

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gereja merupakan salah satu tempat ibadah yang penting bagi umat beragama dalam berbagai tradisi keagamaan. Selain menjadi tempat untuk beribadah, gereja juga sering digunakan untuk berbagai kegiatan sosial, pendidikan, dan kegiatan komunitas lainnya. Dalam menjalankan aktivitasnya, gereja membutuhkan sistem instalasi yang baik dan efisien untuk mendukung kegiatan ibadah dan kegiatan lainnya. Namun, dalam beberapa kasus, banyak gereja yang masih menggunakan sistem instalasi yang kurang memadai atau sudah usang, yang dapat mengakibatkan berbagai masalah teknis dan keamanan. Misalnya, sistem listrik yang tidak stabil dapat mengganggu jalannya ibadah, sistem pendingin atau pemanas udara yang tidak berfungsi dengan baik dapat mengganggu kenyamanan jemaat, dan masalah lainnya yang dapat mempengaruhi jalannya ibadah dan kegiatan gereja secara keseluruhan.

Oleh karena itu, penilaian terhadap instalasi gereja yang baik dan efisien menjadi penting untuk memastikan kelancaran dan kualitas ibadah serta kegiatan lainnya di dalam gereja. Evaluasi yang komprehensif terhadap sistem instalasi seperti listrik, pendingin udara, tata suara, pencahayaan, dan infrastruktur lainnya diperlukan untuk mengidentifikasi kekurangan dan potensi perbaikan yang dapat dilakukan.

Saat ini listrik menjadi hal penting dan keberadaannya menjadi pendukung untuk mewujudkan suatu pembangunan. Banyak aktifitas kesejahteraan mempergunakan energi listrik. Peningkatan kemakmuran masyarakat serta upaya mendorong peningkatan taraf hidup tidak terlepas dari penyediaan tenaga listrik. Pentingnya energi listrik bagi masyarakat dapat ditunjukkan dengan besarnya penggunaan listrik oleh masyarakat baik untuk konsumsi rumah tangga maupun industri dan perdagangan dalam skala lokal maupun nasional (Chandra Septian, 2013).

Pemadaman listrik dapat diakibatkan krisis energi listrik benar-benar terjadi, banyaknya pembangkit listrik milik PT. PLN (Persero) yang tersebar di pelosok

tanah air tidak mampu memasok kebutuhan konsumen yang semakin hari semakin meningkat. Jumlah daya yang disalurkan sebenarnya cenderung stabil, akan tetapi jumlah pengguna atau konsumen listrik terus meningkat di setiap harinya. Pemadaman dapat diakibatkan oleh gangguan diluar perkiraan manusia, misalnya pohon tumbang dan menjatuhkan tiang atau kabel listrik. Pemadaman listrik juga dapat diakibatkan oleh pemeliharaan jaringan PT. PLN (Persero) terhadap trafo, kabel dan alat penunjang lainnya yang harus mendapat perawatan berkala untuk dapat tetap beroperasi sesuai keadaan normal (Chandra Septian, 2013).

Dalam beberapa bulan terakhir ini, dikutip dalam web berita Sulsel mengenai pln menjelaskan mengenai penyebab makassar sering mati lampu, sering terjadi pemadaman listrik secara bergilir di Kota Makassar dan sejumlah daerah di Sulawesi Selatan (Sulsel) meskipun sudah mulaimasuk musim hujan. PLN menyebut pemadaman terpaksa harus dilakukan karena pasokan listrik berkurang. General Manager PLN Unit Induk Distribusi Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Barat (UID Sulselrabar), Moch Andy Adchaminoerdin mengatakan PLN terpaksa melakukan manajemen beban akibat cuaca ekstrim. Khususnya panas yang berkepanjangan sehingga mengakibatkan kondisi debit air yang menjadi sumber utama Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) turun drastis dan mengakibatkan berkurangnya pasokan listrik.

Ditinjau dari segi ekonomi maka sistem tenaga listrik yang diusulkan ini memiliki kelebihan yaitu biaya operasional sangat rendah dibandingkan teknologi pembangkit yang ada saat ini, namun juga mempunyai kekurangan dari segi biaya produksi untuk sistem photovoltaic ini pembangkit listrik tenaga surya terbilang mahal, pembangkit ini harus memiliki perangkat-perangkat pendukung seperti inverter, solar array, baterai, generator diesel sebagai pendukungnya (Paisal dan Fauzi, 2013).

Perencanaan dan pelaksanaan instalasi listrik untuk suatu gedung, perumahan atau bangunan-bangunan lain, haruslah mengacu pada peraturan dan ketentuan yang berlaku. PUIL 2014 dan Undang–Undang Ketenagalistrikan 2002 adalah beberapa contoh acuan yang digunakan untuk perencanaan dan pelaksanaan instalasi listrik. Gedung dan perumahan mewah biasanya membutuhkan energi

listrik yang cukup besar melebihi dari kebutuhan listrik untuk perumahan biasa. Pendistribusian daya dan instalasi listrik harus diperhitungkan sebaik mungkin dengan merujuk banyak aspek, agar energi listrik dapat terpenuhi dengan baik. Selain peraturan dan ketentuan yang berlaku faktor lain yang dipertimbangkan adalah estetika keindahan. Tidak bisa dipungkiri alam menjadi salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan (Prihardanta, 2019).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana mengevaluasi instalasi listrik yang baik dan sumber energi di Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.
- 2) Bagaimana merancang PLTS untuk sistem *Back-Up* energi listrik pada Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.
- 3) Bagaimana merancang peralatan sistem *hybrid* PLN dan PLTS untuk Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

- 1) Membuat analisis dan evaluasi instalasi listrik Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.
- 2) Merancang PLTS untuk sistem *Back-Up* energi listrik pada Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.
- 3) Merancang peralatan sistem *hybrid* PLN dan PLTS untuk Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bentuk pelayanan untuk pengembangan dalam pembangunan infrastruktur gedung Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri. Kemudian dapat digunakan untuk membantu *Back-Up* sistem kelistrikan di gereja jika terjadi masalah kelistrikan pada saat beribadah.

Pengevaluasian instalasi listrik gedung gereja juga bertujuan agar para anggota jemaat dapat beribadah dengan nyaman.

