positif (anoda) dan negative (katoda) dan elektrolit sebagai penghantar. Keluaran yang dihasilkan oleh baterai adalah DC dengan berbagai rating tegangan seperti 12 VDC, 24 VDC, dan 48 VDC. Jenis baterai yang digunakan dalam sistem PLTS merupakan baterai sekunder, karena baterai pada PLTS harus memiliki kemampuan untuk diisi ulang atau re-chargeable.

Pemilihan jenis baterai yang digunakan pada PLTS sangat penting. Hal yang diperhatikan dalam pemilihan jenis baterai yang digunakan dalam sistem PLTS adalah material penyusun dan teknologi yang digunakan pada baterai. Berikut beberapa jenis baterai yang umumnya digunakan pada sistem PLTS:

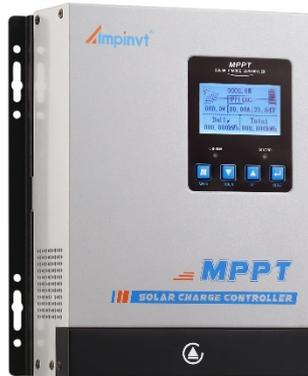
1. Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid)



Gambar 5.6 SCC Pulse Wide Modulation

## 2. Maximum Power Poin Tracker (MPPT)

Solar Charge Controller tipe ini mampi memaksimalkan pengisian kapasitas baterai lebih besar, hal ini dikarenakan MPPT mempunyai kemampuan dalam mendeteksi sekecil apapun daya yang dihasilkan panel surya.



Gambar 5.7 Maximum Power Poin Tracker

Kedua jenis SCC tersebut yang lebih sering digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah jenis MPPT. Hal tersebut berdasar pada kualitas pengisian beban jenis MPPT memiliki keunggulan dari jenis PWM yaitu mampu mendeteksi

Sebagai contoh sederhana, pemilik bangunan yang mendaftarkan level daya 1300 VA akan dapat mengalirkan arus maksimal sebesar 6 A. Oleh karena itu, MCB yang terpasang pada bangunan adalah 6 A. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah pada satuan daya yang digunakan, yaitu VA (volt-ampere). Pada umumnya peralatan elektronik yang ada di pasaran memiliki spesifikasi daya yang menunjukkan nilai daya dalam satuan watt (W). Namun demikian, satuan daya yang terpasang di rumah tinggal adalah VA. Hal ini berhubungan dengan segitiga daya yang akan dibahas pada pembahasan mendatang.

Selain daya, arus yang mengalir pada bangunan dihantarkan oleh kabel/ penghantar. Kabel memiliki bahan yang berbeda-beda dan memiliki ketahanan yang berbeda-beda dalam mengalirkan arus. Bahan dan ukuran kabel akan berhubungan dengan kemampuan hantar arus (KHA) kabel. Hal ini juga akan dibahas lebih detail pada bagian selanjutnya.

## KESIMPULAN

1. Muatan listrik merupakan sifat kelistrikan suatu partikel atom tertentu, satuannya adalah coloumbs (C). Muatan listrik dapat diartikan sebagai muatan dasar yang dimiliki suatu benda, yang membuatnya mengalami gaya pada benda lain yang berdekatan dan juga memiliki muatan listrik.
2. Muatan dapat berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain, dimana muatan dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain.

3. Arus listrik dapat diartikan sebagai perubahan muatan setiap satuan waktu, yang diukur dalam ampere (A).
4. Beda potensial adalah usaha untuk menggerakkan elektron dalam sebuah konduktor pada arah tertentu memerlukan.
5. Transmisi tenaga listrik sampai di pelanggan melibatkan beberapa bagian, antara lain: pembangkitan, gardu induk, saluran transmisi, dan saluran distribusi.
6. Terdapat beberapa golongan yang disuplai oleh perusahaan kelistrikan di Indonesia khususnya Perusahaan Listrik Negara (PLN), antara lain konsumen rumah tangga (R), konsumen bisnis (B), golongan industri (I), dan pemerintah (P). Setiap golongan juga dibedakan ke dalam pengguna tegangan rendah (TR), menengah (TM), dan tinggi (TT).

## LATIHAN SOAL

1. Jelaskan pengertian dari istilah berikut!
  - a. Arus listrik.
  - b. Tegangan.
  - c. Daya listrik.
  - d. Gaya listrik.
  - e. Medan listrik.
  - f. Resistansi, induktansi dan kapasitansi.
2. Jelaskan proses perjalanan listrik dari pembangkit sampai ke konsumen!

### 5.3.2. Solar Charge Controller (SCC)

SCC merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk mengatur arus DC atau arus Searah yang akan masuk ke baterai juga mengatur tegangan yang masuk menuju baterai agar tegangan pada baterai tetap stabil dengan tujuan tidak terjadi over charging atau over voltage sehingga pengisian menjadi optimal. Hal tersebut mengingat energi yang dihasilkan oleh panel surya tidak stabil atau naik turun bergantung pada sinar matahari yang diterima panel surya.

Solar Charge Controller dikategorikan baik apabila mampu mendeteksi kapasitas baterai, dimana saat kapasitas baterai terisi penuh maka otomatis pengisian baterai dari panel surya akan diputus (cut-off-voltage). SCC akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, ketika level tegangan jatuh maka baterai akan diisi kembali. SCC sendiri terbagi menjadi 2 jenis seperti berikut:

1. Pulse Wide Modulation (PWM)

Solar Charge Controller tipe ini menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrikal sesuai dengan namanya, sehingga akan tercipta seakan akan sine wave electrical form. PWM mampu melakukan penyesuaian dengan tegangan kerja baterai sehingga jika tegangan kerja dari panel surya dibawah tegangan kerja baterai maka secara otomatis energi dari panel tidak akan mengisi ke baterai.

pemasangan terkait ketinggian pemasangan dan jarak antar larik modul fotovoltaik.

4. Material/ bahan dasar pembuatan modul fotovoltaik akan berpengaruh pada arus dan tegangan output

Berdasarkan SNI 04-3850.1-1995 modul fotovoltaik dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe keandalan dan umur serta besarnya tegangan terbagi menjadi dua kelas seperti berikut:

1. Modul Tipe I

Modul fotovoltaik tipe I tidak memiliki syarat keandalan yang tinggi maupun umur yang panjang. Modul tipe ini harus mampu bertahan dan tidak rusak dengan jangka pemasangan 5 tahun dengan kondisi terbuka dan berbagai keadaan cuaca.

2. Modul Tipe II

Modul fotovoltaik tipe II memiliki syarat keandalan yang tinggi maupun umur yang panjang. Modul tipe ini harus mampu bertahan dan tidak rusak dengan jangka pemasangan 15 tahun dengan kondisi terbuka dan berbagai keadaan cuaca.

3. Modul Kelas A

Modul fotovoltaik kelas A dirancang untuk digunakan pada sistem dengan batas maksimal tegangan 50 Volt

4. Modul Kelas B

Modul fotovoltaik kelas B dirancang untuk digunakan pada sistem dengan tegangan antara 50 Volt – 1000 Volt

3. Sebut dan jelaskan pembagian kapasitas tegangan listrik secara umum!
4. Sebut dan jelaskan pembagian kelompok konsumen yang menggunakan daya listrik khususnya di Indonesia!
5. Identifikasi daya listrik yang terpasang di tempat tinggal Anda! Sebutkan level daya listrik yang terpasang beserta satuannya dan hitung besar arus maksimal yang dapat mengalir pada tempat tinggal Anda!

# BAB 2

## ATURAN DALAM INSTALASI LISTRIK

### Capaian Pembelajaran:

Bab ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami aturan yang digunakan dalam instalasi listrik serta memahami pentingnya Keselamatan Ketenagalistrikan (K2) dan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Materi pada bab ini mencakup Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), maksud, tujuan dan ruang lingkup PUIL khususnya dalam instalasi rumah tangga serta syarat instalasi listrik yang sesuai dengan PUIL. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami aturan yang berlaku pada instalasi listrik serta memahami fungsi K2 dan K3 pada instalasi listrik.

komponen yang baik pula. Pemilihan komponen yang tepat akan meningkatkan performa kerja PLTS.

### 5.3.1. Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik merupakan komponen pokok dalam proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik adalah listrik DC. Pada prinsipnya panel surya merupakan gabungan beberapa sel fotovoltaik yang saling dihubungkan agar menghasilkan arus yang sesuai dengan spesifikasinya. Penyambungan sel fotovoltaik tersebut dihubungkan secara seri untuk menaikkan tegangan output, dihubungkan secara parallel untuk menaikkan arus output dan juga kombinasi seri parallel.

Kapasitas sebuah modul fotovoltaik dinyatakan dalam satuan Watt Peak (Wp), dimana merupakan daya puncak nominal atau daya maksimal panel surya yang diukur pada saat operasi standar. Produksi energi listrik pada sebuah modul fotovoltaik dipengaruhi oleh beberapa kondisi diantaranya:

1. Radiasi sinar matahari yang diterima permukaan modul fotovoltaik. Radiasi ini dipengaruhi oleh lokasi pemasangan, sudut kemiringan pemasangan serta jika terpasang sistem pelacak sinar surya.
2. Variasi spektrum sinar matahari akan berbeda pada jenis maupun teknologi yang ada pada modul fotovoltaik
3. Suhu yang terdapat pada permukaan juga suhu lingkungan sekitarnya, keadaan lingkungan seperti jenis tanah dan factor yang mempengaruhi pantulan serta hamburan sinar dan teknis

lebih baik dalam tingkat efisiensi dan proses pembuatannya yang mudah. Sehingga modul fotovoltaik generasi ketiga ini nantinya memiliki kualitas yang lebih baik dari generasi pertama dan dengan ogkos produksi yang lebih murah dari generasi kedua. Selain memiliki keunggulan dari dua generasi sebelumnya, generasi ketiga ini juga menawarkan teknologi modul fotovoltaik yang lebih tipis karena termasuk kategori thin film.

Modul fotovoltaik generasi ketiga ini memiliki tiga jenis yang sampai saat ini banyak dikembangkan yaitu perovskite, DSCC, dan OPV. Perovskite memiliki fungsi sebagai elektrolit untuk menyerap cahaya matahari, kemudian akan mengeksitasi muatan positif (hole) dan muatan negatif (electron). Elektron akan menuju Elekton Transport Material dan bertindak sebagai semikonduktor n-type, efisiensi jenis perovskite ini mencapai 20,2%. Organic solar cell terbuat dari bahan semikonduktor organik seperti polyphenylene vinylene dan fullerene. Dye-sensitized solar cell dibuat dengan melapisi zat warna yang dimaksudkan agar meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari.

### 5.3. Komponen Sistem PLTS

Identifikasi pada perancangan pembuatan PLTS dilakukan dengan menghitung kebutuhan energi yang diperlukan sehingga bisa di suplai oleh sistem PLTS, identifikasi dilakukan pada sisi beban maupun pada kemampuan pembangkit dalam menghasilkan energi listrik. Agar PLTS dapat memiliki performa yang baik dalam menghasilkan energi listrik maka harus didukung komponen-

## 2.1. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)

Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) adalah dokumen SNI yang digunakan sebagai standar acuan dalam pemasangan instalasi tenaga listrik tegangan rendah untuk rumah tanga, gedung perkantran, Gedung publik dan bangunan lainnya. PUIL sebagai Standar Nasional Indonesia (SNI) diberlakukan melalui peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia melalui PERMEN ESDM NO. 36 Tahun 2014, sehingga berlaku menjadi peraturan yang harus dipatuhi oleh semua pihak yang berkaitan dengan masalah kelistrikan di Indonesia.

PUIL digunakan pertama kali sebagai pedoman instansi yang berkaitan dengan instalasi listrik adalah Algeme Voolshriften voor Elekhische sterkstroom instalaties (AVE), yang diterbitkan oleh Dewan Normalisasi Pemerintah Belanda. AVE mulai diterjemahkan pada tahun 1964 yang kemudian dikenal sebagai Peraturan Umum Istalasi Listrik (PUIL 1964). PUIL 1964 yang merupakan penerbitan pertama kemudian disempurnakan pada penerbitan kedua (PUIL 1977) dan pada penerbitan ketiga (PUIL 1987).

Penggunaan istilah “Peraturan” pada PUIL 1964, 1977, dan 1987 diubah menjadi “Persyaratan” pada PUIL 2000 dengan maksud isi dari PUIL memuat kewajiban untuk mematuhi ketentuan dan sanksinya, selain itu juga memuat rekomendasi atau persyaratan teknis yang dapat dijadikan pedoman dalam pelaksanaan pekerjaan. PUIL 2000 direvisi kembali menjadi PUIL 2011, yang memuat ketentuan pemasangan instalasi listrik serta pemilihan peralatan dan perlengkapan instalasi listrik tegangan rendah. Pada PUIL 2011 terdapat juga standarisasi dan ketentuan penggunaan peralatan dan

perlengkapan instalasi listrik dengan teknologi yang lebih maju dengan tujuan meningkatkan keamanan instalasi.

## 2.2. Maksud dan Tujuan PUIL

Maksud dan Tujuan PUIL 2011 antara lain:

1. Pengusahaan instalasi listrik agar dapat terselenggara dengan baik. Instalasi listrik pada sisi pembangkit, distribusi sampai dengan instalasi pemakaian dapat terlaksana dengan baik.
2. Menjamin keselamatan dan perlindungan bagi manusia, hewan dan lingkungan dari bahaya listrik (kejut listrik).
3. Keamanan instalasi listrik dan perlengkapannya
4. Keamanan gedung atau bangunan beserta isinya dari bahaya listrik

## 2.3. Ruang Lingkup PUIL

Persyaratan Umum Instalasi Listrik ini berlaku untuk semua pengusahaan instalasi listrik. Kegiatan yang berkaitan dengan instalasi listrik baik pengerjaan, prancangan, pemasangan, pemeriksaan dan pengujian, pelayanan, pemeliharaan maupun pengawasan wajib mematuhi ketentuan yang berlaku pada PUIL. Penerapan PUIL bertujuan agar pemanfaatan energi listrik bias dilakukan secara aman dan efisien.

Level tegangan yang menjadi ruang lingkup PUIL berada pada tegangan rendah arus bolak-balik sampai dengan 1.000 V. Pada tegangan menengah sampai 35.000 V baik dalam bangunan dan sekitarnya, juga berlaku pada tegangan arus searah 1.500 V. PUIL tidak berlaku pada beberapa sistem instalasi listrik diantaranya:



Gambar 5.5 Amorphorus solar cell

Kelebihan dari modul fotovoltaik generasi kedua ini terletak pada proses pembuatan yang lebih sederhana dan biaya produksinya yang lebih murah. Namun modul fotovoltaik ini memiliki kekurangan yang sangat mendasar seperti tingkat efisiensinya yang rendah, karena hanya berkisar 6-8%, bahan pembuat yang beracun dan langka. Sehingga modul fotovoltaik dengan tipe ini tidak cocok digunakan sebagai pembangkit listrik. Akan tetapi lebih cocok diterapkan pada penggunaan yang tidak memerlukan energi yang besar dan murah seperti kalkulator dan jam tangan.