1.5 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini difokuskan pada Gereja Toraja Jemaat Tiatira Malengkeri Klasik Makassar.
- 2) Memastikan PLTS dapat menjadi sumber *back-up*.
- 3) Perancangan PLTS menggunakan sistem *hybrid* dengan menggunakan *Automatic Transfer Switch (ATS)*.
- 4) Memastikan instalasi listrik pada gereja sesuai dengan PUIL.
- 5) Data hanya difokuskan sesuai dengan yang diperoleh di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Alternatif

Istilah "energi alternatif" umumnya mengacu pada sumber energi seperti tenaga surya, tenaga angin, dan tenaga air. Ini adalah sumber daya terbarukan yang tidak berpolusi yang merupakan alternatif dari sumber bahan bakar fosil tradisional seperti batubara, minyak, dan gas alam. Istilah "energi alternatif" kurang lebih identik dengan istilah seperti "energi terbarukan" dan "energi bersih". Energi alternatif dianggap “terbarukan” karena sumber energinya tidak terbatas seperti bahan bakar fosil. Setelah dibakar, bahan bakar fosil membutuhkan waktu ratusan juta tahun untuk pulih kembali. Sumber seperti angin, air, dan matahari diisi ulang setiap hari. Meskipun tidak berbasis bahan bakar fosil dan tidak menimbulkan polusi udara, tenaga nuklir biasanya tidak dianggap sebagai energi alternatif karena menghasilkan limbah radioaktif dalam jumlah besar (Parulian Siagian dkk, 2023).

Sumber energi yang tidak pernah habis merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui sebagai berikut: Energi Matahari, jumlah energi yang luar biasa banyaknya dihasilkan oleh matahari yang terletak berjuta-juta dari bumi (149 juta kilometer). Kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet bumi selama setahun dapat dipenuhi oleh energi yang dipancarkan matahari dan mencapai bumi setiap menitnya, jika bisa ditangkap dengan benar. Pemanfaatan tenaga surya juga dapat dengan cara-cara lain seperti sel surya (disebut sel “fotovoltaik”) yang mengkonversi cahaya matahari (Thamrin dkk, 2019).

Energi Angin, hembusan angin dapat menghasilkan energi angin. Penerapan energi angina untuk berbagai keperluan mulai dilakukan beberapa negara, termasuk digunakan sebagai sumber daya energi. Sejak dulu Belanda sudah memanfaatkan energi angina untuk digunakan sebagai sumber energi. Di Belanda kincir angina digunakan untuk memompa air irigasi. Baling-baling yang besar dan berat itu dapat menghasilkan tenaga yang besar. Listrik juga dapat dihasilkan dari energi angina dengan menggunakan kincir angin yang disambungkan menggunakan generator yang dapat menghasilkan energi mekanik atau listrik (Thamrin dkk, 2019).

Energi panas bumi, energi yang berasal dari panas yang terdapat di dalam bumi disebut energi panas bumi. Aktivitas vulkanik (gunung berapi) dapat menyebabkan munculnya panas bumi di permukaan bumi. Uap alam, air panas, dan batuan kering panas merupakan 3 sumber utama panas *geothermal*. Pemanfaatan uap *geothermal* telah dilakukan terutama untuk pembangkit listrik (Thamrin dkk, 2019).

Energi *Hydropower*, kekuatan air dapat menghasilkan energi listrik yang disebut *hydropower*. *Hydropower* direkayasa dengan membendung air sungai, kemudian air tersebut diarahkan menuju turbin menggunakan pipa. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) menerapkan prinsip tersebut. Jarak jatuhnya air ke turbin dan jumlah air yang mengalir merupakan prinsip dari stasiun pembangkit listrik tenaga air. Pasokan air sangat mempengaruhi operasional PLTA (Thamrin dkk, 2019).

2.2 Energi Matahari

Matahari dianggap sebagai benda yang memancarkan radiasi secara sempurna (*black body*) pada temperatur sekitar 5800 K. Rata-rata jumlah energi radiasi matahari yang sampai di permukaan atmosfer bumi pada permukaan datar tiap detik dikenal sebagai konstanta surya (*solar constant*) yang besarnya sama dengan 1367 W/m^2 . Secara umum total daya yang diterima dari sumber radiasi per satuan luas dinamakan irradiansi (*irradiance*). Ketika melintasi lapisan atmosfer jumlah ini berkurang sebagai akibat dari efek penyerapan dan hamburan oleh molekul-molekul udara, awan dan partikel-partikel lain di udara. Sebagian lagi mencapai permukaan bumi secara langsung yang disebut radiasi langsung (*beam radiation*), dan radiasi yang mengalami hamburan yang masih mencapai permukaan bumi disebut radiasi hamburan (*diffuse radiation*). Sebagian dari total radiasi yang mencapai permukaan bumi akan dipantulkan lagi oleh permukaan tersebut. Koefisien perbandingan antara radiasi yang mencapai permukaan dengan radiasi yang dipantulkan disebut *albedo*. Jumlah keseluruhan dari radiasi langsung, radiasi hamburan, dan *albedo* dinamakan radiasi global (*global radiation*) (Tarigan Elieser, 2020).

Cahaya merupakan bentuk lain dari energi yang terpancar dari matahari. Kita semua tahu bahwa tanpa cahaya matahari kita tidak bisa melihat. Ada hal yang menarik, cahaya juga bisa dikonversi menjadi tenaga listrik dengan menggunakan modul fotovoltaik yang disebut dengan modul PV atau panel surya. Sebenarnya matahari bisa menjadi sumber energi yang sempurna untuk menyediakan tenaga listrik yang diperlukan di seluruh dunia. Sayangnya energi yang berasal dari matahari tidak bersifat homogen. Setiap hari matahari terbit di timur dan ketika semakin meninggi di langit, maka volume energinya meningkat hingga mencapai puncaknya pada tengah hari (setengah rotasi antara terbit dan terbenam). Setelah itu (pada saat matahari bergerak ke arah barat), energi yang tersedia berkurang. Efek lain yang kita perlu ingat adalah bahwa bumi mengitari matahari sepanjang tahun (Contained Energy Indonesia, 2010).

Sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic. Sel surya mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis. Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (sel fotovoltaik) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya (Safitri Nelly dkk, 2019).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Panel surya merupakan suatu alat yang mampu merubah sinar matahari menjadi energi listrik, panel surya terbuat dari bahan semikonduktor dengan bahan silikon dan dilapisi dengan bahan khusus. Panel surya bekerja dengan menangkap sinar matahari, ketika sinar matahari telah diterima oleh panel surya maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Untuk efisiensi kinerja panel surya tergantung dari berapa besarnya intensitas sinar matahari yang berhasil ditangkap oleh panel surya (*photovoltaic*). Semakin tinggi intensitas sinar matahari yang ditangkap maka efisiensi energi listrik yang dihasilkan akan lebih baik (Ridwan dkk, 2021).

Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (sel fotovoltaik) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5-4,8 KWh/m²/hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem (Safitri Nelly dkk, 2019).

Dalam merencanakan pembangunan PLTS terlebih dahulu diperhitungkan beban dari PLTS sehingga kita dapat menghitung kapasitas listrik tenaga surya yang akan dibangun. Berikut contoh perhitungan sederhana kebutuhan daya yang digunakan, kapasitas panel dan banyaknya panel yang digunakan dan kebutuhan baterai dengan daya menyimpanannya.

Instalasi pembangkit listrik dengan tenaga surya membutuhkan perencanaan mengenai kebutuhan daya:

- a. Jumlah Pemakaian
- b. Jumlah Panel surya/*solar cell*
- c. Jumlah baterai

Berikut perhitungannya jumlah pemakaian daya, jumlah panel surya dan jumlah baterai yang digunakan.

a. Perhitungan keperluan daya (perhitungan daya listrik perangkat dapat dilihat pada label di belakang perangkat, ataupun dibaca dari manual).

b. Perhitungan jumlah kebutuhan modul yang digunakan: (Safitri Nelly dkk, 2019).

$$\text{Rumus: } n = \frac{W}{WP \times ESH} \quad (1)$$

Dimana: W: daya yang direncanakan

WP: Kapasitas Daya Modul

ESH: Efisiensi Sinar matahari Harian

c. Kebutuhan baterai minimum (baterai hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik), dengan demikian kebutuhan daya kita kalikan 2 x lipat.

$$\text{Rumus: } Tb = \frac{W \times 2}{C} \quad (2)$$

Dimana: W: daya yang direncanakan

C: Kapasitas Baterai

Tb: Kebutuhan Baterai

Teknologi Solar Photovoltaic (PV) menawarkan metode yang nyaman untuk konversi sinar matahari, tersedia dalam jumlah besar selama sebagian besar tahun ini, langsung menjadi listrik. Teknik konversi sinar matahari langsung menjadi listrik oleh sel surya yang menggunakan efek Photovoltaic ramah lingkungan, mudah dirawat dan dioperasikan (Safitri Nelly dkk, 2019).

Secara teknologi, industri fotovoltaic (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lain. Terdapat tiga jenis PLTS yang sering ditemui, yaitu *PLTS off-grid*, *PLTS on-grid*, serta *PLTS Hybrid* dengan teknologi lainnya; yang dibedakan berdasarkan karakteristik penyimpanan dayanya. Selain itu, PLTS juga dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listriknya; yang meliputi PLTS terpusat dan PLTS tersebar/terdistribusi (Anonim, 2016).

Table 1 Jenis-jenis PLTS

	PLTS <i>Off-grid</i>	PLTS <i>On-grid</i>	PLTS <i>Hybrid</i>
Deskripsi	Sistem PLTS yang <i>output</i> daya listriknya secara mandiri mensuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhuung dengan jaringan listrik PLN.	Bisa beroperasi tanpa baterai karena <i>output</i> listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkit lainnya (misal: jaringan PLN).	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lain (mis, PLTD/ Pusat Listrik Tenaga Diesel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu).
Baterai	Dibutuhkan. Agar bisa memberikan suplai sesuai kebutuhan beban.	Tidak dibutuhkan.	Bisa <i>off-grid</i> (dengan baterai) atau <i>on-grid</i> (tanpa baterai).
Manfaat	Menjangkau daerah yang belum ada jaringan PLN.	Berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama	Memaksimalkan penyediaan energi dan berbagai potensi sumber daya yang ada
PLTS Terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap hunian pelanggan.		
PLTS Tersebar/Terdistribusi	PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri.		
	Contoh PLTS <i>off-grid</i> tersebar: <i>Solar Home System</i> (SHS).	Contoh PLTS <i>on-grid</i> tersebar: <i>Solar PV Rooftop</i>	

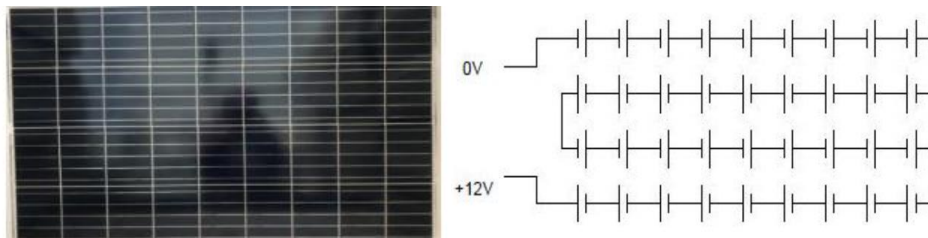
Sumber: Tetra Tech ES, Inc., "Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat." 2018

2.4 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Terdapat beberapa komponen inti PLTS yang digunakan agar dapat memberikan fungsi sesuai yang diharapkan.

1) Panel Surya.

Merupakan komponen utama yang harus ada dalam sistem pembangkit listrik surya. Sel surya inilah yang berfungsi untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Kualitas sebuah modul surya, antara lain dinilai berdasarkan efisiensinya untuk mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC. Namun karena banyak beban listrik yang membutuhkan suplai listrik AC, maka listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya harus dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC.



Gambar 1 Panel surya (Sumber: Ridwan dkk, 2021)

2) Inverter

Listrik yang dihasilkan dari *Solar System* adalah listrik arus searah / *direct current* (DC), sedangkan peralatan listrik yang kita gunakan kebanyakan menggunakan listrik arus tidak searah (*alternating current* (AC), karena itu agar peralatan listrik AC kita dapat tepa beroperasi menggunakan listrik hasil dari solar sistem, maka harus menggunakan *inverter*, yaitu alat untuk mengubah arus searah menjadi arus tidak searah, dan tegangannya disesuaikan dengan tegangan yang dibutuhkan (Safitri Nelly dkk, 2019).