### c. Generasi Ketiga

Generasi ketiga ini merupakan generasi terakhir modul fotovoltaik, tetapi sampai saat ini statusnya masih uji coba. Para peneliti mengembangkan modul fotovoltaik generasi ketiga ini dengan harapan dapat mengkombinasikan kinerja modul fotovoltaik yang



Gambar 5.4 Modul fotovoltaik tipe polycrystalline

Generasi Kedua modul fotovoltaik ini memiliki ketebalan yang jauh lebih tipis dari generasi pertama dengan ukuran hanya beberapa mikron saja. Modul fotovoltaik lapisan tipis ini terbuat dari material a-Si (silicon amorphous), CdTe (cadmium telluride), dan CIGS (Copper Indium Gallium Selenide). Silicon amorphous merupakan silikon yang lebih sederhana dari silikon kristal, CdTe dan CIGS merupakan bahan alternatif semikonduktor yang dapat mengkonversi energi foton sinar matahari. Modul fotovoltaik generasi kedua ini hanya memiliki pangsa pasar 9%.

1. Instalasi tegangan rendah yang menyalurkan berita atau isyarat,
2. Instalasi dengan tujuan pada sistem telekomunikasi dan kereta rel listrik dan kendaraan lainnya yang digerakan secara mekanis,
3. Instalasi pada pertambangan bawah tanah,
4. Instalasi tegangan rendah di bawah 25 V dan daya maksimal 100 W.

Pada PUIL 2000 ayat 202 B1 juga mengatur bahwa semua instalasi terpasang yang sudah selesai pengerjaannya sebelum digunakan harus diuji terlebih dahulu dengan standar pembagian tegangan menurut ayat 110 T16 dibagi menjadi:

1. Tegangan Rendah (dibawah 1000 V),
2. Tegangan Menengah (1000 V – 20 kV),
3. Tegangan Tinggi (diatas 20 kV).

## 2.4. PUIL 2011 Instalasi Rumah Tangga

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hal-hal yang diatur dalam PUIL 2011 yang lebih spesifik pada instalasi rumah tangga. Beberapa hal yang dibahas antara lain:

1. Persyaratan umum

Persyaratan secara umum dimaksudkan untuk memastikan keselamatan manusia dan ternak serta keamanan harta benda dari bahaya dan kerusakan yang dapat timbul oleh penggunaan instalasi listrik secara wajar. Persyaratan untuk memastikan keselamatan ternak dapat diterapkan pada lokasi yang dimaksudkan untuk kandang ternak. Persyaratan ini sesuai yang dinyatakan pada PUIL 2011 dalam 131.2 -131.17.

Bahaya yang dapat ditimbulkan akibat ketidaksesuaian instalasi listrik dapat berupa arus kejut listrik (tersengat aliran listrik), suhu berlebih hingga busur api dan percikan api yang dapat menyebabkan kebakaran, tegangan yang tidak stabil baik melebihi ataupun kurang yang dapat menyebabkan pengaruh elektromagnetik dan kerusakan peralatan.

Sebagai upaya dalam menjamin keselamatan pada suatu instalasi maka wajib memiliki proteksi. PUIL mengatur proteksi yang harus ada beberapa di antaranya:

a. Proteksi dasar (131.2.1 (2.1.2.1))

Pada instalasi rumah tangga proteksi dasar yang diperlukan secara umum berkaitan dengan proteksi terhadap sentuh langsung. Proteksi terhadap sentuh langsung harus ditujukan untuk mencegah mengalirnya arus ke badan manusia atau ternak dan membatasi apabila ada arus yang mengalir nilainya tidak berbahaya bagi manusia atau ternak.

b. Proteksi gangguan

Proteksi gangguan pada instalasi listrik rumah tangga biasanya berkaitan dengan sentuh tak langsung, yang umumnya terkait dengan kegagalan insulasi dasar. Akibat dari kegagalan insulasi dasar komponen instalasi listrik yang tersentuh oleh manusia atau ternak dapat mengalirkan arus ke badan. Sehingga proteksi harus mencegah aliran arus yang besar atau aliran arus dengan durasi yang lama ke badan.

c. Proteksi terhadap efek termal

kurang berfungsi dengan baik saat cuaca berawan yang mengakibatkan efisiensinya dapat berkurang drastis.



Gambar 5.3 Modul fotovoltaik tipe monocrystalline

Modul fotovoltaik dengan tipe Polycrystalline dapat dilihat dari wujud fisiknya yang berwarna kebiruan dengan bercak-bercak biru muda dan biru tua. Efisiensi dari modul fotovoltaik tipe ini lebih rendah jika dibandingkan dengan modul fotovoltaik tipe monocrystalline. Namun modul fotovoltaik tipe ini dapat menghasilkan energi listrik walaupun dalam cuaca yang berawan. Modul fotovoltaik tipe ini juga memiliki kelebihan dari segi harga yang lebih murah. Jenis modul fotovoltaik inilah yang saat ini banyak digunakan di pasaran sebagai pembangkit listrik tenaga surya terutama dengan skala yang kecil.

#### 5.2.4. Jenis Modul Fotovoltaik

Hingga saat ini terdapat banyak jenis modul fotovoltaik yang berhasil dikembangkan. Mengetahui jenis modul fotovoltaik ini saat penting pada saat perencanaan sistem sehingga dapat menyesuaikan dengan kondisi geografis, kebutuhan teknologi dan karakteristik PLTS secara elektrifikasi. Secara umum jenis modul fotovoltaik tersebut terbagi menjadi tiga jenis yaitu modul fotovoltaik generasi pertama, modul fotovoltaik generasi kedua dan modul fotovoltaik generasi ketiga, berikut ini penjelasan ketiga jenis modul fotovoltaik tersebut.

##### a. Generasi Pertama

Merupakan modul fotovoltaik yang paling awal di produksi dan sampai sekarang. Generasi pertama ini produksi dan pemasangannya masih mendominasi dengan pangsa pasar 90%. Bahan pembuat modul fotovoltaik generasi pertama terdiri dari material silikon yang diproses menjadi kristal dengan tingkat kemurnian yang tinggi yang kemudian disebut dengan *crystalline silicon*. *Crystalline silicon* ini terbagi menjadi dua jenis yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*

Modul fotovoltaik dengan tipe *monocrystalline* dapat dilihat dari wujud fisiknya dengan warna kebiruan polos dan tanpa corak. Tipe ini memiliki nilai efisiensi yang tinggi berkisar antara 16-17 % bahkan terdapat modul fotovoltaik tipe ini yang memiliki efisiensi 20%. Berdasar wujud fisik tipe ini memiliki dimensi ukuran yang lebih kecil. Tetapi dari semua kelebihan tersebut modul fotovoltaik tipe ini memiliki kekurangan yaitu lebih mahal, mengingat proses pembuatannya yang rumit. Selain itu modul fotovoltaik tipe ini juga

Proteksi terhadap efek termal pada instalasi wajib terpenuhi untuk meminimalkan resiko pada bahan yang mudah terbakar karena suhu ataupun busur api, selain itu menghindari resiko luka bakar pada manusia atau ternak pada saat instalasi listrik beroperasi.

##### d. Proteksi terhadap arus lebih

Proteksi terhadap arus lebih yang mengalir pada instalasi wajib dilakukan dengan membatasi nilai arus yang mengalir pada instalasi sesuai dengan perencanaan instalasi dan pemilihan komponen instalasi.

Untuk mencapai segala persyaratan dasar tersebut maka sesuai PUIL dalam 131.8.2.1 MOD (2.2.2.1) mensyaratkan bahwa instalasi yang baru dipasang atau mengalami perubahan harus diperiksa dan diuji dulu sesuai dengan ketentuan mengenai:

- a. Resistansi insulasi (61.3.3),
- b. Pengujian sistem proteksi dengan diskoneksi otomatis suplai (61.3.6),
- c. Pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik (Bagian 6 dan 9.5.6).

Selanjutnya instalasi listrik yang sudah memenuhi semua ketentuan tersebut dalam 131.8.2.1 dapat dioperasikan setelah mendapat izin atau pengesahan dari instansi/lembaga yang berwenang yang menyatakan laik operasi dengan syarat tidak boleh dibebani melebihi kemampuannya.

##### 2. Pemilihan komponen

Pemilihan Komponen instalasi listrik harus memperhitungkan beberapa faktor dimulai dari desain instalasi listrik yang harus proteksi bagi manusia, ternak dan harta benda dan instalasi listrik dapat berfungsi sesuai dengan maksud penggunaannya. Pemilihan komponen instalasi juga harus mempertimbangkan karakteristik suplai daya. Dalam membuat pemilihan komponen instalasi kesesuaian terhadap aturan PUIL sangat diperlukan, karena akan mempengaruhi fungsi kerja instalasi dan keselamatan instalasi.

Pada kondisi pemilihan komponen instalasi yang tidak sesuai dengan sifat dan lokasinya sesuai aturan PUIL, komponen instalasi masih dapat digunakan dengan cara menambahkan proteksi tambahan yang menjadi bagian pada instalasi. Dengan kondisi tersebut maka semua perlengkapan instalasi tetap mampu dengan aman menahan stress dan karakteristik kondisi lingkungan dan lokasinya (132.5). Memilih komponen instalasi baik pada kondisi yang sesuai maupun yang tidak tetap diperlukan beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya:

- a. Kesesuaian maksud pemasangan dan penggunaannya,
- b. Kekuatan dan keawetan termasuk dampaknya terhadap komponen lain,
- c. Resistansi insulasi,
- d. Pengaruh suhu, kelembaban, api.

Semua perlengkapan dan komponen instalasi harus dipilih dengan mempertimbangkan aspek aspek diatas sehingga instalasi listrik dapat

Saat modul fotovoltaik menerima sinar matahari, kutub positif dan negatif modul fotovoltaik diukur dengan menggunakan voltmeter yang digunakan untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan. Saat pengukuran dilakukan tidak terhubung dengan beban sehingga arus tidak mengalir, pengukuran inilah yang dinamakan sebagai pengukuran open circuit voltage ( $V_{oc}$ ). Mengalirnya arus dari modul fotovoltaik ke beban hal itu disebabkan karena penerapan beban atau pengisian baterai yang terhubung di antara kedua terminal. Jika hal ini terjadi, maka tegangan modul fotovoltaik lebih kecil dari pada tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ).

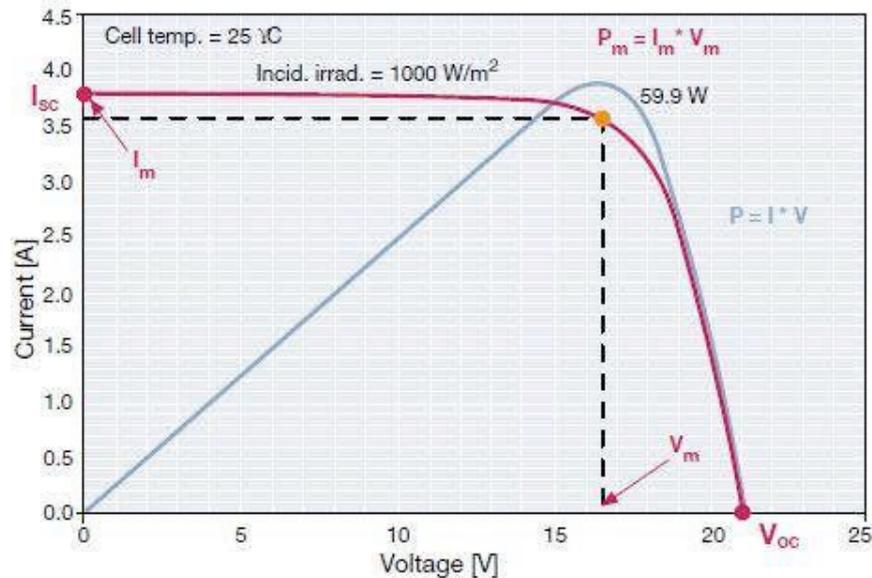
Arus akan bertambah besar dan tegangan akan bertambah kecil jika dengan menambahkan beban yang terhubung secara paralel. Pada kedua terminal modul fotovoltaik dapat dihubungkan secara langsung, maka tegangan akan menjadi 0 (nol/zero), hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan arus yang besar pada modul fotovoltaik. Dan dapat diketahui arus maksimum dari modul fotovoltaik tersebut, dengan cara diukur menggunakan amperemeter maka hal ini disebut short circuit current atau  $I_{sc}$ .

Daya maksimum (peak power) merupakan salah satu dari spesifikasi yang terdapat pada modul fotovoltaik (diberikat/diatur oleh pabrik pembuatnya). Untuk menciptakan daya listrik maka harus ada arus dan tegangan dan jika untuk menghasilkan peak power dari modul fotovoltaik maka tegangan dan arusnya harus maksimum dan dapat dilihat pada gambar

Tingkat efisiensi sebuah modul fotovoltaik sangat bergantung pada nilai Peak Sun Hour (PSH). PSH sangat subyektif yang dipengaruhi pada karakteristik lingkungan dan termasuk lamanya sinar matahari dalam menyinari modul fotovoltaik dan indeks kecerahan pada tempat tersebut.

### 5.2.3. Performansi Modul Fotovoltaik

Daya puncak (peak power) yang dapat dicapai sehingga dapat ditentukan besarnya arus hubung singkat (short circuit current) dan tegangan rangkaian terbuka (open circuit voltage) hal tersebut merupakan karakteristik modul fotovoltaik secara umum, karakteristik tersebut dapat dijelaskan melalui kurva arus terhadap tegangan (I-V Curve) dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Kurva karakteristik listrik pada modul fotovoltaik

beroperasi dengan tepat sesuai desain dan tidak menyebabkan efek berbahaya terhadap perlengkapan dan instalasi secara keseluruhan.

## 2.5. Keselamatan Kerja

Setiap melakukan pekerjaan dalam bidang ketenagalistrikan terdapat 2 hal ketentuan yang wajib diperhatikan yaitu K2 dan K3. K2 merupakan akronim dari Keselamatan Ketenagalistrikan, K2 diatur untuk melindungi tenaga kerja, masyarakat atau pengguna instalasi maupun lingkungan instalasi. K2 diatur melalui undang-undang tenaga kerja no. 30 tahun 2009. K2 didefinisikan sebagai segala upaya atau langkah-langkah pengamanan instalasi tenaga listrik dan pengamanan pemanfaat tenaga listrik untuk mewujudkan kondisi andal bagi instalasi dan kondisi aman dari bahaya bagi manusia, serta kondisi akrab lingkungan (ramah lingkungan), dalam arti tidak merusak lingkungan hidup disekitar instalasi tenaga listrik.

Berdasar undang undang no 30 tahun 2009 secara terperinci ketentuan yang berkaitan dengan Keselamatan Ketenagalistrikan diatur sebagai berikut:

1. Setiap usaha yang berkaitan dengan kegiatan ketenagalistrikan wajib memenuhi ketentuan Keselamatan Ketenagalistrikan.
2. Tujuan diterapkannya K2 untuk mewujudkan kondisi berikut:
  - a. Andal dan Aman bagi instalasi
  - b. Aman dari bahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya
  - c. Ramah lingkungan
3. Sistem instalasi listrik yang beroperasi wajib memiliki Sertifikat Laik Operasi (SLO)

4. Peralatan dan seluruh pemanfaatan tenaga listrik wajib memenuhi ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI)
5. Tenaga Teknik dalam usaha ketenagalistrikan wajib memiliki sertifikat kompetensi

Secara khusus selain K2 upaya perlindungan keselamatan kerja juga diatur dalam UU no 1 tahun 1970 tentang keselamatan kerja. Pada Undang Undang tersebut K3 yang merupakan akronim dari Keselamatan dan Kesehatan Kerja didefinisikan sebagai segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

Tujuan dari keselamatan dan kesehatan kerja adalah mewujudkan masyarakat lingkungan kerja yang aman, sehat dan sejahtera. Penerapan keselamatan kerja yang baik maka akan tercapai lingkungan kerja yang aman, sehat dan nyaman. Serta mampu meningkatkan produktivitas dan efisiensi pekerjaan akhirnya dapat juga meningkatkan kesejahteraan tenaga kerja. Keterkaitan antara K2 dan K3 adalah pada K3 mengatur keselamatan kerja secara menyeluruh sedangkan pada K2 spesifik pada bidang ketenagalistrikan.

Pada Gambar 2.1 terlihat beberapa perlengkapan yang diperlukan dalam keselamatan kerja. Beberapa perlengkapan yang umum digunakan untuk melindungi diri dari kecelakaan kerja antara lain:

1. Helm pengaman sebagai alat untuk melindungi kepala dari benturan yang dapat beresiko melukai kepala,

hole untuk bergerak ke satu arah yang berlawanan. Elektron dan hole akan bergerak menjauhi sisi negatif (untuk elektron) dan sisi positif (untuk hole). Sebuah arus listrik DC akan tercipta jika p-n junction ini dihubungkan ke suatu beban.

### 5.2.2. Efisiensi Modul Fotovoltaik

Untuk mengukur kinerja dari modul fotovoltaik apakah bekerja dengan baik atau tidak, serta mengetahui kualitas dari modul fotovoltaik tersebut tergantung dari tingkat efisiensi yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik itu sendiri. Modul fotovoltaik yang memiliki efisiensi yang baik dapat diketahui dari daya yang dihasilkan akan maksimal dengan rugi rugi yang kecil, indikator tersebutlah yang mengategorikan modul fotovoltaik baik atau tidak.

Efisiensi pada modul fotovoltaik tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor. antara lain, luas kolektor modul fotovoltaik ( $A_c$ ), Insolasi matahari ( $I$ ), dan daya kolektor yang dimiliki oleh modul fotovoltaik. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_p = \frac{(IV)_{\max}}{I A_c}$$

|         |               |   |
|---------|---------------|---|
| Dimana, | $\eta_p$      | = Efisiensi fotovoltaik                       |
|         | $(IV)_{\max}$ | = Daya kolektor maksimum (W)                  |
|         | $I$           | = Insolasi matahari (W/m <sup>2</sup> )       |
|         | $A_c$         | = Luas kolektor fotovoltaik (m <sup>2</sup> ) |

### 5.2.1. Prinsip Kerja Fotovoltaik

Radiasi sinar matahari yang memiliki energi yang cukup saat mengenai medium semikonduktor, mengakibatkan elektron pada medium tersebut terlepas dari ikatan energinya dan mengalir, sehingga terjadi aktivitas arus listrik. Lepasnya ikatan energi yang diakibatkan cahaya sehingga mengakibatkan elektron berpindah inilah yang disebut efek fotovoltaik. Untuk menghasilkan elektroda bebas tersebut maka dipilihlah bahan semikonduktor pada modul fotovoltaik. Padatan logam yang elektron valensinya ditentukan berdasarkan konduktivitas elektriknya merupakan material semikonduktor. Konduktivitas material semikonduktor secara signifikan akan meningkat.

Untuk menghasilkan energi yang cukup besar dan dapat memisahkan elektron dari struktur atomnya, maka foton dari sumber cahaya harus menabrak elektron valensi dari atom semikonduktor. Elektron yang bermuatan negative ini terlepas dan bebas bergerak pada bidang kristal dan dalam posisi di daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Elektron yang hilang dapat mengakibatkan kosongan pada struktur kristal atau biasa disebut hole dengan muatan positif. 14

Daerah semikonduktor sebagai pendonor elektron dengan memanfaatkan electron bebas, bersifat negatif sebagai pendonornya disebut negative type (n-type), dan daerah semikonduktor sebagai penerima (acceptor) elektron dengan hole, dan bersifat positif disebut positive type (p-type). Untuk menciptakan energi listrik internal maka ikatan positif dan sisi negatif akan mendorong electron bebas dan

2. Kaca mata pelindung sebagai alat untuk melindungi mata dari partikel yang dapat melukai mata,
3. Pelindung telinga sebagai alat untuk melindungi telinga dari suara yang sangat keras yang dapat mengganggu fungsi indera pendengaran jika terpapar dalam waktu yang lama,
4. Masker sebagai alat untuk melindungi diri dari debu dan partikel berbahaya di lingkungan kerja,
5. Sarung tangan sebagai alat untuk melindungi tangan dari benda-benda yang dapat melukai tangan,
6. Rompi keamanan sebagai alat untuk melindungi badan dari kontak dengan benda tajam, percikan bahan kimia, dan benda-benda jatuh yang mungkin mengenai tubuh bagian,
7. Sepatu pelindung sebagai alat untuk melindungi kaki dari benda-benda tajam di tanah dan melindungi diri dari adanya arus bocor yang dapat mengalir melalui lantai yang bersifat konduktor.



Gambar 2.1 Contoh alat pelindung diri

Bahaya listrik yang harus diantisipasi dari proses penggunaan energi listrik diantaranya:

#### 1. Sengatan arus listrik

Sengatan Listrik terjadi saat ada aliran listrik yang melalui tubuh manusia yang dapat menyebabkan reaksi kejang pada tubuh manusia. Efek keparahan terhadap sengatan listrik tergantung pada nilai arus yang melalui tubuh, efek ini dipengaruhi juga nilai hambatan yang ada pada kulit. Efek sengatan ini menimbulkan luka bakar dan dapat meninggalkan bekas luka permanen

#### 2. Kebakaran dan ledakan karena listrik

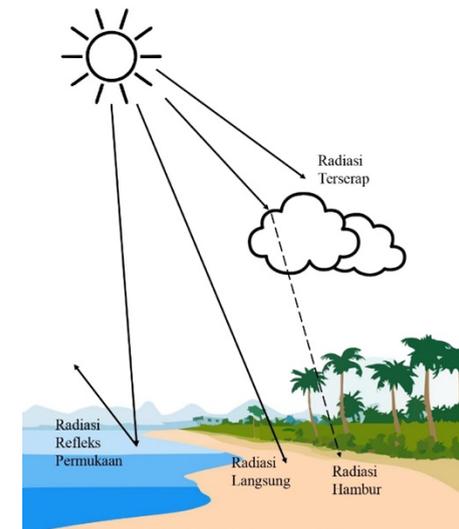
Hubungan arus pendek pada instalasi listrik yang paling sering menimbulkan bahaya kebakaran ataupun ledakan. Arus pendek menimbulkan efek panas yang dapat membuat isolator meleleh dan terbakar, selain itu jika pada efek hubungan arus pendek menimbulkan percikan api maka dapat menjadi pemicu kebakaran terutama jika terdapat bahan yang mudah terbakar di dekat titik korsleting.

#### 3. Busur listrik

Busur listrik adalah proses perpindahan muatan yang terjadi di antara dua buah elektroda yang melalui bahan dielektrik, dimana bahan dielektrik tersebut telah berubah sifat dari isolasi menjadi konduktor. Kegagalan peralatan listrik yang juga termasuk penyebab dari terjadinya busur listrik yaitu konduktor yang telah usang atau rusak, sambungan kabel yang longgar, perawatan yang tidak baik terhadap saklar dan *circuit breaker*, dan lain-lain.

#### 4. Listrik statis

4. Radiasi refleks permukaan: Radiasi refleks permukaan terjadi akibat sinar matahari yang dipantulkan lagi ke udara oleh permukaan bumi. Nilai radiasi yang dipantulkan tergantung jenis permukaan bumi seperti air, salju, rumput, pasir, dll
5. Radiasi global: Radiasi global merupakan keseluruhan radiasi yang dipancarkan matahari yang diterima oleh permukaan bumi



Gambar 5.1 Radiasi sinar matahari

## 5.2 Teknologi Fotovoltaik

Salah satu bagian terpenting dalam pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik adalah modul fotovoltaik. Modul fotovoltaik digunakan untuk merubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Penjelasan lebih lengkap mengenai fotovoltaik dijelaskan sebagai berikut:

jumlah waktu penyinaran antara 4-8 jam perhari atau terdapat potensi 207,8 GWp. Angka tersebut menjadi sebuah nilai yang sangat besar dalam menganalisis potensi energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan di masa depan. Dampak positif lainnya pada pemanfaatan potensi energi surya adalah ramah lingkungan, mudah untuk diduplikasinya, dan bisa digunakan dalam berbagai kondisi geografis

Pancaran sinar matahari yang menghasilkan adanya radiasi matahari yang sampai ke bumi merupakan hal yang paling pokok dalam pemanfaatan potensi pemanenan sinar matahari menjadi energi listrik sesuai Gambar 5.1. Terdapat beberapa jenis cara radiasi matahari dalam menembus sampai ke permukaan bumi. Dalam kaitannya dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya radiasi matahari sampai ke permukaan panel surya dengan sudut  $\theta$  dengan cara sebagai berikut:

1. Radiasi Langsung: Radiasi langsung terjadi saat sinar matahari sampai ke bumi tanpa adanya perubahan arah, radiasi yang diterima akan sejajar dengan sinar datang
2. Radiasi hambur: Radiasi hambur terjadi saat pancaran sinar matahari mengalami perubahan akibat pantulan dan penghamburan oleh molekul udara
3. Radiasi terserap: Radiasi terserap terjadi saat pancaran sinar matahari diserap oleh molekul, lapisan ozon, karbon dioksida, uap air hingga polusi.

Perlu diwaspadai juga terhadap efek listrik statis, jika dilihat dari nilai arus tidak terlalu besar, akan tetapi listrik statis ini dapat menimbulkan bahaya jika terdapat banyak sumber potensi bahan yang mudah terbakar di dekatnya.

Beberapa potensi bahaya listrik tersebut dapat diminimalisir dengan mengikuti prosedur keselamatan kerja yang berkaitan dengan peralatan listrik, tempat kerja dengan melakukan pekerjaan instalasi listrik sesuai dengan aturan berikut:

1. Ketentuan pada PUIL ayat 920 B6 terdapat beberapa persyaratan di antaranya:
  - a. Apabila terdapat kerusakan komponen instalasi harus segera dilakukan penggantian, sesuai dengan spesifikasinya,
  - b. Penggantian komponen proteksi harus sesuai dan tidak boleh lebih besar nilai arusnya, dan memasang kawat tambahan untuk menambah daya pada pemaman lebur,
  - c. Instalasi yang bertegangan harus ditutup dan tidak boleh dalam keadaan terbuka seperti pada sambungan penghantar,
  - d. Pada peralatan listrik yang terbuat dari bahan logam harus terhubung dengan sistem *grounding* atau pentanahan.
2. Ketentuan pada PUIL ayat 920 A1 mengenai keselamatan berkaitan dengan tempat kerja diatur:
  - a. Pada ruangan dengan peralatan listrik terbuka didalamnya harus diberi peringatan “AWAS BERBAHAYA”
  - b. Menggunakan alat pelindung diri saat bekerja di daerah dengan potensi bahaya listrik

3. Hal penting dalam pekerjaan yang melindungi dari bahaya listrik diantaranya:
  - a. Semua pekerja yang berkaitan dengan pekerjaan instalasi listrik harus memahami aturan keselamatan kerja yang sudah diatur,
  - b. Pekerja selalu menggunakan alat pelindung diri sesuai potensi bahaya pada pekerjaan yang dilakukan (menggunakan helm, sepatu *safety*, sarung tangan dan pakian yang sesuai dengan pekerjaan),
  - c. Pemasangan komponen dan pemilihannya harus sesuai dengan PUIL,
  - d. Tidak menarik tusuk kontak pada bagian kabelnya, melainkan harus pada bagian isolator tusuk kontak itu sendiri.

## KESIMPULAN

1. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) adalah dokumen SNI yang digunakan sebagai standar acuan dalam pemasangan instalasi tenaga listrik tegangan rendah.
2. Ruang lingkup PUIL adalah semua perusahaan instalasi listrik yang mencakup kegiatan yang berkaitan dengan instalasi listrik baik pengerjaan, prancangan, pemasangan, pemeriksaan dan pengujian, pelayanan, pemeliharaan maupun pengawasan.
3. Pembahasan yang terdapat di dalam PUIL mencakup persyaratan umum, pemilihan komponen, dan keselamatan kerja.

## 5.1 Potensi Energi Surya

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat saat ini. Penggunaan energi listrik melekat pada setiap proses kehidupan sehari-hari. Tersedianya energi listrik yang baik memiliki dampak yang sangat penting dalam proses mewujudkan pembangunan nasional. Energi listrik yang merata dan mampu mencukupi kebutuhan serta memiliki kualitas yang baik dapat mempercepat tujuan pembangunan nasional tersebut.

Pada proses pembangkitan energi listrik di Indonesia sendiri saat ini ditopang oleh bahan bakar fosil. Bauran energi primer pembangkit listrik tahun 2019 pembangkitan energi listrik 60,5 % ditopang oleh batu bara, 23,11 % ditopang oleh gas alam, 4,03% dari minyak bumi dan 12,36% dari Energi Baru Terbarukan. Tingginya penggunaan bahan bakar fosil yang masih digunakan perlu disikapi dengan serius karena terbatasnya ketersediaannya. Semakin maju suatu negara maka kebutuhan akan suplai energi listrik juga akan semakin meningkat,

Diperlukan upaya dalam melakukan penghematan sumber energi fosil dalam proses pembangkitan listrik. Faktor utama karena ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis, faktor lain penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan dan bersifat lebih fleksibel dalam proses pembangkitan dan pendistribusiannya seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna listrik yang harus terpenuhi.

Potensi letak Indonesia yang berada di Kawasan iklim khatulistiwa dengan sinar matahari rata-rata harian adalah 4-5 kWh/m<sup>2</sup> dengan

# BAB 5

## INSTALASI PANEL SURYA

### Capaian Pembelajaran:

Bab ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami instalasi panel surya serta komponen-komponen yang digunakan dalam instalasi panel surya. Materi pada bab ini mencakup potensi panel surya, teknologi fotovoltaik, komponen sistem PLTS, dan konfigurasi sistem PLTS. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan komponen yang digunakan dalam sistem PLTS dan menentukan jumlah panel surya yang digunakan dalam suatu bangunan dengan kapasitas tertentu.

4. Dalam instalasi listrik, beberapa jenis bahaya yang perlu diantisipasi antara lain sengatan arus listrik, kebakaran dan ledakan akibat listrik, busur listrik, dan listrik statis.
5. Penerapan K2 dan K3 sesuai dengan amanat UU no 1 tahun 1970 mencakup perencanaan, pemasangan, pemeriksaan dan pengujian, penggunaan/ pengoperasian, perubahan, dan pemeliharaan.

### LATIHAN SOAL

1. Jelaskan fungsi dan tujuan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dalam pemasangan instalasi listrik sebuah bangunan!
2. Jelaskan ruang lingkup PUIL dalam instalasi listrik!
3. Jelaskan manfaat pemahaman PUIL bagi konsumen listrik dan pekerja di bidang listrik!
4. Pekerja di bidang pemasangan instalasi listrik perlu memperhatikan keselamatan dalam bekerja. Identifikasi perlengkapan yang diperlukan untuk menjaga pekerja dari bahaya listrik yang mungkin terjadi serta jelaskan fungsi dari setiap perlengkapan!
5. Jelaskan secara singkat pengertian keandalan, keamanan, kemudahan, ketersediaan, keindahan, ekonomi, dan pengaruh lingkungan sebagai persyaratan yang perlu diperhatikan dalam instalasi listrik!