Gambar 2 Inverter (Sumber: Ridwan dkk, 2021)

3) Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan proses pengisian *battery*, mencegah *battery* dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses *discharge*. Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan *charge controller* ini adalah besarnya tegangan dan daya yang dikeluarkan modul surya dan yang dapat diterima *battery*. Satuan untuk tegangan adalah Volt, sedangkan kuat arus dalam ampere, misalnya 12volt/10A (Safitri Nelly dkk, 2019).



Gambar 3 Solar charge controller (Sumber: Ridwan dkk, 2021)

4) Battery

Battery berfungsi untuk menyimpan sementara listrik yang dihasilkan modul surya, agar dapat digunakan pada saat energi matahari tidak ada (malam hari atau cuaca), besaran kemampuan menyimpan arus listrik diukur dalam satuan watt jam (*watthour/WH*). Besarnya kemampuan menyimpan arus listrik ditentukan dari berapa besar kebutuhan daya listrik dan kemampuan modul surya dalam mengisi *battery*. Fungsi baterai di sini lebih sebagai cadangan atau backup, jadi baterai lebih jarang dipergunakan, karena kebutuhan listrik akan dipenuhi langsung dari panel surya, baterai akan dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan listrik (malam hari) dan jaringan PLN mengalami pemutusan listrik. (Safitri Nelly dkk, 2019).



Gambar 4 Battery (Sumber: Safitri Nelly dkk, 2019)

2.5 Instalasi Listrik

Instalasi listrik adalah suatu sistem yang digunakan untuk menyalurkan aliran listrik guna memenuhi kebutuhan manusia. Sebuah instalasi listrik harus memenuhi standar dan undang-undang yang berlaku di Indonesia. Ketentuan mengenai instalasi listrik sudah terangkum dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan ketentuan-ketentuan lainnya. Persyaratan ini dimaksudkan untuk menciptakan keselamatan manusia dan harta benda terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh kelistrikan dan untuk menerapkan fungsi yang benar dari instalasi listrik tersebut. Disamping itu, perlu diperhatikan juga prinsip dasar dalam pemasangan instalasi listrik, antara lain: keandalan, ketercapaian, ketersediaan, keindahan, ekonomis, keamanan (Putrapasa G, 2022).

Instalasi listrik pada dasarnya terbagi atas dua yaitu instalasi penerangan dan instalasi daya. Bila beban yang dilayani pada suatu instalasi listrik berupa lampu, maka disebut instalasi penerangan. Sedangkan disebut instalasi daya, apabila motor-motor listrik serta peralatan-peralatan yang menggunakan daya listrik dipasang pada suatu instalasi listrik disebut instalasi daya (Saleh & Rudini, 2018).

2.6 Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan harus disesuaikan dengan jenis atau pekerjaan apa yang akan diterangi, seperti halnya untuk penerangan pada ruangan belajar dibutuhkan cahaya yang lumayan terang agar dapat lebih efisien. Pada umumnya tinggi bidang kerja diambil kurang lebih 0,8 meter (P Van. Harten, Ir.E Setiawan), Flux cahaya yang dipancarkan oleh lampu-lampu penerangan tidak semuanya mencapai bidang kerja karena sebagian flux cahayanya dipantulkan ke dinding dan langit-langit. Pada proses penyebaran cahaya yang keluar dari suatu sumber cahaya tergantung pada bentuk konstruksi sumber cahaya itu sendiri, dan berhubungan pula dengan bentuk atau konstruksi armatur yang digunakan (Fadjrin, 2022).

Flux cahaya merupakan sinar yang dipancarkan dari suatu sumber cahaya tiap satu detik, satuannya yaitu lumen/lux. Flux cahaya tiap sudut ruangan yang dipancarkan ke suatu arah tertentu dinamakan intensitas cahaya. Sedangkan luminasi adalah suatu ukuran terang pada sebuah benda baik sumber cahaya

maupun pada suatu permukaan. Hal ini sangat penting untuk di ketahui karena merupakan karakteristik penerangan yang kita inginkan, tingkat nyaman. Pencahayaan ada 2 macam yaitu sumber cahaya alami (matahari) dan buatan (lampu). Cahaya buatan manusia harus dilihat dari segi kualitas dan kuantitasnya, karena cahaya yang dihasilkan sangat mempengaruhi kenyamanan kita di suatu tempat. Manusia dapat melakukan aktivitasnya dengan baik dan dapat mencapai hasil yang maksimal jika lingkungannya mendukung. Salah satu factor pendukung yang paling penting yaitu penahayaan. Pencahayaan yang baik adalah pencahayaan yang dapat kita lihat objeknya dengan cepat, jelas dan tanpa alat bantu. Hal-hal yang memetukan penerangan baik yaitu 1) pembagian lumensi dalam lapanga penglihatan 2) pecegahan kesilauan 3) panas penerangan terhadap keadaan lingkugan 4) awah sinar dan warna (Sudarti & Putri, 2022).

Tabel 2 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna Yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan	Renderasi warna minimum
Rumah Tinggal		
Teras	40	80
Ruang tamu	150	80
Ruang keluarga	100	80
Ruang makan	100	80
Ruang kerja	350	80
Kamar tidur	50	80
Kamar mandi	100	80
Laundy	200	80
Tangga	100	80
Gudang	50	80
Dapur	250	80
Garasi	50	80
Perkantoran		
Ruang resepsionis	300	80
ruang direktur	350	80

Lanjutan Tabel 2 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna Yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan	Renderasi warna minimum
Ruang kerja	350	80
Ruang computer	150	80
Ruang rapat	300	80
Ruang gambar	750	90
Gudang arsip	150	80
Ruang arsip aktif	350	80
Ruang tangga darurat	100	80
Ruang parkir	100	80
Lembaga Pendidikan		
Ruang kelas	350	80
Ruang baca perpustakaan	350	80
Laboratorium	500	90
Ruang praktek komputer	500	80
Ruang laboratorium bahasa	300	80
Ruang guru	300	80
Ruang olahraga	300	80
Ruang gambar	750	80
Ruang auditorium	300	80
Lobby	100	80
Tangga	100	80
kantin	200	80
Restaurant		
Restaurant cepat saji	250	80
<i>Fine Dining</i>	30	80
Cafetaria	150	80
<i>Ceffe shop</i>	100	80
<i>Lounge</i>	100	80