# BAB 3

## KOMPONEN INSTALASI LISTRIK

### Capaian Pembelajaran:

Bab ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami jenis dan fungsi komponen yang digunakan dalam instalasi listrik rumah tinggal. Materi pada bab ini mencakup syarat instalasi listrik secara umum, komponen instalasi listrik rumah tinggal, komponen instalasi tenaga serta prinsip pembumian/ *grounding*. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi komponen yang digunakan dalam instalasi listrik rumah tinggal serta menjelaskan fungsi setiap komponen.

Tentukan besar nilai kapasitor yang perlu dipasang pada instalasi listrik!

10. Secara umum terdapat tiga macam daya listrik, yaitu daya nyata/ daya aktif dengan satuan watt (W), daya semu dengan satuan volt-ampere (VA), dan daya reaktif dengan satuan volt-ampere reaktif (VAR).
11. Faktor daya atau *power factor* ( $\cos \phi$ ) merupakan sebuah nilai yang muncul akibat adanya kerugian daya.
12. Salah satu cara untuk memperbaiki nilai faktor daya adalah dengan memasang kapasitor.

## LATIHAN SOAL

1. Jelaskan jenis gambar yang diperlukan dalam perencanaan instalasi listrik!
2. Jelaskan komponen-komponen yang diperlukan dalam instalasi listrik bangunan rumah tinggal!
3. Jelaskan fungsi perlengkapan hubung bagi (PHB) pada sebuah bangunan!
4. Jelaskan cara pemasangan PHB pada suatu bangunan!
5. Buat denah bangunan sesuai dengan rumah tinggal Anda masing-masing dalam skala 1:100! Identifikasi posisi lampu, saklar dan kontak tusuk pada setiap ruangan! Gambarkan diagram pengkabelan dan single line diagram sesuai dengan hasil identifikasi Anda!
6. Pada sebuah bangunan memiliki nilai daya nyata sebesar 100 kW dengan nilai faktor daya sebesar 0,7. Tegangan jala-jala yang mengalir sebesar 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Pemilik bangunan ingin meningkatkan nilai faktor daya menjadi 0,95.

## 3.1. Syarat Instalasi Listrik

Pemasangan instalasi listrik yang dapat mewujudkan tujuan dari pemanfaatan energi listrik dengan baik dan sesuai dengan perencanaannya memiliki beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan. Persyaratan tersebut antara lain:

### 1. Keandalan

Syarat keandalan pada instalasi listrik adalah pada suatu sistem instalasi listrik yang dapat bekerja dalam waktu yang lama dan apabila terdapat gangguan dapat diatasi dengan cepat. Sisi keandalan disini meliputi pada bagian mekanik maupun elektrik. Contohnya pada sambungan penghantar pada instalasi yang kuat dan tidak mudah lepas sehingga dalam berbagai kondisi tetap dapat menghantarkan aliran listrik dan apabila terjadi gangguan dapat dengan tepat diatasi oleh komponen instalasi

### 2. Keamanan

Pemasangan instalasi listrik harus dipasang sesuai dengan prinsip PUIL 2011 yang bertujuan melindungi keamanan dan keselamatan bagi manusia, ternak dan harta benda. Contohnya menggunakan peralatan dan pemasangan yang sesuai dengan standar. Melengkapi instalasi listrik dengan sistem pentanahan agar jika terjadi kebocoran listrik pada body peralatan dapat terhindar dari bahaya kejutan listrik.

### 3. Kemudahan

Pada syarat kemudahan instalasi listrik harus dapat dioperasikan dengan mudah dan tidak memerlukan skill khusus. Syarat kemudahan ini berlaku juga pada pengoperasian, perbaikan, dan perawatan yang lebih mudah. Selain itu jika terjadi pengembangan dan perluasan

dapat dengan mudah dilakukan. Contohnya penempatan komponen instalasi seperti saklar harus mudah dijangkau dengan diletakkan di dekat pintu agar saat mengakses suatu ruangan dapat dengan mudah menemukan saklar.

#### 4. Ketersediaan

Instalasi listrik harus siap dalam melayani semua kebutuhan beban termasuk dalam hal cadangan yang diperlukan. Komponen instalasi listrik harus mudah dan tersedia di pasaran secara umum dan apabila harus memerlukan cadangan daya harus mudah ditambahkan tanpa perlu merubah sistem instalasi.

#### 5. Keindahan

Keindahan pemasangan instalasi listrik akan menambah nilai estetika pada bangunan, di sisi lain dengan kerapian, keserasian akan memudahkan dalam pemasangan dan perawatan instalasi listrik. Contohnya penggunaan warna kabel yang sesuai, penempatan komponen instalasi dengan tinggi dan ukuran yang sesuai. Saat dilakukan pemasangan dengan tepat dan rapi maka akan didapatkan hasil instalasi yang memiliki nilai keindahan.

#### 6. Ekonomi

Kondisi ekonomi pada saat pemasangan instalasi listrik tidak hanya terkait pada penggunaan komponen yang murah pada saat perencanaan. Aspek efisiensi dan efektifitas dalam penggunaan, keandalan komponen dapat menghemat biaya operasional, perbaikan dan perawatan. Contohnya penggunaan beban induktif harus dilengkapi dengan capacitor bank sehingga penggunaan daya listrik menjadi efektif.

2. Pada perancangan instalasi listrik pada bangunan terdapat beberapa peralatan yang diperlukan, antara lain KWH meter, saklar, kontak tusuk, kabel, lampu, dan lain sebagainya.
3. Perlengkapan hubung bagi atau PHB adalah suatu perlengkapan untuk mengontrol dan membagi tenaga listrik dan melindungi rangkaian serta pemanfaatan rangkaian.
4. Komponen penyusun PHB antara lain MCB, MCCB, saklar pemutus, transformator, indikator, dan lain sebagainya.
5. Beberapa fungsi PHB adalah sebagai penghubung, pengaman, pembagi, penyuplai, dan pengendali aliran daya listrik dalam sebuah bangunan.
6. PHB dapat dipasang di dalam maupun di luar bangunan dengan masing-masing dapat dipasang terbuka dan tertutup.
7. Dalam merancang instalasi listrik sebuah bangunan dapat dilakukan dengan cara menggambarkan diagram pengkabelan (wiring diagram) maupun diagram satu garis (single line diagram).
8. Konservasi energi merupakan tindakan mengurangi jumlah penggunaan energi yang dilakukan dengan cara menggunakan energi secara efisien. Tindakan ini dilakukan untuk mendapatkan manfaat yang sama dengan menggunakan energi lebih sedikit, ataupun dengan mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi.
9. Audit energi dapat dilakukan dengan audit energi awal dan audit energi terinci.

3. Perhitungan nilai daya semu 2 ( $S_2$ )

$$S_2 = P_1 / PF_2$$

$$S_2 = 50 \text{ kW} / 0,96$$

$$S_2 = 52,1 \text{ kVA}$$

4. Perhitungan nilai daya reaktif 2 ( $Q_2$ )

$$Q_2 = \sqrt{P_1^2 + S_2^2}$$

$$Q_2 = \sqrt{(50 \text{ kW})^2 + (52,1 \text{ kVA})^2}$$

$$Q_2 = 14,6 \text{ kVAR}$$

5. Perhitungan selisih nilai daya reaktif ( $\Delta Q$ )

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2$$

$$\Delta Q = 40,1 \text{ kVA} - 14,6 \text{ kVAR}$$

$$\Delta Q = 25,5 \text{ kVAR}$$

6. Perhitungan nilai kapasitor

$$C = \Delta Q / (V^2 \omega)$$

$$C = \Delta Q / (V^2 2\pi f)$$

$$C = 25,5 \text{ kVAR} / (220^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50)$$

$$C = 1,68 \text{ mF}$$

Jadi kapasitor yang perlu dipasang berukuran 1,68 mF.

## KESIMPULAN

1. Instalasi listrik pada sebuah bangunan perlu dirancang dengan baik untuk kebutuhan keamanan. Perencanaan instalasi listrik dapat direpresentasikan dalam bentuk gambar situasi, gambar instalasi, diagram garis tunggal, dan diagram garis banyak.

7. Pengaruh Lingkungan

Pemilihan dan pemasangan instalasi listrik perlu juga mempertimbangkan dampak dan pengaruhnya terhadap lingkungan, terdapat aspek yang perlu diperhatikan yaitu pengaruh peralatan yang dipasang terhadap lingkungan maupun sebaliknya pengaruh lingkungan terhadap peralatan yang dipasang. Apabila terdapat dampak tersebut harus dipertimbangkan perencanaan agar dampak buruknya bisa diperkecil atau dihilangkan. Contohnya pemilihan penghantar harus memperhatikan jenis isolator pada masing masing penghatantar sesuai dengan kondisi pemasangannya.

## 3.2. Komponen Instalasi Listrik Rumah Tangga

Dalam suatu perancangan dan pemasangan instalasi listrik komponen instalasi listrik merupakan hal terpenting dan pokok dalam suatu sistem instalasi yang akan dibuat. Pada penggunaan komponen instalasi listrik harus memenuhi persyaratan instalasi listrik. Terdapat berbagai jenis komponen instalasi listrik yang digunakan diantaranya:

### 3.2.1. Kabel Penghantar

Kabel penghantar, sesuai Gambar 3.1, merupakan komponen utama instalasi listrik dimana akan mengalirkan tenaga listrik yang akan digunakan pada peralatan listrik. Jenis kabel disesuaikan dengan tempat pemasangan instalasi, sedang ukuran kabel disesuaikan dengan jenis dan besar beban yang ada pada instalasi tersebut.



Gambar 3.1 Kabel NYAF

Luas penampang hantaran yang harus digunakan pertama-tama ditentukan oleh kemampuan hantar arus (KHA) yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Bahan bahan untuk penghantar biasanya adalah tembaga, alumunium atau keduanya. Perlu diingat aluminium bersifat kurang elastis dan memiliki penghantar jenis yang relatif lebih besar dibandingkan tembaga, yang paling diingat dari kabel adalah KHA. Untuk instalasi rumah tinggal pasangan tetap, hantarannya harus memiliki luas penampang tembaga sekurang-kurangnya 1,5 mm<sup>2</sup> (ayat 840 B.1). Bila pada instalasi ada titik-titik kontak, maka hantaran utama yang dipakai minimal 2,5 mm<sup>2</sup>. Tabel 3.1 menunjukkan nilai KHA berdasarkan luas penampang kabel.

Untuk instalasi satu fase, hantaran fasenya boleh dipakai dengan memilih warna yang telah ditentukan. PUIL 2011 mengatur penggunaan warna selubung kabel dan isolator kabel untuk

Pada bagian ini pemahaman perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor akan dijelaskan melalui contoh soal.

**Contoh:** Pada sebuah bangunan memiliki nilai daya nyata sebesar 50 kW dengan nilai faktor daya sebesar 0,73. Tegangan jala-jala yang mengalir sebesar 220 V dengan frekuensi 50 Hz. Pemilik bangunan ingin meningkatkan nilai faktor daya menjadi 0,96. Tentukan besar nilai kapasitor yang perlu dipasang pada instalasi listrik!

**Jawab:**

Diketahui:

- $P_1 = 50 \text{ kW}$
- $PF_1 = 0,78$
- $PF_2 = 0,96$

Ditanyakan: Nilai kapasitor C

Jawaban:

1. Perhitungan nilai daya semu 1 ( $S_1$ )

$$PF_1 = P_1/S_1$$

$$S_1 = P_1/PF_1$$

$$S_1 = 50 \text{ kW}/0,78$$

$$S_1 = 61,4 \text{ kVA}$$

2. Perhitungan nilai daya reaktif 1 ( $Q_1$ )

$$Q_1 = \sqrt{P_1^2 + S_1^2}$$

$$Q_1 = \sqrt{(50 \text{ kW})^2 + (61,4 \text{ kVA})^2}$$

$$Q_1 = 40,1 \text{ kVAR}$$

Pada sistem kelistrikan satu fase diharapkan nilai  $\phi = 0$ , atau nilai faktor daya = 1. Hal ini bisa didapatkan dengan penggunaan beban yang murni resistif. Namun demikian, realitanya konsumen tidak bisa hanya menggunakan beban resistif murni dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu rugi-rugi daya yang menyebabkan nilai rendahnya nilai faktor daya perlu diperhatikan.

Dalam sistem tenaga, terdapat beberapa metode untuk menambah atau memperbaiki faktor daya, antara lain:

1. Meminimalkan operasi beban tipe motor.
2. Menghindari penggunaan beban di atas penggunaan rata-rata.
3. Pemasangan kapasitor pada jaringan listrik AC.

Metode pada nomor 1 dan 2 berkaitan dengan perilaku konsumen. Hal ini tentu akan sulit dilakukan karena beberapa tipe konsumen memerlukan komponen motor dalam proses produksi. Selain itu, penggunaan energi listrik sulit diminimalkan pada beberapa tipe konsumen. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memasang kapasitor untuk memperbaiki nilai faktor daya.

Pada tipe konsumen industri, faktor daya juga sangat diperhatikan karena jika konsumen industri memiliki nilai faktor daya di bawah ketentuan Undang-Undang yang berlaku, maka konsumen akan mendapat denda. Daya reaktif akan diukur menggunakan KVAR meter sehingga penyedia layanan listrik dapat mengetahui nilai faktor daya. Oleh karena itu, perbaikan faktor daya penting dilakukan untuk mencapai efisiensi, salah satunya dari sisi finansial.

mendapatkan kesatuan pengertian guna keseragaman dan meningkatkan keamanan yaitu:

1. Warna loreng hijau-kuning digunakan untuk penghantar pembumian,
2. Warna biru digunakan untuk penghantar netral,
3. Warna yang lain bisa digunakan untuk fasa, namun diutamakan warna hitam dan dianjurkan setelah warna hitam adalah coklat.

Tabel 3.1 KHA dan luas penampang kabel

| Luas Penampang<br>(mm <sup>2</sup> ) | KHA<br>(A) | Daya Maksimal<br>(watt) |
|--------------------------------------|------------|-------------------------|
| 0,75                                 | 4          | 880                     |
| 1,5                                  | 6          | 1.320                   |
| 32,5                                 | 10         | 2.200                   |
| 4                                    | 16         | 3.520                   |
| 6                                    | 20         | 4.400                   |
| 10                                   | 25         | 5.500                   |
| 16                                   | 35         | 7.700                   |
| 25                                   | 60         | 13.200                  |
| 35                                   | 100        | 22.000                  |
| 50                                   | 125        | 27.500                  |
| 70                                   | 160        | 35.200                  |
| 95                                   | 250        | 55.000                  |
| 120                                  | 292        | 6.420                   |

Penghantar listrik atau kabel listrik ini merupakan komponen utamayang digunakan untuk menghantarkan arus dari sumber sampai dengan ke beban beban pemakaian. Terdapat berbagai jenis kabel yang digunakan yang disesuaikan dengan kondisi pemasangannya. Mengidentifikasi jenis kabel yang dipakai dalam instalasi menggunakan huruf huruf yang mengidetifikasi jenis bahan pembuatnya, jenis isolasi, dan tipe kabel (pejal/serabut). Penjelasan mengenai arti kode huruf pada kabel terdapat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Kode huruf pada penghantar / kabel

| Kode | Arti Kode                              |
|------|--|
| A    | Kabel Tunggal                          |
| D    | Spiral Anti Tekanan                    |
| F    | Penghantar Kawat Halus                 |
| G    | Isolasi Berbahan Karet                 |
| Gb   | Dililit Plat Baja                      |
| H    | Kabel Fleksibel (Serabut)              |
| M    | Inti Kabel Lebih dari Satu (Multicore) |
| N    | Kabel Standar dengan Inti Tembaga      |
| NA   | Kabel Standar dengan Inti Alumunium    |
| R    | Pelindung Kawat Baja Bulat             |
| Y    | Isolasi atau Selubung Berbahan PVC     |

Pada kondisi ini daya reaktif akan diserap oleh sistem. Persamaan daya reaktif dapat dilihat pada (4.2).

$$Q = V I \sin \varphi \quad (4.2)$$

Daya semu yang biasa direpresentasikan dengan huruf “S” merupakan daya listrik keseluruhan yang disediakan oleh penyedia listrik, dalam hal ini adalah PLN. Kapasitas daya semu yang disediakan PLN untuk konsumen pada berbagai kelompok dapat dilihat pada Tabel 1.1. Daya semu ini mencakup daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya semu dapat dilihat pada (4.3).