Lanjutan Tabel 2 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna Yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan	Renderasi warna minimum
Kasir	300	80
Ruang pembersih	100	80
Dapur	250	90
Toilet	200	80
Hotel		
Ruang resepsionis	200	80
lobi	200	80
Ruang serbaguna	250	80
Ruang rapat	250	80
Ruang makan	250	80
Kafetaria	200	80
Kamar tidur	150	80
Koridor	100	80
dapur	300	90
Rumah Sakit / Balai Pengobatan		
Ruang tunggu	200	80
Kasir	300	80
Apotik	750	90
Ruang radiologi	500	90
Ruang rawat inap	350	80
Ruang operasi	1.000	90
Ruang bersalin	1.000	90
Laboratorium	500	90
Ruang rekreasi dan rehabilitas	250	80
Ruang koridor	150	80
Ruang kantor staff	350	80
Kamar mandi & toilet pasien	200	80
Bandara		
ATM	200	80

Lanjutan Tabel 2 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna Yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan	Renderasi warna minimum
Conveyer bagasi	200	80
Ruang pemeriksaan imigrasi	300	80
Tangga berjalan (escalator)	50	80
ruang tunggu (gate areas)	150	80
Tickets counters	300	80
Toilet	200	80
Pertokoan / Ruang Pamer		
Ruang pamer dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	80
Area penjualan kecil	300	80
Area penjualan besar	300	80
Area kasir	300	80
Toko kue dan makanan	250	90
Toko bunga	250	90
Toko bunga dan alat tulis/gambar	300	80
Toko perhiasan, arloji	500	90
Toko barang kulit dan Sepatu	500	90
Toko pakaian	500	90
Pasar swalayan	500	80
Toko mainan	500	90
Toko alat listrik (TV, radio/tape, mesin cuci dan lain-lain)	250	80
Toko alat music dan olahraga	250	80
Industry		
Gudang	100	80
Pekerjaan kasar	200	80
Pekerjaan menengah	500	80

Lanjutan Tabel 2 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna Yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan	Renderasi warna minimum
Pekerjaan halus	1.000	90
Pekerjaan amat halus	2.000	90
Pemeriksaan warna	750	90
Rumah Ibadah		
Ruang ibadah	200	80
Gudang	100	80
Kantor / Ruang kerja	300	80

Sumber: SNI, 2020

Faktor –faktor yang mempengaruhi penentuan jumlah titik cahaya pada suatu ruangan:

- 1) Macam penggunaan ruangan (fungsi ruangan), setiap macam penggunaan ruangan mempunyai kebutuhan kuat penerangan yang berbeda-beda.
- 2) Ukuran ruangan, semakin besar ukuran ruangan maka semakin besar pula kuat penerangan yang dibutuhkan.
- 3) Keadaan dinding dan langit-langit (faktor refleksi), berdasarkan warna cat dari dinding dan langit-langit pada ruangan tersebut memantulkan ataukah menyerap cahaya.
- 4) Macam jenis lampu dan armatur yang dipakai, tiap-tiap lampu dan armatur memiliki konstruksi dan karakteristik yang berbeda.

Letak dan jumlah lampu pada suatu ruangan harus dihitung sedemikian rupa, sehingga ruangan tersebut mendapatkan sinar yang merata. Dan manusia yang berada didalam ruangan tersebut menjadi nyaman, penerangan untuk ruangan kerja harus dirancang sedemikian rupa sehingga pengaruh dari penerangan tidak membuat cepat lelah mata (Dermawan, 2017).

Pemanfaatan intensitas cahaya pada suatu tempat berbeda-beda tergantung pada aktivitas seperti apa yang akan dilakukan menggunakan tempat itu dan berapa luas tempat tersebut supaya dapat mengetahui jumlah intensitas cahaya yang dibutuhkan. Menurut, SNI 03-7062-2004 tingkat pencahayaan yang baik untuk tempat tinggal atau ruang kerja adalah 250 lux, perkantoran 350 lux. Penyebaran

cahaya dari suatu cahaya bergantung pada sumber cahaya yang digunakan dan armaturenya. Kebanyakan cahaya yang ditangkap oleh mata bukan merupakan sumber langsung dari sumber cahaya yang di lihat. Namun, berasal dari sumber cahaya. Untuk penerangan secara umum terdapat 3 jenis penyebaran yaitu penyebaran langsung, penyebaran tak langsung dan penyebaran campuran (Sudarti & Putri, 2022).

2.7 Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Dalam merancang, memasang dan mengoperasikan suatu instalasi listrik, ada enam prinsip-prinsip dasar yang harus diperhatikan yaitu: (Saleh & Rudini, 2018).

1) Keamanan (*safety*)

Ditujukan untuk keselamatan manusia, ternak dan harta benda. Pemeriksaan dan inspeksi/pengawatan dari instalasi sebelum digunakan atas disambung. Dan setiap perubahan yang penting perlu dlberl tanda/kode ontuk keamanan dalam pekerjaan-pekerjaan selanjutnya.

2) Keandalan (*reliability*)

Keandalan yang tinggi digunakan untuk mengatasi kerusakan dalam batas-batas normal termasuk dari kesederhanaan suatu sistem, misalnya mudah untuk dimeagerti dan dioperasikan dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat. Untuk selanjutnya dapat digabungkan dengan peralatan-peralatan listrik.

3) Kemudahan tercapai (*accessibility*)

Semua peralatan, termasuk pengawatan akan diatur menurut operasinya, pemeriksaan, pengawasan, pemeliharaan, dan perbaikan serta mudah dalam menghubungkannya. Perinciannya tercantum dalam label atau sejenisnya, yang menunjukkan penggunaan "*switchgear*" dan "*controlgear*" agar menghindari dari kesimpangsiuran.