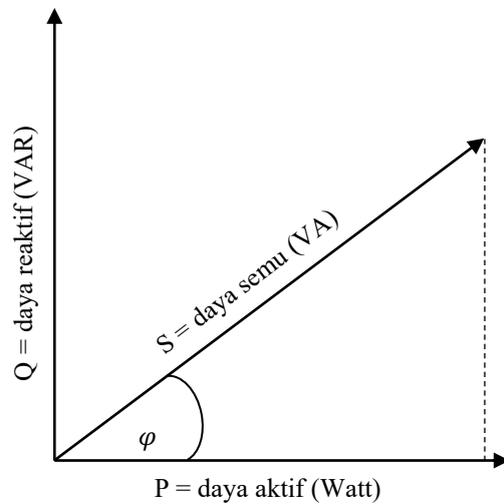
$$P = V I \quad (4.3)$$

Faktor daya atau *power factor* ( $\cos \varphi$ ) merupakan sebuah nilai yang muncul akibat adanya kerugian daya. Secara matematis faktor daya merupakan perbandingan dari daya aktif dengan daya semu. Persamaan perbandingan tersebut dapat dilihat pada (4.4).

$$PF = \cos \varphi = \frac{P}{Q} = \frac{\text{daya nyata (W)}}{\text{daya semu (VA)}} \quad (4.3)$$

## 4.5 Perbaikan Faktor Daya

Konsumsi daya oleh konsumen tentunya memiliki tingkat efisiensi yang tidak maksimal. Efisiensi daya dapat diartikan sebagai ukuran tingkat penggunaan energi dalam proses transmisi energi. Salah satu cara untuk efisiensi energi adalah dengan meningkatkan faktor daya. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, nilai sudut  $\varphi$  yang semakin besar menyebabkan nilai faktor daya/  $\cos \varphi$  semakin kecil.



Gambar 4.7 Segitiga daya

Daya aktif/ daya nyata atau biasa direpresentasikan dengan huruf “P” merupakan energi utama yang dapat dipakai merubah energi listrik menjadi energi lain seperti gerak, panas, cahaya dan lain-lain. Daya aktif adalah daya yang mengalir ke beban tanpa adanya arus balik ke sumbernya. Persamaan daya aktif dapat dilihat pada Persamaan (4.1).

$$P = V I \cos \varphi \quad (4.1)$$

Daya reaktif yang direpresentasikan dengan huruf “Q” merupakan energi yang terserap untuk mensuplai beban yang bersifat induktif. Daya reaktif berperan dalam menghasilkan medan magnet primer dan medan magnet menginduksi kumparan sekunder. Pada beban yang murni resistif, daya reaktif tidak akan muncul. Pada instalasi bangunan yang banyak menggunakan motor, misal pompa, kipas angin, dan lain sebagainya, arus listrik akan tertinggal dari tegangan.

### 3.2.2 Saklar

Saklar, seperti pada Gambar 3.2, adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memutuskan dan/atau untuk menghubungkan pada jaringan listrik (dalam hal ini untuk lampu). Jadi saklar pada dasarnya adalah alat penyambung atau pemutus aliran listrik. Secara sederhana, saklar terdiri dari dua bilah logam yang menempel pada suatu rangkaian (dalam hal ini instalasi rumah), dan bisa terhubung atau terpisah sesuai dengan keadaan sambung (*on*) atau putus (*off*) dalam rangkaian itu.



Gambar 3.2 Saklar

Terdapat beberapa persyaratan pada pemasangan saklar yaitu:

1. Dapat dioperasikan dengan aman tanpa memerlukan alat bantu,
2. Jumlah saklar harus sesuai dengan pekerjaan pelayanan, pemeliharaan dan perbaikan sehingga semua bias dilakukan dengan aman,
3. Bagian pemisah saklar tidak boleh bertegangan dalam kondisi terbuka (ayat 206 B1),
4. Tidak boleh terhubung karena pengaruh gravitasi atau berat (ayat 206 B1),

5. Kemampuan saklar dilewati arus harus sesuai dengan daya yang dilayani tetapi tidak boleh kurang dari 5 A.

### 3.2.3 Kotak Kontak dan Kontak Tusuk

Stop kontak, seperti pada Gambar 3.3, adalah istilah yang lebih umum digunakan sehari-hari untuk kotak kontak. Stop kontak berfungsi sebagai tempat mendapatkan sumber tegangan listrik yang dibutuhkan oleh beban atau peralatan listrik dan rumah tangga (TV, setrika, mesin air, kulkas, dan peralatan-peralatan listrik rumah tangga lainnya). Tegangan pada stop kontak berasal dari penghantar fasa dan penghantar netral yang tersambung pada instalasi.



Gambar 3.3 Kotak kontak

Tusuk kontak biasa kita kenal dengan istilah steker, fungsinya adalah menghubungkan peralatan listrik dengan sumber tegangan melalui stop kontak. Terdapat beberapa peraturan mengenai pemasangan kotak kontak antara lain:

1. Kotak kontak dinding satu fasa harus dipasang dengan kontak netral disebelah kanan (ayat 206 B4),
2. Kotak kontak yang terpasang kurang dari 1,25 meter diatas lanantai harus dilengkapi penutup (ayat 840 C5),

Rangkaian satu fase terdiri dari satu kawat fasa dan satu kawat netral yang dihubungkan pada meteran energi sebagai suplai input 220 V. Jika diperhatikan lebih seksama, ukuran yang digunakan pada KWH meter yang terpasang di bangunan tidak menggunakan satuan daya berupa watt (W) melainkan memiliki satuan volt-ampere (VA). Oleh karena itu, pada bagian ini akan dibahas mengenai jenis daya listrik yang ditemui pada instalasi listrik khususnya satu fase.

Secara umum terdapat tiga macam daya listrik, yaitu:

1. Daya nyata/ daya aktif dengan satuan watt (W)
2. Daya semu dengan satuan volt-ampere (VA)
3. Daya reaktif dengan satuan volt-ampere reaktif (VAR)

Pada prinsipnya ketiga jenis daya tersebut ditemui pada listrik satu fasa maupun listrik tiga fasa dan saling berkaitan atau berhubungan satu sama lain. Namun demikian pada bagian ini pembahasan akan focus pada listrik satu fase saja.

Ketiga jenis daya di atas dihubungkan melalui segitiga daya. Segitiga daya merupakan segitiga siku-siku yang digunakan untuk mempermudah perhitungan nilai dari masing-masing jenis daya. Perhitungan nilai daya pada segitiga daya dapat dilakukan sesuai rumus Pythagoras. Gambar 4.7 menunjukkan segitiga daya dan hubungan antara ketiga jenis daya. Nilai dari ketiga daya ini juga sangat dipengaruhi oleh faktor daya/  $\cos \phi$  ( $\cos \phi$ ). Pada listrik satu fase 220 V PLN biasanya  $\cos \phi$  ini nilainya ditetapkan 0,8.

nilai IKE pada beberapa jenis bangunan di Indonesia dapat dilihat di Tabel 4.1. Nilai yang tercantum pada Tabel 4.1 merupakan nilai IKE standar yang harus dimiliki sebuah bangunan untuk dapat dinilai sebagai bangunan hemat energi listrik. Bangunan yang memiliki nilai IKE yang lebih besar dari standar yang telah ditetapkan perlu dilakukan tahapan audit energi terinci.

Tabel 4.1 Nilai IKE untuk berbagai jenis bangunan di Indonesia

| No | Jenis Tempat            | Nilai IKE                        |
|----|-------------------------|----------------------------------|
| 1  | Perkantoran (komersial) | 240 KWh/m <sup>2</sup> per tahun |
| 2  | Pusat belanja           | 330 KWh/m <sup>2</sup> per tahun |
| 3  | Hotel/apartemen         | 300 KWh/m <sup>2</sup> per tahun |
| 4  | Rumah sakit             | 380 KWh/m <sup>2</sup> per tahun |

Audit energi terinci dilakukan dengan penelitian lebih detail dan pengukuran konsumsi energi listrik. Selain itu perlu dilakukan analisis terhadap kemungkinan peluang hemat energi (PHE) yang merupakan hasil penelitian detail terkait standar operasional penggunaan listrik, bahan/ material komponen kelistrikan dan lain sebagainya. Setelah itu, pada audit energi terinci juga mencakup rekomendasi yang perlu dilakukan sampai implementasi terhadap rekomendasi tersebut. Hasil akhir dari audit energi terinci adalah untuk melihat nilai IKE dan peluang konservasi energi yang didapatkan dari kegiatan audit energi.

#### 4.4 Segitiga Daya

Instalasi pada bangunan rumah tinggal pada umumnya menggunakan rangkaian satu fase/ fase tunggal (*single phase*).

3. Kotak kontak yang dipasang di lantai harus dilengkapi dengan penutup (ayat 511 B4),
4. Pada satu tusuk kontak hanya boleh tersambung dengan satu kabel yang dapat dipisahkan,
5. Kemampuan kotak kontak terpasang minimal sesuai dengan daya yang terhubung tetapi tidak boleh kurang dari 5A (ayat 840 C6).

#### 3.2.4 Peralatan Pengaman dan Pengukuran

Pengaman merupakan komponen instalasi listrik yang dirancang untuk melindungi sistem instalasi dari beban arus yang melebihi kapasitasnya. Arus yang mengalir melalui konduktor akan menghasilkan panas baik pada penghantar maupun piranti listrik itu sendiri. Untuk mengantisipasi bahaya listrik yang timbul maka digunakan pengaman pada sistem instalasi listrik. Kegunaan komponen pengaman ini antara lain:

1. Mengamankan sistem instalasi listrik (perlengkapan, komponen instalasi dan alat pada sisi beban pengguna),
2. Membatasi arus lebih yang diakibatkan penggunaan beban melebihi kapasitas pada instalasi dan akibat hubung singkat antar fasa-fasa, fasa-netral.

Pada kotak pengaman merupakan kotak tempat pengaman instalasi listrik yang juga tempat awal semua kabel instalasi yang akan dipasang. Untuk rumah umumnya memakai 2 jenis yaitu:

1. *Miniature Circuit Breaker* (MCB) adalah komponen dalam instalasi listrik rumah yang mempunyai peran sangat penting. Komponen ini berfungsi sebagai sistem proteksi dalam instalasi

listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik (*short circuit*). Penggunaan MCB pada instalasi motor listrik yang memiliki kapasitas arus lebih dari 100 A, pemasangan MCB haru berdekatan dengan pengaman lebur. MCB ini dikategorikan sebagai pemutus daya sekaligus juga bisa dimanfaatkan sebagai pembagi/pembatas daya. Instalasi rumah tinggal dengan langganan 450 VA dipasang MCB 2 A, sedangkan untuk 900 VA dipasang mCB 4 A, dan seterusnya. Prinsip dasar mCB menggunakan penggabungan dua jenis sistem proteksi, yaitu bimetal dan elektromagnetis. Bentuk MCB dapat dilihat dari Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Miniature circuit breaker* (MCB)

2. Sekring merupakan piranti proteksi sederhana, untuk melindungi instalasi listrik dari hubung singkat (*short circuit*). Prinsip dasarnya adalah ada kawat yang didesain khusus yang akan putus ketika dialiri arus tertentu, sehingga disebut juga dengan pengaman lebur. Jenis pengaman lebur harus mampu

penurunan konsumsi energi dalam skala yang luas dan dapat menurunkan permintaan energi per kapita. Hal ini diharapkan mampu mengurangi pertumbuhan kebutuhan energi yang terlalu pesat akibat pertumbuhan populasi.

Salah satu upaya yang dilakukan dalam usaha konservasi energi adalah melakukan audit energi listrik. Audit energi bermanfaat untuk mengetahui pola kebutuhan energi listrik pada sebuah bangunan sehingga dapat dilakukan analisa lebih lanjut untuk melihat peluang dilakukan konservasi energi. Audit energi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu audit energi awal dan audit energi terinci.

Audit energi awal dilakukan dengan mengumpulkan data energi bangunan dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran. Hal ini dilakukan dengan melihat beberapa dokumen seperti dokumentasi bangunan yang dapat berupa denah bangunan, gambar instalasi, diagram garis tunggal, riwayat pembayaran rekening listrik bulanan, dan tingkat hunian bangunan (*occupancy rate*). Berdasarkan informasi awal yang didapatkan, analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai intensitas konsumsi energi (IKE). Besarnya pemakaian energi listrik dalam bangunan gedung dinyatakan dalam satuan KWh/m<sup>2</sup>. Oleh karena itu, informasi luas bangunan total dan riwayat penggunaan listrik yang lengkap diperlukan untuk mendapatkan nilai IKE yang akurat.

Analisis nilai IKE disesuaikan dengan tipe bangunan yang diaudit. Berdasarkan hasil penelitian ASEAN-USAID tahun 1987,

### 4.3 Konservasi Energi

Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Indonesia memproyeksikan konsumsi energi di Indonesia akan terus meningkat sampai tahun 2030 dengan laju pertumbuhan 5,3% per tahun. Sebagai respon terhadap peningkatan kebutuhan energi tersebut, pemerintah telah membuat program-program untuk peningkatan kapasitas daya listrik. Program peningkatan kapasitas daya listrik tersebut tentu tidak lepas dari penggunaan sumber daya alam sebagai bahan penghasil energi listrik melalui proses konversi energi.

Salah satu upaya pemerintah dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi primer (minyak bumi, panas bumi, batu bara, gas bumi, tenaga air) adalah dengan mengeluarkan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang rencana pengelolaan sumber energi primer hingga tahun 2025. Berdasarkan peraturan tersebut, penggunaan sumber energi primer yang tidak dapat diperbarui masih cukup tinggi. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mengoptimalkan penggunaan energi khususnya energi listrik. Upaya efisiensi dan optimalisasi energi listrik tersebut disebut sebagai konservasi energi.

Konservasi energi merupakan tindakan mengurangi jumlah penggunaan energi yang dilakukan dengan cara menggunakan energi secara efisien. Tindakan ini dilakukan untuk mendapatkan manfaat yang sama dengan menggunakan energi lebih sedikit, ataupun dengan mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi. Konservasi energi ini di masyarakat akan berdampak pada

mengamankan instalasi jika arus yang mengalir terlalu besar. Secara umum berdasarkan prinsip dasar tersebut, maka nilai fuse yang digunakan untuk melindungi instalasi didesain lebih besar daripada arus nominalnya, untuk instalasi rumah tinggal nilainya 1,5 kali nilai arus nominalnya, sedangkan untuk instalasi motor listrik, disesuaikan dengan arus asutnya. Bagian pengaman yang memutus rangkaian disebut dengan patron lebur. Untuk arus nominal sampai dengan 25 A menggunakan jenis patron lebur D, yang berupa patron ulir dengan batas maksimum umumnya 63 A (ayat 630 B15). Gambar 3.5 menunjukkan sekering yang bisa digunakan pada instalasi listrik rumah tinggal.



Gambar 3.5 Sekering

3. Selain komponen pengaman terdapat pula komponen pengukuran yakni KWH Meter yang digunakan untuk mengukur penggunaan energi listrik yang digunakan pada suatu instalasi rumah tinggal. Pada kaitannya dengan instalasi rumah tinggal KWh meter

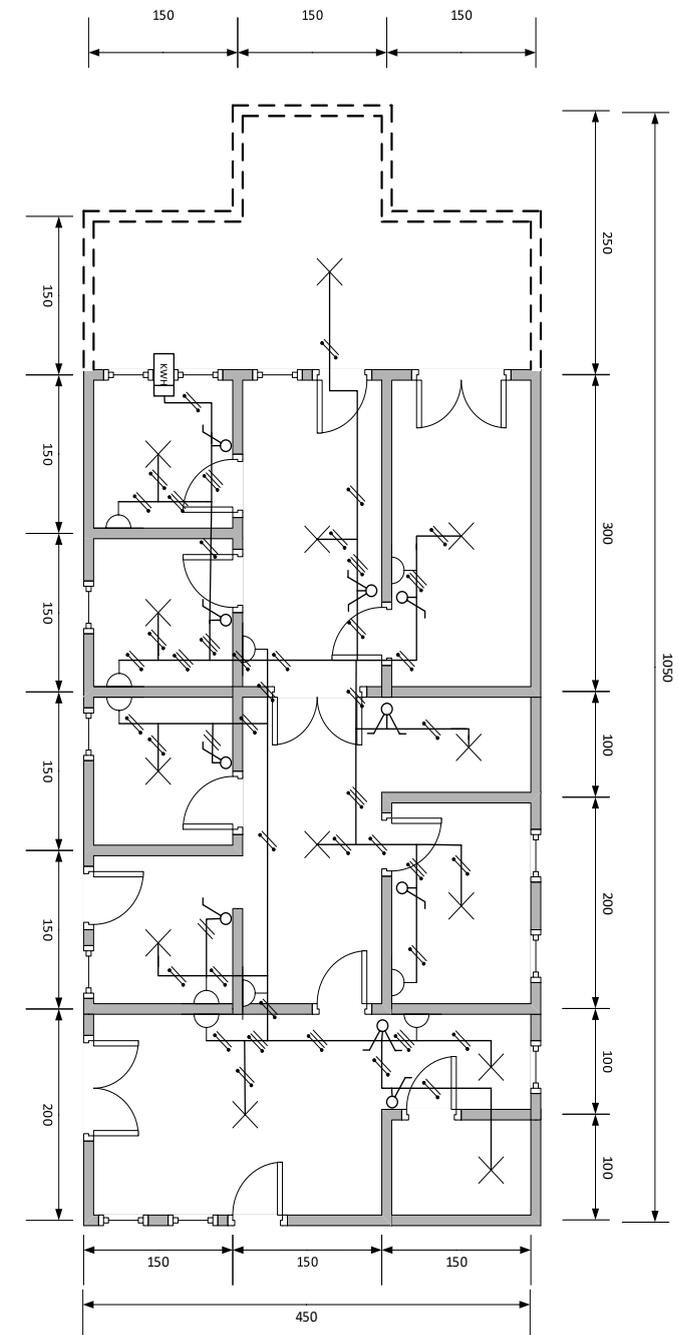
merupakan alat transaksi yang mencatat penggunaan energi listrik yang digunakan oleh konsumen. Gambar 3.6 merupakan KWH meter yang digunakan pada bangunan rumah tinggal.



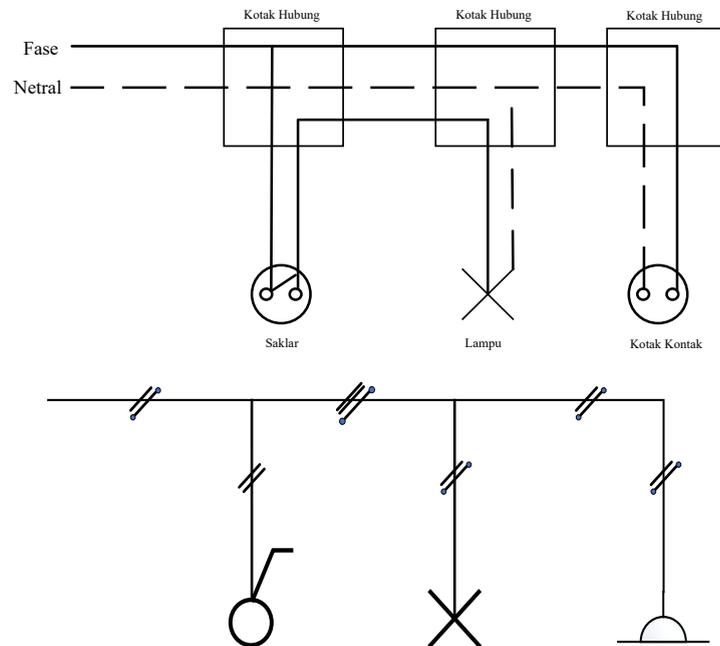
Gambar 3.6 KWH Meter

### 3.2.5 Fitting Lampu

Fitting lampu merupakan tempat pemasangan bola lampu penerangan rumah. Terdapat beberapa jenis fitting lampu diantaranya fitting gantung dan fitting duduk. Pemasangan fitting harus memperhatikan persyaratan pemasangan fitting yaitu kabel/penghantar netral disambungkan dengan bagian ulir sedangkan kabel/penghantar fase dihubungkan dengan dasar (titik tengah fitting) sehingga pada saat penggantian lampu baik dalam kondisi bertegangan maupun tidak tetap aman. Tempat dudukan fitting dipasang pada kayu roset, kayu roset merupakan kayu sebagai tempat memasang fitting pada plafon atau dinding. Gambar 3.7 menunjukkan fitting lampu yang umumnya digunakan dalam instalasi rumah tinggal.



Gambar 4.7 Implementasi SLD pada denah rumah tinggal



Gambar 4.6 Konversi diagram pengkabelan menjadi SLD

Desain instalasi listrik dalam bentuk SLD memberikan kemudahan bagi perancang dalam mengimplementasikan desain pada denah bangunan. Ini akan dijadikan panduan bagi pekerja pemasangan instalasi listrik dalam memasang instalasi listrik di lapangan. Kebutuhan terhadap komponen kelistrikan dapat diidentifikasi di awal, sehingga ini dapat menghindari pembengkakan dari sisi finansial. Contoh implementasi SLD pada bangunan rumah tinggal dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 3.7 Fitting lampu dan Kayu Roset

### 3.2.6 Pipa dan Klem

Pemipaan atau penggunaan pipa instalasi digunakan untuk melindungi penghantar pada jalur instalasi dari jalur utama instalasi menuju percabangan sampai dengan komponen-komponen instalasi lainnya. Perlindungan ini bertujuan untuk menghindari bahaya sentuhan langsung serta kemungkinan gangguan hewan pengerat, dan membuat saluran instalasi menjadi lebih rapi. Jenis kabel yang wajib dimasukkan ke dalam pipa adalah NYA dan NGA, jenis kabel NYM lebih aman terhadap sentuhan langsung jadi bias tidak dimasukkan ke dalam pipa. Contoh pipa dan klem dapat dilihat pada Gambar 3.8.

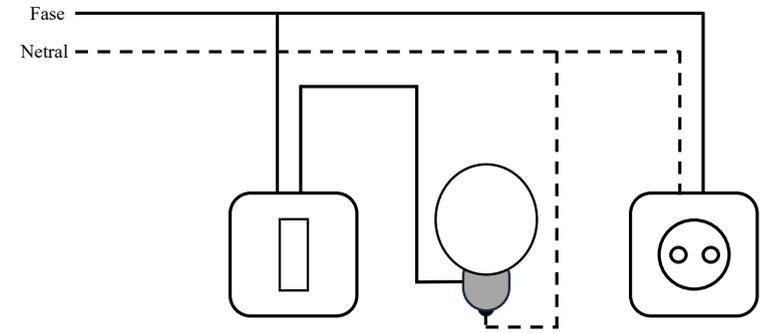
Ukuran pipa dibuat dalam berbagai ukuran pemakaiannya biasanya merujuk pada diameter pipa dengan satuan inch, sedang Panjang pipa umumnya 4 meter. Terdapat batasan aturan jumlah penghantar yang boleh dimasukkan ke pipa sesuai dengan Tabel 3.3.



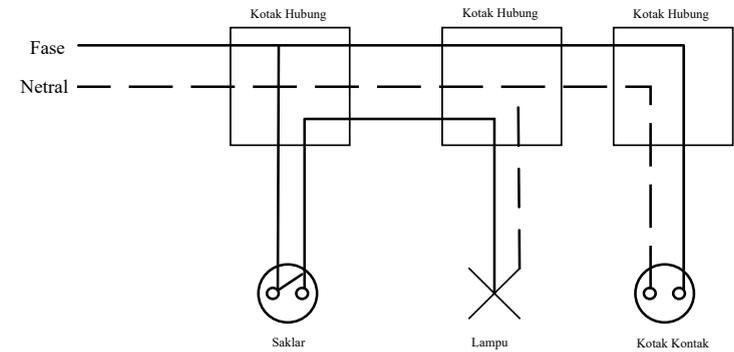
Gambar 3.8 Pipa dan klem

Tabel 3.3 Batasan jumlah penghantar pada pipa

| Hantaran |                    | Diameter Pipa (inch) |      |      |      |      |      |
|----------|--------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| mm       | Diameter luar (mm) | 5/8                  | 3/4  | 1    | 1 ¼  | 1 ½  | 2    |
| 1,5      | 4,2                | 3(4)                 | 5    | -    | -    | -    | -    |
| 2,5      | 4,8                | 2                    | 3(4) | 6    | -    | -    | -    |
| 4        | 5,8                | 2                    | 3(4) | 4(5) | -    | -    | -    |
| 6        | 6,4                | 1                    | 2(3) | 4    | -    | -    | -    |
| 10       | 7,7                | 1                    | 1    | 3(4) | 4    | 4(5) | -    |
| 16       | 8,8                | 1                    | 1    | 2    | 3(4) | 4    | -    |
| 25       | 10,4               | (1)                  | 1    | 1    | 2(3) | 3(4) | -    |
| 35       | 12,7               | -                    | (1)  | 1    | 2    | 2    | 5    |
| 50       | 13,4               | -                    | -    | 1    | 1(2) | 1(2) | 4    |
| 70       | 15,0               | -                    | -    | 1    | 1    | 1    | 4    |
| 95       | 17,2               | -                    | -    | -    | 1    | -    | 2(3) |



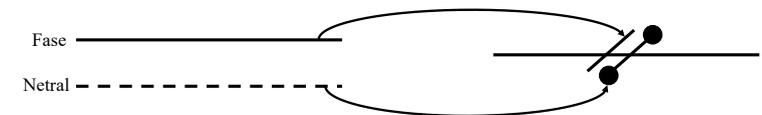
(a) Diagram pengkabelan dengan gambar komponen



(b) Diagram pengkabelan dengan gambar simbol

Gambar 4.3 Diagram pengkabelan

2. Mengubah kabel fase dan netral menjadi simbol fase dan netral sesuai Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Konversi kabel fase dan netral

3. Mengubah kotak hubung menjadi percabangan.
4. Mengubah gambar komponen menjadi simbol.

Hasil SLD dari Gambar 4.3 dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Pada kondisi beban di rumah tinggal yang dihubungkan secara seri, tegangan total akan dibagi ke dalam beban yang terhubung sesuai dengan dayanya, sedangkan arusnya mengalir sesuai dengan daya maksimum tiap beban yang terhubung. Tegangan harus tetap sama, yaitu 220 volt, agar semua beban berfungsi dengan baik karena semua lampu fase tunggal, lemari es, setrika, dan peralatan listrik lainnya selalu diberi nilai tegangan 220 volt. Dalam pengkabelan paralel, kegiatan menghidupkan/mematikan beban dapat dilakukan sesuai kebutuhan.

Untuk menyederhanakan desain instalasi pada diagram pengkabelan, bisa dilakukan dengan menggunakan diagram satu garis (*single line diagram*) atau disingkat menjadi SLD. SLD memanfaatkan simbol-simbol dari suatu komponen untuk digambarkan pada desain instalasi. Simbol dari beberapa komponen dalam instalasi listrik khususnya pada tipe rumah tinggal dapat dilihat pada BAB 3.

Desain instalasi listrik berbentuk diagram satu garis dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Menggambar instalasi kabel melalui diagram pengkabelan sesuai Gambar 4.3.

Klem pipa adalah komponen yang digunakan untuk menahan pipa pada pemasangan pada dinding atau langit-langit rumah. Ukuran klem dibuat sesuai dengan ukuran pipa begitu juga dengan bahan pembuatnya juga sama dengan bahan pembuat pipa. Selain menahan pipa klem juga dapat digunakan untuk menahan kotak hubung, sambungan pada saklar maupun kotak kontak.

### 3.2.7 Kotak Hubung

Kotak hubung merupakan tempat penyambungan kabel pada instalasi listrik dimana saluran utama dan saluran cabang dihubungkan. Penyambungan kabel tidak boleh dilakukan di dalam pipa karena terdapat resiko putus akibat tarikan. Jika pada instalasi menggunakan pipa plat akan terdapat resiko kontak listrik sehingga berbahaya bagi manusia dan bangunan karena bisa menimbulkan hubung singkat. Gambar 3.9 menunjukkan kotak hubung yang umumnya digunakan dalam instalasi listrik rumah tinggal.



Gambar 3.9 Kotak hubung

Banyaknya lubang saluran masuk untuk penyambungan bermacam-macam (1 cabang, 2 cabang, 3 cabang, dst.) dan begitu pula bentuk dari kotak sambung tersebut (kotak, bulat, dsb.).

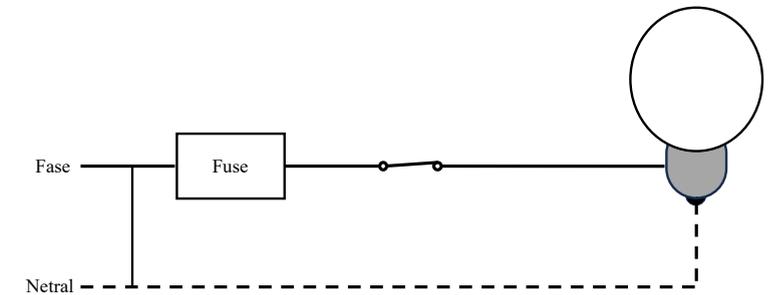
Umumnya pada instalasi listrik rumah tinggal menggunakan kotak sambung dengan tiga lubang cabang dan empat lubang cabang (dikalahkan instalatir disebut T-DOOS dan Kruis DOOS). Pada instalasi pasang dalam kita gunakan kotak sambung dengan 1 lubang saluran cabang (dikalahkan instalatir disebut In-bouw DOOS atau N-DOOS).

### 3.3. Komponen Instalasi Tenaga

Pengendalian instalasi listrik yang lebih besar seperti pada sistem 3 fasa yang biasanya beroperasi semi otomatis memerlukan komponen khusus seperti kontaktor magnet, timer dan lain sebagainya. Pengendalian tersebut biasanya digunakan untuk mengoperasikan motor seperti *starting* motor 3 fasa dengan rangkaian bintang segitiga maupun pengendalian arah putaran motor yang berbeda. Beberapa komponen instalasi tenaga akan dijelaskan dalam sub bab ini.