4) Ketersediaan (*availability*)

Pemberian daya yang kontinyu untuk para konsumen adalah sangat penting. Sumber daya (cadangan) diperlukan untuk memberikan daya seluruh atau sebagian dari be ban. Keluasan dart sistem listrik yaitu sistem listrik termasuk dapat di-

adakan perubahan jika diperlukan, diperbaharui dan perluasan keperluan-keperluan lain dimasa datang.

5) Pengaruh dari lingkungan (*impect on enviroment*)

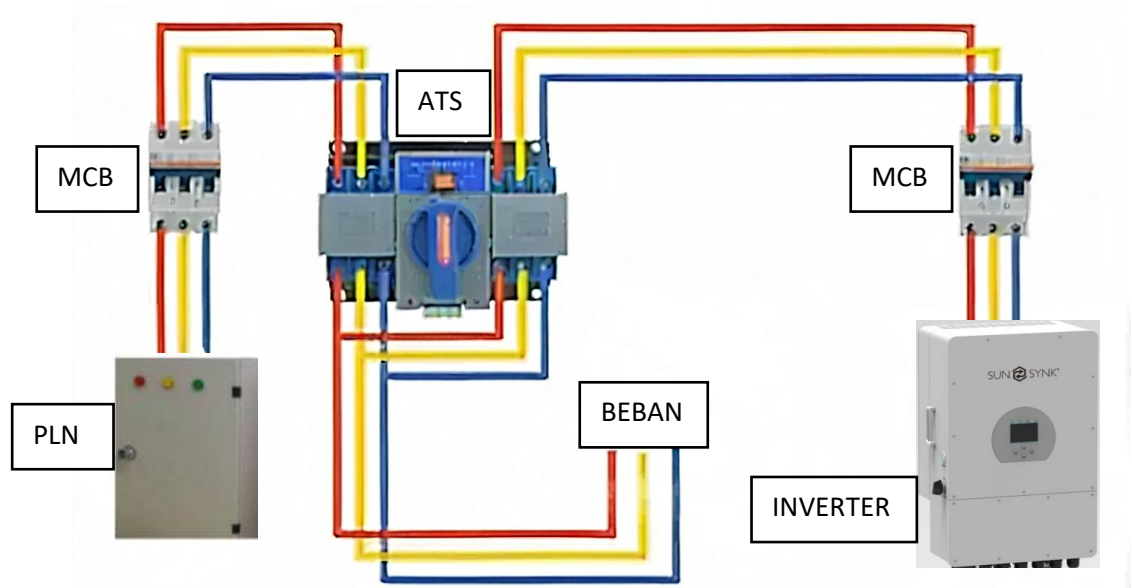
Pengaruh dari macam-macam hal misalnya sebagai contoh: polusi, kebisingan dan lain sebagainya. Termasuk juga dalam hal keindahan.

6) Ekonomi (*economics*)

Instalasi listrik sejak dari perencanaan, pelaksanaan, pemasangan sampai pada pengoperasian harus diperhitungkan biayanya sesuai dengan investasi".

2.8 ATS (*Automatic Transfer Switch*)

Saat ini kebutuhan energi listrik menjadi kebutuhan utama di sektor-sektor industri, perumahan, tempat pendidikan, rumah sakit, dan tempat-tempat lainnya, namun yang menjadi kendala, terkadang energi listrik yang didistribusikan PLN tidak selamanya ada secara terus-menerus terkadang terjadi pemadaman listrik secara mendadak dan apabila listrik itu dibutuhkan di tempat-tempat penting yang harus tercukupi kebutuhan listriknya secara terus-menerus tentunya akan menjadi masalah yang sangat besar. Pemakaian back up daya listrik PLN dengan menggunakan genset yang masih dihidupkan dengan cara manual pun dinilai kurang cepat dan membutuhkan operator tenaga manusia untuk menangani masalah ini, untuk itu dibuat alat ATS (*Automtic Tranfer Switch*) (Cahyo Rachmad, 2016).



Gambar 5 Skema Rangkaian ATS

2.9 Kelayakan Instalasi Listrik

Salah satu faktor penting bagi terpenuhinya keselamatan ketenagalistrikan adalah pemasangan instalasi listrik yang memenuhi ketentuan dan standar yang diatur dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) sebagai acuan untuk pemasangan instalasi listrik. PUIL sejak pertamakali diterbitkan pada tahun 1964 telah mengalami beberapa kali perubahan yaitu PUIL 1977, PUIL 1987, PUIL 2000 dan terakhir PUIL 2011. Sejak tahun 2000, PUIL sebagai Peraturan Umum Instalasi Listrik berubah menjadi Persyaratan Umum Instalasi Listrik dan diberlakukan secara wajib. Terbitnya PUIL 2011, akan menjadi acuan baru pemasangan instalasi listrik, yang merevisi PUIL sebelumnya dalam rangka mengikuti perkembangan teknologi dan perkembangan standar Internasional.³ Sejak ditetapkan menjadi SNI wajib pada Tahun 2014, PUIL 2011 (SNI 0225:2011) telah digunakan sebagai acuan dalam pemasangan instalasi listrik voltase rendah menggantikan PUIL 2000. Meskipun secara umum PUIL 2011 disusun dengan merevisi bagian tertentu PUIL 2000, akan tetapi terdapat beberapa hal yang mengalami perubahan mendasar antara lain yang terkait aturan pemasangan serta penggunaan peralatan atau perlengkapan instalasi (Sumarna, 2021).

Kelayakan instalasi listrik memiliki beberapa persyaratan yaitu perancangan, pemeriksaan, pemasangan dan pengujian, yang akan di jelaskan di bawah ini:

1) Perancangan Instalasi Listrik

Rancangan instalasi listrik ialah berkas gambar rancangan dan uraian teknik, yang digunakan sebagai pedoman untuk melaksanakan pemasangan suatu instalasi listrik. Rancangan instalasi listrik harus dibuat dengan jelas, serta mudah dibaca dan dipahami oleh para teknisi listrik. Untuk itu harus diikuti ketentuan dan standart yang berlaku. Rancangan instalasi listrik terdiri dari: gambar situasi, gambar instalasi, diagram garis tunggal, gambar rinci, tabel dan bahan instalasi, uraian teknis dan perkiraan biaya.