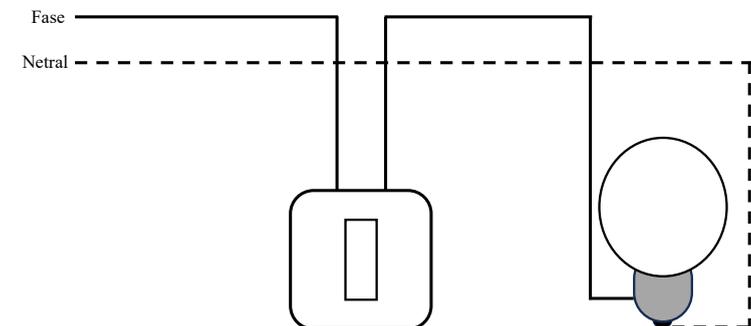
#### 3.3.1 Kontaktor Magnet

Kontaktor magnet atau sakelar magnet adalah sakelar yang bekerja berdasarkan kemagnetan. Artinya sakelar ini bekerja bila ada gaya kemagnetan. Magnet berfungsi sebagai penarik dan pelepas kontak-kontak. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan arus dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Sebuah kontaktor kumparan magnetnya (*coil*) dapat dirancang untuk arus searah (arus DC) atau arus bolak-balik (arus AC). Kontaktor arus AC ini pada inti magnetnya dipasang cincin hubung singkat, gunanya



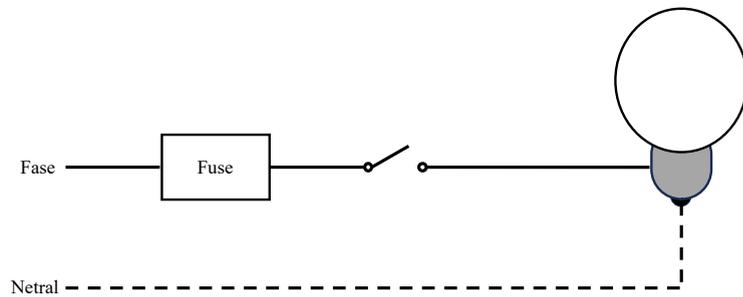
Gambar 4.1 Jenis rangkaian dalam instalasi listrik

Pada perancangan instalasi listrik, gambar diagram pengkabelan (*wiring diagram*) diperlukan untuk merepresentasikan hubungan antar komponen terhadap kabel fase dan netral. Selain itu, gambar diagram pengkabelan diperlukan untuk menganalisis kebutuhan kabel dalam instalasi listrik yang akan dilakukan. Sesuai Gambar 4.2, pada diagram pengkabelan dengan pengkabelan hubungan seri, saklar dipasang seri dengan kabel fase dan beban selalu terhubung paralel, sehingga fase diberikan ke setiap beban melalui saklar. Kabel netral dihubungkan ke titik N. Saat saklar ditekan, fase akan mencapai beban, sehingga sistem tersebut berfungsi dengan baik.

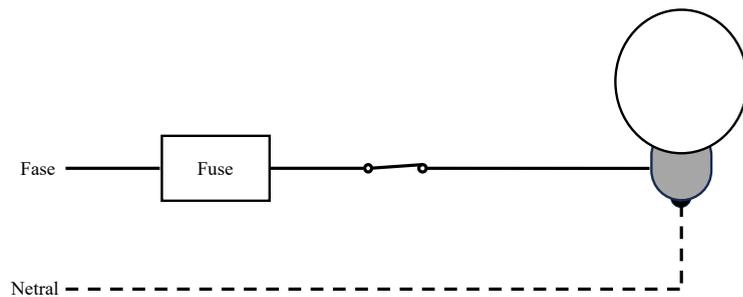


Gambar 4.2 Diagram pengkabelan hubungan seri

pada jalur hubung singkat tersebut. Arus akan cenderung mengalir pada jalur yang memiliki beban/ tahanan yang kecil. Arus hubung singkat ini dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan listrik. Oleh karena itu, perlu ada mekanisme pengamanan dengan memasang alat pengaman jaringan kelistrikan berupa pemutus arus/ MCB/ fuse yang ukurannya sesuai dengan daya yang terpasang pada bangunan. Hal ini bertujuan untuk memutar aliran arus yang lebih besar dari nilai maksimal arus yang diizinkan. Nilai maksimal tersebut didasarkan pada level daya listrik yang terpasang di rumah yang ditunjukkan dengan nilai MCB yang terpasang.



(a) Rangkaian terbuka



(b) Rangkaian tertutup

adalah untuk menjaga arus kemagnetan agar kontinu sehingga kontaktor tersebut dapat bekerja normal. Sedangkan pada kumparan magnet yang dirancang untuk arus DC tidak dipasang cincin hubung singkat. Contoh kontaktor magnet dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kontaktor magnet

Kontaktor akan bekerja normal bila tegangannya mencapai 85 % dari tegangan kerja, bila tegangan turun kontaktor akan bergetar. Ukuran dari kontaktor ditentukan oleh batas kemampuan arusnya. Biasanya pada kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal membuka (Normally Open = NO) dan kontak normal menutup (Normally Close = NC). Kontak NO berarti saat kontaktor magnet belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kontak itu menutup/ menghubungkan. Sedangkan kontak NC berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukan kontakannya menutup dan bila kontaktor bekerja kontak itu membuka. Jadi fungsi kerja kontak NO dan NC berlawanan. Kontak NO dan NC bekerja membuka sesaat lebih cepat sebelum kontak NO menutup.

Berdasarkan fungsinya kontak pada kontaktor terdiri dari 2 macam yaitu :

1. Kontak utama dirancang lebih luas dan tebal sehingga mampu untuk dialiri arus listrik yang relatif besar. Sesuai Gambar 3.10, kontak utama 1, 3 dan 5 biasanya dihubungkan dengan sumber listrik R, S dan T sedangkan Kontak 2, 4 dan 6 dihubungkan dengan beban Motor listrik 3 fasa U, V dan W atau beban lainnya.
2. Kontak bantu konstruksinya dirancang lebih tipis sehingga hanya digunakan untuk bagian kontrol saja dengan arus listrik yang relatif kecil.

Kelebihan pemakaian kontaktor magnetik dalam rangkaian kendali yang bekerja secara manual antara lain:

1. Perancangan rangkaian kendali menggunakan magnetic kontaktor lebih mudah dalam pengoperasian mesin listrik,
2. Pengoperasiannya memungkinkan dilaksanakan dari satu lokasi dan dengan jarak yang jauh dengan mesin bekerja dengan satu operator dan memungkinkan rangkaian bekerja secara interlocked untuk meminimalisir bahaya operasi dan kesalahan rangkaian,
3. Pengendaliannya dapat dilakukan dengan metode otomatis dan semi otomatis dengan menggunakan Programmable Logic Controller (PLC).

*Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB)*, *double pole miniature circuit breaker (DP MCB)* dan isolator digunakan sebagai kontrol utama pelindung jaringan kelistrikan dalam bangunan. *Single pole miniature circuit breaker (SP-MCB)* dapat dipasang di kotak MCB untuk menyediakan fase ke papan saklar individu ruangan di sebuah rumah. Kabel netral dari tautan netral kotak MCB terhubung ke setiap soket papan saklar dan beban lainnya. Saklar dipasang di papan saklar di setiap ruangan untuk mengoperasikan bebannya masing-masing berupa peralatan elektronik seperti kipas angin, lampu dan TV melalui soket. Setiap beban (fase tunggal) ketika dihubungkan dengan suplai 220 V yang dikendalikan oleh saklar disebut rangkaian/ *circuit*.

Pada umumnya terdapat tiga jenis rangkaian yang terjadi dalam sebuah instalasi bangunan, yaitu rangkaian terbuka (*open circuit*), rangkaian tertutup (*closed circuit*) dan rangkaian hubung singkat (*short circuit*). Pada Gambar 4.1 (a), rangkaian terbuka terjadi saat saklar pada sebuah rangkaian listrik dalam keadaan terbuka/ tidak menutup. Ini menyebabkan arus tidak mengalir pada jaringan listrik sehingga peralatan elektronik tidak menyala.

Sesuai Gambar 4.1 (b) menjelaskan rangkaian tertutup yang ditunjukkan dengan posisi saklar tertutup/ terhubung. Kondisi ini menyebabkan adanya aliran arus melewati beban/ peralatan elektronik sehingga peralatan tersebut dapat menyala. Gambar 4.1 (c) menunjukkan kondisi rangkaian hubung singkat dengan ditandai adanya konduktor yang menyatukan kabel fasa dan netral tanpa ada beban. Kondisi ini menyebabkan adanya arus yang besar mengalir

5. Sebagai pengendali kelompok beban dalam suatu bangunan melalui satu tempat kendali.

Instalasi PHB dalam sebuah bangunan akan mengikuti kondisi dari bangunan masing-masing. Sesuai dengan PUIL 2000; 6.3.2-6.4.3, penempatan PHB dapat dibedakan menjadi:

1. PHB tertutup pasang dalam dengan panel yang seluruh komponennya ditempatkan di dalam kotak panel yang tertutup dan terpasang di dalam ruangan.
2. PHB tertutup pasang luar dengan panel yang seluruh komponennya diletakkan di dalam kotak panel yang tertutup dan dipasang di luar ruangan serta bahan yang digunakan merupakan bahan yang tahan terhadap perubahan cuaca.
3. PHB terbuka pasang dalam dengan komponennya dipasang dalam kondisi terbuka. PHB jenis ini tidak direkomendasikan pada tempat dengan kondisi berbahaya.
4. PHB terbuka pasang luar dengan komponen yang harus tahan terhadap perubahan cuaca dan ditempatkan pada lokasi yang tidak berbahaya.

## 4.2 Perancangan Instalasi

Instalasi pada bangunan rumah tinggal pada umumnya menggunakan rangkaian satu fase/ fase tunggal (*single phase*). Rangkaian satu fase terdiri dari satu kawat fasa dan satu kawat netral yang dihubungkan pada meteran energi sebagai suplai input 220 V. Tegangan keluaran suplai sebesar 220 V diambil dari meteran energi ke kotak distribusi *miniature circuit breaker* (MCB). Komponen

## 3.3.2 Saklar Tekan/ *Push Button*

*Push Button* merupakan saklar yang digunakan untuk menyambung atau memutuskan bagian bagian pada rangkaian pengendali mesin listrik. Penggunaan *push button* ini biasa digunakan sebagai perintah kendali *start*, *stop*, dan *emergency* pada rangkaian. Konstruksi push button terdiri dari 2 buah kontak yaitu *normally open* (NO) dan *normally close* (NC).



Gambar 3.11 Push Button / Saklar Tekan

Prinsip kerjanya jika saklar ditekan maka pada kontak NO akan menjadi terhubung pada 2 titik kontak NO, sedangkan untuk kontak NC sebaliknya jika saklar ditekan maka akan menjadi terputus pada 2 titik kontak NC. Kontak NO ini digunakan sebagai *start* atau untuk menjalankan rangkaian, sedangkan kontak NC akan digunakan untuk *stop* atau mengentikan kerja rangkaian.

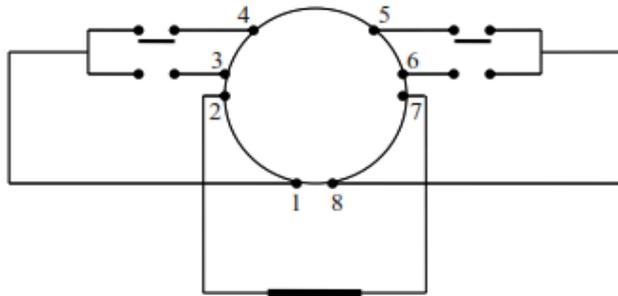
## 3.3.3 *Time Definite Relay* (TDR)

Relay penunda waktu atau *Time Definite Relay* (TDR) digunakan untuk memperoleh periode waktu yang dapat distel/diatur menurut kebutuhan (ditentukan waktunya). Setelah diatur, TDR tidak boleh diubah lagi sampai pada saatnya (sesuai dengan waktu yang telah

ditentukan) posisinya akan berubah sendiri. TDR dapat digunakan untuk instalasi sistem otomatis, seperti:

1. Merubah hubungan dari bintang ke segitiga secara otomatis,
2. Merubah arah putar motor secara otomatis,
3. Merubah kecepatan putaran motor secara otomatis.

Sesuai dengan Gambar 3.11, ara kerja TDR yaitu jika arus dialirkan pada titik 2 – 7 (kumparan) dan waktunya sudah diatur maka posisi semula titik 3 – 1 dan titik 6 – 8 terbuka sedangkan titik 4 – 1 dan titik 5 – 8 tertutup. Setelah waktunya sudah tercapai maka posisi sekarang menjadi 3 – 1 dan titik 6 – 8 menutup serta titik 4 – 1 dan titik 5 – 8 membuka. Posisi tersebut akan tidak berubah, kecuali aliran listriknya terputus posisinya akan kembali seperti semula.



Gambar 3.12 Konstruksi *Time Definite Relay* (TDR)

### 3.3.4 *Thermal Overload Relay* (TOR)

*Thermal Overload Relay* (TOR) berfungsi sebagai proteksi rangkaian kendali mesin listrik dari beban lebih. TOR bekerja dengan menggunakan prinsip kerja bimetal. Apabila arus yang mengalir pada bimetal mengalami kenaikan dan melebihi arus nominal pada yang data dialirkan melalui bimetal tersebut maka

Peralatan di atas akan digunakan dalam perancangan instalasi listrik pada bangunan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Selain peralatan yang telah disebutkan di atas, ada satu peralatan yang merupakan gabungan dari beberapa komponen di atas, yaitu perlengkapan hubung bagi (PHB). Perlengkapan hubung bagi atau PHB adalah suatu perlengkapan untuk mengontrol dan membagi tenaga listrik dan melindungi rangkaian serta pemanfaatan rangkaian. Komponen penyusun PHB antara lain MCB, MCCB, saklar pemutus, transformator, indikator, dan lain sebagainya.

Berdasarkan keterangan di atas, PHB memegang peran sangat penting dalam sebuah bangunan. Beberapa fungsi PHB antara lain:

1. Sebagai penghubung rangkaian listrik satu dengan rangkaian lainnya.
2. Sebagai pengaman instalasi listrik di dalam sebuah bangunan dari gangguan dengan cara memutus arus berlebih yang akan mengalir ke dalam rangkaian instalasi bangunan.
3. Sebagai pembagi kelompok beban pada instalasi listrik suatu bangunan. PHB dapat membagi suplai daya listrik berdasarkan jumlah beban yang terdapat pada sebagian bangunan. Oleh karena itu, akan ada beberapa kelompok beban dalam sebuah bangunan.
4. Sebagai penyuplai daya listrik ke beban dan mendistribusikan daya listrik dari panel utama ke panel cabang sampai ke pusat beban.