2) Pemasangan Instalasi Listrik

Pemasangan instalasi listrik harus memenuhi ketentuan peraturan, sehingga instalasi tersebut aman untuk digunakan sesuai dengan maksud dan tujuan

penggunaanya, mudah dioperasikan dan dipelihara.⁶ Pemasangan instalasi listrik harus memenuhi syarat yaitu:

- a. Pemasangan instalasi listrik harus mengacu dan memenuhi ketentuan PUIL.
- b. Material dan peralatan instalasi listrik, harus memenuhi standart yang berlaku SNI, LMK, SPLN, dll.
- c. Instalasi listrik baru maupun penambahan dan rehabilitasi, harus dikerjakan oleh instalatir yang professional, yang memiliki teknik tenaga ahli yang bersertifikat keahlian/ kompetensi (ketentuan UU 15/1985, UU 18/1999, Peraturan/ketentuan PLN). Berdasarkan hal tersebut pemasangan instalasi listrik harus dari tenaga yang ahli dibidang instalasi listrik dan instansi berwenang. Tenaga ahli/ instalatir di Indonesia ini sering disebut Biro Teknik Listrik (BTL).

3) Pemeriksaan dan Pengujian Instalasi Listrik

Hasil pemeriksaa dan pengujian instalasi harus dinyatakan secara tertulis oleh pemeriksa dan penguji yang ditugaskan. Instalasi listrik harus diperiksa dan diuji secara periodik sesuai ketentuan/standart yang berlaku. Meskipun instalasi listrik dinilai baik oleh instansi yang berwenang, pelaksanaan instalasi listrik tetap terikat oleh ketentuan tersebut atas instalasi yang dipasangnya. Dalam keputusan Menteri No.1109K/30/MEM/2005, menetapkan, memutuskan: Ke-Satu: menetapkan Komite Nasional Keselamatan untuk Instalasi Listrik (KONSUIL) yang dideklarasikan pada tanggal 25 Maret 2003 di Jakarta sebagai lembaga pemeriksa instalasi pemanfaatan tenaga listrik konsumen tegangan rendah. Ke-Dua: KONSUIL bertugas melaksanakan pemeriksaan dan menerbitkan sertifikat layak operasi instalasi pemanfaatan tenaga listrik konsumen tegangan rendah (Sumarna, 2021).

2.10 Jenis-Jenis Sistem Pencahayaan

Dalam sistem pencahayaan terbagi dalam beberapa kelompok yaitu :

- 1) Sistem pencahayaan merata, sistem ini memberikan tingkat pencahayaan yang merata di seluruh ruangan digunakan jika tugas visual di seluruh tempat dalam ruangan memerlukan tingkat pencahayaan yang sama.

- 2) Sistem pencahayaan setempat, sistem ini memberikan tingkat pencahayaan pada bidang kerja yang tidak merata. Di tempat yang diperlukan untuk melakukan tugas visual yang memerlukan tingkat pencahayaan yang tinggi, diberikan cahaya yang lebih banyak dibandingkan dengan sekitarnya.
- 3) Sistem pencahayaan gabungan merata dan setempat, sistem pencahayaan gabungan didapatkan dengan menambah sistem pencahayaan setempat pada sistem pencahayaan merata.

Sistem pencahayaan gabungan dianjurkan digunakan untuk:

- a. Tugas visual yang memerlukan tingkat pencahayaan yang tinggi.
- b. Memperlihatkan bentuk dan tekstur yang memerlukan cahaya datang dari arah tertentu.
- c. Pencahayaan merata terhalang, sehingga tidak dapat sampai pada tempat yang terhalang tersebut.
- d. Tingkat pencahayaan yang lebih tinggi diperlukan untuk orang tua atau yang kemampuan penglihatannya sudah berkurang (Romadhon,2019).

2.11 Penentuan Jumlah Lampu dan Kepadatan Daya

Sistem metoda perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui selisih antara perencanaan total lampu yang terpasang (existing) dengan perhitungan total lampu yang dibutuhkan, jumlah lampu yang dibutuhkan tiap-tiap lantai, dan kepadatan daya pada ruangan masing-masing lantai. Untuk perhitungan jumlah lampu dan kepadatan daya pada tiap-tiap lantai yaitu dengan cara:

- 1) Indeks Ruangan

$$k = \frac{p \cdot l}{h(p+l)} \quad (3)$$

Dengan:

p = Panjang ruangan (meter)

l = Lebar ruangan (meter)

h = Jarak / Tinggi armature terhadap bidang kerja (meter)

- 2) Faktor Depresiasi

$$kd = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ keadaan baru}} \quad (4)$$

Besarnya koefisien depresiasi biasanya ditentukan berdasarkan estimasi. Untuk ruangan dan armatur dengan pemeliharaan yang baik pada umumnya koefisien depresiasi diambil sebesar 0,8.

3) Faktor *utility*

$$kp = kp1 + \frac{(k-k1)}{(k2-k1)} (kp2 - kp1) \quad (5)$$

Dengan:

kp = Faktor *utility* yang akan ditentukan

kp1 = Faktor *utility* batas bawah

kp2 = Faktor *utility* batas atas

k = Indeks ruangan yang akan ditentukan

k1 = Indeks ruangan batas bawah

k2 = Indeks ruangan batas atas

4) Jumlah Lampu

$$N = \frac{E \cdot A}{F \cdot kp \cdot kd} \quad (6)$$

Dengan:

N = Jumlah lampu

E = Iluminasi penerangan yang dibutuhkan ruangan (lux)

A = Luas ruangan (m²)

F = Fluks cahaya yang dikeluarkan oleh lampu (lumen)

kp = Faktor Depresiasi

kd = Faktor *Utility*

5) Kebutuhan Daya

$$W_{total} = n \cdot W1 \quad (7)$$

Dengan:

n = Jumlah lampu (buah)

W1 = Daya setiap lampu termasuk balast (Watt)

6) Kepadatan Daya

$$Pa = \frac{W_{total}}{A} \quad (8)$$

Dengan:

A = Luas ruangan (m²)

W_{total} = Kebutuhan daya (Watt)

Membutuhkan perhitungan yang sedemikian rupa untuk menentukan letak dan jumlah lampu pada suatu ruangan agar ruangan tersebut mendapatkan sinar yang merata. Dan penggunaanya merasa nyaman (terhidar dari efek Lelah mata akibat insensitas cahaya yang terlalu terang) (Parinduri, 2016). Tingkat pencahayaan minimum dan rederasi warna yang direkomendasikan untuk berbagai fungsi ruangan ditunjukkan pada Tabel 2 diatas.

2.12 Ketentuan Pemasangan Saklar dan Stop Kontak

Ada beberapa posisi pemasangan yang sesuai standar PUIL 2011:

1) Posisi Bawah

Pemasangan stop kontak dan saklar pada ketinggian 40 cm dari permukaan lantai cocok untuk perangkat elektronik dengan kabel power terbatas, tapi disarankan untuk menggunakan stop kontak dengan jenis diputar atau jenis tutup yang dapat dibuka jika digunakan.

2) Posisi Tengah

Pemasangan saklar dan stop kontak di posisi tengah direkomendasikan pada ketinggian 105 cm dari permukaan lantai. Biasanya posisi ini digunakan pada kamar tidur hotel, memudahkan tamu dalam menggunakan saklar dan stop kontak yang berada di samping tempat tidur.

3) Posisi Sejajar dengan Badan

Posisi paling umum yang digunakan pada instalasi rumah atau bangunan lainnya. Ketinggiannya berkisar 145-150 cm dari permukaan lantai.

4) Posisi Atas

Pemasangan jenis ini lebih disarankan untuk instalasi stop kontak untuk *Exhaust Fan*, *Air Conditioner* (AC), dan *Water Heater*, dengan penempatan cenderung lebih dekat dengan plafon dibandingkan dengan permukaan lantai. Jarak yang disarankan adalah 20 cm dari plafon atau 280 cm dari permukaan lantai.

5) Posisi di Permukaan Lantai

Posisi pemasangan pada permukaan lantai, jenis pemasangan ini biasanya digunakan pada stop kontak yang berguna sebagai terminal penghubung

arus listrik untuk kebutuhan perangkat elektronik di dalam maupun luar ruangan yang berada jauh dari stop kontak dinding. Stop kontak yang digunakan pun khusus, dengan pengaman tambahan agar tidak mudah pecah dan tidak terjadi korsleting listrik.

2.13 Kuat Hantar Arus (KHA)

KHA suatu kabel dapat dinyatakan sebagai kemampuan maksimum kabel untuk dilalui arus secara terus-menerus tanpa menyebabkan kerusakan pada kabel itu. Semua penghantar harus mempunyai KHA sekurang-kurangnya sama dengan arus yang akan mengalir melaluinya, yang ditentukan sesuai dengan kebutuhan arus maksimum yang dihitung atau ditaksir (Adiarta, 2017).

Untuk menentukan kuat hantar arus (KHA) dari suatu penghantar yang digunakan, maka terlebih dahulu perlu ditentukan berapa arus yang melewati penghantar tersebut. Arus nominal yang melewati suatu penghantar bisa ditentukan dengan menggunakan formula pada Persamaan (9-11).

Untuk arus searah (DC)

$$I_n = \frac{P}{V} \quad (9)$$

Untuk arus bolak-balik satu fasa

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (10)$$

Untuk arus bolak-balik tiga fasa

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos \varphi} \quad (11)$$

Kinerja kawat hantar arus yang dipakai dalam pemilihan penghantar ialah sebesar 1,25 kali dari arus nominal yang dilewati penghantar tersebut. Untuk menentukan KHA maka digunakan Persamaan berikut.

$$KHA = 125\% \times I_n \quad (12)$$

Dimana:

I_n = Arus Nominal (A)

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.14 Ketidakseimbangan Beban

Untuk mencari nilai ketidakseimbangan beban dapat dicari dengan menggunakan koefisien a , b , dan c . Dimana koefisien a , b , dan c memerlukan arus rata-rata dan arus setiap fasa. Maka diperoleh persamaan untuk koefisien a , b , dan c sebagai berikut (Putra, 2020):

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (13)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (14)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (15)$$

Dimana:

I_R = Arus pada fasa R (A)

I_S = Arus pada fasa S (A)

I_T = Arus pada fasa T (A)

Persentase ketidakseimbangan beban sebagai berikut (Putra,2020):

$$\% = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (16)$$

Arus netral merupakan arus yang mengalir dikawat netral pada transformator distribusi dengan sistem tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral akan muncul ketika terjadi dua keadaan sebagai berikut:

- Kondisi beban tidak seimbang.
- Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear.

Dimana arus netral dapat diperhitungkan dengan rumus berikut: (Putra,2020)

$$I_N = \sqrt{(IR^2) + (IS^2) + (IT^2) - (IR \times IS) - (IR \times IT) - (IS \times IT)} \quad (17)$$

Arus yang mengalir pada penghantar netral menyebabkan rugi-rugi (losses).

Losses pada penghantar netral ini dapat dirumuskan sebagai berikut: (Putra, 2018)

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (18)$$

Dimana:

P_N = Losses pada penghantar netral (W)

I_N = Arus yang mengalir pada netral (A)

R_N = Tahanan penghantar netral (Ω)

2.15 Iluminasi Cahaya

Iluminasi adalah intensitas flux cahaya yang diterima oleh suatu luas permukaan, illuminasi menjelaskan tentang interaksi antara sumber cahaya dan permukaan sumber cahaya. Hal ini diukur dalam flux luminasi per unit area. Kebutuhan intensitas caghaya tiap ruangan berbeda. Merupakan faktor pengotoran lampu, dimana pengotoran ini adalah berkurangnya intensitas cahaya yang dihasilkan lampu setiap tahunnya. Setiap jenis lampu memiliki nilai pengotoran yang berbeda. Nilai pengotoran berkisar antara 0.6-0.7 (Martono dkk, 2016).

$$F = \frac{E \cdot A}{UF \cdot MF}$$

$$P = \frac{F}{\eta}$$

Dimana:

E: Lux pada bidang kerja.

F: Total flux cahaya dari lampu (lumen).

η : efikasi lampu (lm/w)

UF: *Utilization Factor* (faktor pemanfaatan cahaya, bergantung pada jenis lampu dan pola distribusi; biasanya antara 0,4–0,8).

MF: *Maintenance Factor* (faktor pemeliharaan untuk mempertimbangkan kehilangan cahaya karena kotoran, usia lampu, dll.; biasanya antara 0,7–0,9).