Pada perancangan instalasi listrik pada bangunan terdapat beberapa peralatan yang diperlukan, antara lain:

1. KWH meter, adalah peralatan listrik yang digunakan untuk mengukur energi listrik yang digunakan pada suatu instalasi listrik,
2. Saklar, adalah peralatan listrik yang digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik. Saklar banyak sekali macamnya tergantung dari penggunaan dan kebutuhannya,
3. Kontak tusuk (stop kontak), adalah peralatan listrik yang digunakan untuk menghubungkan alat pemakai listrik yang dapat dipindah-pindahkan dengan saluran yang dipasang tetap atau tidak tetap. Kontak tusuk harus dibuat dari bahan yang tidak terbakar dan tahan lembab, dan harus cukup kuat,
4. Kabel, adalah penghantar listrik yang digunakan untuk menghubungkan peralatan listrik yang satu dengan yang lain. Kabel listrik banyak macamnya sesuai dengan bahan penyusun isolasi dan bahan hantarannya,
5. Lampu pijar, merupakan sumber penerangan yang di dalamnya berupa hampa udara ataupun gas,
6. Lampu TL (neon), sumber penerangan di mana cahaya diperoleh karena ionisasi,
7. Kotak hubung, adalah peralatan listrik yang digunakan sebagai terminal bantu untuk penyambungan rangkaian instalasi listrik. Di dalam instalasi listrik, penyambungan kabel hanya boleh dilakukan di dalam kotak hubung, di mana sambungannya harus baik dan kuat.

bimetal akan panas yang mengakibatkan bimetal menjadi bengkok. Saat bimetal mengalami pembengkokan tersebut maka akan memutuskan arus yang mengalir ke moesin listrik yang dikendalikan.

Pada saat kondisi bimetal tersebut masih panas dan kondisi bimetal masih bengkok maka rangkaian tidak dapat dioperasikan walaupun direset, apabila keadaan bimetal mulai dingin dan menjadi lurus kembali rangkaian baru dapat dioperasikan kembali dengan melakukan reset pengoperasian rangkaian.

### 3.3.5 Motor Induksi

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang penggunaannya banyak digunakan dalam keseharian baik di industri maupun dalam rumah tangga. Motor induksi yang paling banyak digunakan adalah motor induksi 1 fasa dan 3 fasa. Motor induksi 3 fasa dilayani dengan sumber tegangan 3 fasa dan paling banyak digunakan untuk kalangan industri. Motor induksi 1 fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air karena jenis motor ini memiliki keluaran daya yang rendah.



Gambar 3.13 Motor Induksi

Penamaan motor induksi ini berdasar pada jenis motor ini dioperasikan dengan menggunakan prinsip induksi medan magnet stator ke rotornya. Arus rotor pada motor induksi diperoleh dari adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus yang sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, sehingga akan memperbesar arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, apabila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Kerja motor induksi tergantung pada tegangan dan arus induksi pada rangkaian rotor dari rangkaian stator.

### 3.4. Penumbumian/ *Grounding*

*Grounding* atau penumbumian adalah suatu jalur langsung dari arus listrik menuju bumi atau koneksi fisik langsung ke bumi. Dipasanginya koneksi *grounding* pada instalasi listrik adalah sebagai pencegahan terjadinya kontak antara makhluk hidup dengan tegangan listrik berbahaya yang terekspos akibat terjadi kegagalan isolasi. Dalam PUIL 2000, dipakai istilah penumbumian, dan memiliki

pelayanannya, rencana penyambungan antara peralatan listrik dengan sarana pelayanannya, dan data teknis yang penting dari setiap peralatan listrik yang akan dipasang,

3. Diagram garis tunggal (*single line diagram*), adalah diagram yang menerangkan hubungan antara peralatan listrik dengan sarana pelayanannya yang digambarkan dengan satu garis,
4. Diagram garis banyak (*multi line diagram*), adalah diagram yang menerangkan hubungan antara peralatan listrik dengan sarana pelayanannya yang digambarkan dengan lebih dari satu garis.

Terdapat standarisasi dan peraturan-peraturan yang berlaku dan perlu dipatuhi dalam pemasangan instalasi listrik. Tujuan dari standarisasi adalah untuk mencapai keseragaman mengenai ukuran, bentuk mutu barang, cara menggambar dan cara kerja. Adanya jenis komponen yang beraneka ragam mengakibatkan proses instalasi juga semakin kompleks. Oleh karena itu, standarisasi yang mencakup wilayah yang luas menjadi suatu keharusan. Beberapa organisasi standarisasi internasional antara lain *International Electrotechnical Commission* (IEC), *International Organization for Standardization* (ISO), *International Electrical Electronic Engineering* (IEEE). Di Indonesia terdapat suatu standarisasi untuk produk industri yaitu Standar Industri Indonesia (SII). Untuk bidang teknik listrik arus kuat, terdapat peraturan dan standarisasi yang dibuat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang bekerja sama dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), yaitu Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL).

## 4.1 Pendahuluan

Korsleting listrik menjadi salah satu penyebab terjadinya kebakaran pada sebuah bangunan. Korsleting merupakan terputusnya arus listrik karena kawat yang bermuatan arus positif dan negatif bersentuhan sehingga terjadi hubungan pendek. Korsleting listrik menyebabkan adanya percikan api (*arcing*) yang dapat menimbulkan api yang lebih besar saat menyentuh bahan yang mudah terbakar. Korsleting dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh desain instalasi listrik yang kurang baik.

Instalasi listrik pada sebuah bangunan perlu dirancang dengan baik untuk kebutuhan keamanan. Selain itu, sebuah bangunan yang memiliki rancangan instalasi listrik yang baik memudahkan pengelola/ pemilik bangunan dalam melakukan perawatan jaringan instalasi listrik internal saat diperlukan. Gambar rancangan instalasi diperlukan dalam perawatan jaringan oleh pekerja instalasi yang berbeda-beda. Permasalahan jaringan internal akan lebih mudah ditemukan saat ada gambar instalasi listrik yang dapat terbaca.

Sebelum pemasangan suatu instalasi listrik, harus terlebih dahulu dibuat gambar- gambar perencanaannya berdasarkan daerah bangunan, di mana instalasinya akan dipasang. Gambar-gambar rencana tersebut harus jelas, artinya dapat dibaca dan dimengerti oleh orang lain. Gambar-gambar rencana instalasi tersebut antara lain:

1. Gambar situasi, yaitu gambar untuk menyatakan letak bangunan, di mana instalasinya akan dipasang, serta rencana penyambungan dengan jaringan PLN,
2. Gambar instalasi, yaitu gambar yang menerangkan tentang penempatan semua peralatan yang akan dipasang dan sarana

pengertian sebagai “*penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu*”.

Tujuan dilakukannya pemasangan *grounding* pada suatu instalasi listrik adalah sebagai berikut:

1. Untuk tujuan keselamatan, seperti yang dijelaskan sebelumnya, *grounding* berfungsi sebagai penghantar arus listrik langsung ke bumi atau tanah saat terjadi tegangan listrik yang timbul akibat kegagalan isolasi dari system kelistrikan atau peralatan listrik. Contohnya, bila suatu saat kita menggunakan setrika listrik dan terjadi tegangan yang bocor dari elemen pemanas di dalam setrika tersebut, maka tegangan yang bocor tersebut akan mengalir langsung ke bumi melalui penghantar *grounding*. Dan kita sebagai pengguna akan aman dari bahaya kesetrum. Perlu diingat, peristiwa kesetrum terjadi bila ada arus listrik yang mengalir dalam tubuh kita,
2. Dalam instalasi penangkal petir, sistem *grounding* berfungsi sebagai penghantar arus listrik yang besar langsung ke bumi. Dalam praktiknya, pemasangan *grounding* untuk instalasi penangkal petir dan instalasi listrik rumah harus dipisahkan,
3. Sebagai proteksi peralatan elektronik atau instrumentasi sehingga dapat mencegah kerusakan akibat adanya bocor tegangan.

Aliran arus listrik dari petir ke tanah dilakukan dengan elektrode bumi. Elektrode bumi merupakan penghantar yang ditanam dalam

bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektrode bumi. Terdapat beberapa jenis elektrode bumi diantaranya:

1. Elektrode pita adalah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 3.X, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1,0 m.
2. Elektrode batang ialah elektrode dari pipa besi atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah.
3. Elektrode pelat ialah elektrode dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam.
4. Bila persyaratannya dipenuhi, jaringan pipa air minum dari logam dan selubung logam kabel yang tidak diisolasi yang langsung ditanam dalam tanah, besi tulang beton atau konstruksi baja bawah tanah lainnya boleh dipakai sebagai elektrode bumi.

Terdapat berbagai macam media sebagai isolator dalam *grounding*. Tabel 3.4 menunjukkan hubungan jenis media isolator dan nilai resistansi yang dimiliki.

## GAMBAR INSTALASI BANGUNAN

### Capaian Pembelajaran:

Bab ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami dan mempraktikkan cara menggambar instalasi kelistrikan pada sebuah bangunan rumah tinggal serta memahami segitiga daya. Materi pada bab ini mencakup diagram pengkabelan/ *wiring diagram*, diagram kawat tunggal/ *single line diagram* (SLD), audit energi listrik, dan segitiga daya. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mendesain kelistrikan pada sebuah bangunan serta, memahami kriteria bangunan yang dinilai boros, dan mendesain segitiga daya yang optimal melalui perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor.

*relay* (TDR), *thermal overload relay* (TOR), motor induksi, dan lain sebagainya.

6. *Grounding*/ pbumian merupakan suatu jalur langsung dari arus listrik menuju bumi atau koneksi fisik langsung ke bumi.
7. *Grounding*/ pbumian memerlukan peralatan yang disebut sebagai elektrode yang merupakan penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi.
8. Salah satu parameter yang penting dalam sistem pbumian adalah tahanan pentanahan yang merupakan besarnya nilai resistansi dari media pbumian.
9. Standar besar resistansi tanah untuk elektrode pentanahan  $\pm 5$  ohm.

## LATIHAN SOAL

1. Sebutkan persyaratan yang harus dipenuhi oleh komponen instalasi listrik yang akan dipasang!
2. Pada beberapa jenis peralatan proteksi instalasi listrik menggunakan bahan bimetal. Jelaskan bagaimana bahan bimetal dapat digunakan pada peralatan proteksi tersebut!
3. Jelaskan pengaruh KHA pada kabel yang akan dipasang dengan daya yang terpasang pada suatu instalasi listrik rumah tinggal!
4. Jelaskan karakteristik *magnetic contactor*!
5. Bagaimana proses motor induksi 3 fasa bisa bekerja!

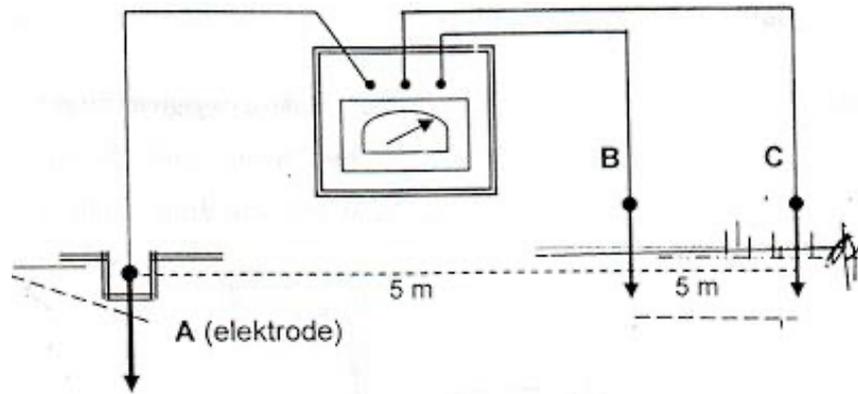
Tabel 3.4 Nilai resistansi tanah

| Jenis Tanah                 | Resistansi Tanah<br>(ohm m) |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Tanah rawa                  | 10-40                       |
| Tanah liat dan tanah ladang | 20-100                      |
| Pasir basah                 | 50-200                      |
| Kerikil basah               | 200-300                     |
| Pasir/ kerikil kering       | <1000                       |
| Tanah berbatu               | 2000-3000                   |
| Air laut dan air tawar      | 10-100                      |

Salah satu parameter utama *grounding* adalah tahanan pentanahan. Beberapa parameter yang diperlukan untuk mendapatkan nilai resistansi elektrode pentanahan antara lain:

1. Resistivitas tanah,
2. Resistivitas air tanah
3. Dimensi elektroda pentanahan

Pemasangan *grounding* harus dilakukan pengujian terhadap sistem *grounding* yang dipasang. Kualitas sistem *grounding* dapat diketahui menggunakan *earth tester*. Sesuai Gambar 3.11, pengujian menggunakan *earth tester* dilakukan dengan langkah Probe A dihubungkan dengan elektrode. Probe B dan C ditancapkan ketanah dengan jarak antara 5 - 10 m. Alat ukur akan menunjukkan besar dari resistansi tanah.



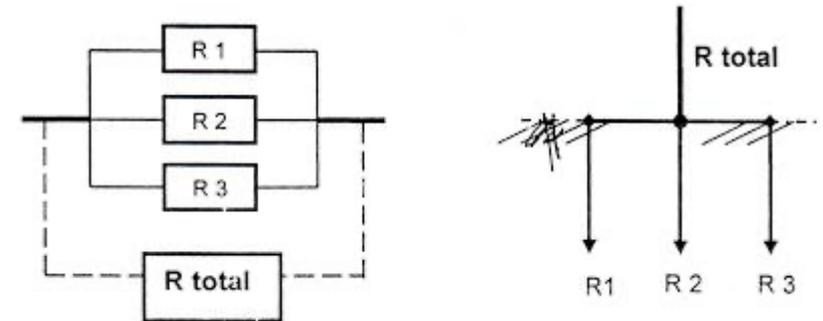
Gambar 3.14 Pengukuran nilai resistansi tanah

Elektrode B sering disebut sebagai elektrode potensial karena membaca tegangan di titik elektrode B. Sedangkan elektrode C adalah elektrode arus karena berfungsi menginjeksi arus di titik elektrode C. Pentanahan paling ideal apabila elektrode mencapai sumber air atau resistansi tanah bernilai 0 ohm. Standar besar resistansi tanah untuk elektrode pentanahan  $\pm 5$  ohm. Apabila belum mencapai 5 ohm, maka elektrode bisa ditambah dipasang secara paralel.

Pada pemasangan paralel berikut dilakukan dengan contoh kasus berikut:

Pada pemasangan elektrode pertama (R1), didapatkan hasil pengukuran resistansi tanah sebesar 12 ohm. Sehubungan dengan nilai resistansinya belum mencapai 5 ohm, maka akan dipasang elektrode kedua (R2) yang memiliki kriteria yang sama dengan elektrode pertama. Pada kondisi ini nilai resistansi pentanahan yang didapatkan sebesar 6 ohm. Pada kondisi tersebut (nilai tahanan pentanahan lebih besar dari 5 ohm), pada saat ditambahkan elektrode ketiga, nilai

tahanan pentanahan akan menjadi 4 ohm. Prinsip tersebut dapat dijelaskan melalui Gambar 3.12.



Gambar 3.15 Metode perhitungan tahanan pentanahan

## KESIMPULAN

1. Beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan dalam instalasi listrik antara lain keandalan, keamanan, kemudahan, ketersediaan, keindahan, ekonomi, dan pengaruh lingkungan.
2. Kabel penghantar yang digunakan dalam suatu instalasi listrik perlu disesuaikan dengan nilai kemampuan hantar arus (KHA) yang berlaku. Hal ini bertujuan untuk menjamin keamanan instalasi listrik dari bahaya arus lebih yang dapat terjadi.
3. Pemilihan tipe kabel penghantar berdasarkan bahan pembuatnya dapat dilakukan dengan melihat huruf yang tercantum pada kabel.
4. Pada instalasi listrik rumah tinggal diperlukan peralatan pengaman seperti *miniature circuit breaker* (MCB) dan sekering.
5. Beberapa komponen yang digunakan dalam instalasi tenaga adalah kontaktor magnet, saklar tekan/ *push button*, *time definite*