

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur energi listrik merupakan elemen fundamental dalam menjaga stabilitas ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat, karena keberadaannya mendukung berbagai sektor strategis seperti industri, pendidikan, kesehatan, dan layanan publik (Aprilla & Harwahu, 2025). Ketersediaan energi listrik yang andal memungkinkan berlangsungnya aktivitas ekonomi secara berkelanjutan serta meningkatkan produktivitas dan efisiensi di berbagai bidang. Selain itu, energi listrik berperan penting dalam menunjang seluruh aktivitas kehidupan modern, baik pada skala rumah tangga maupun institusi, sehingga gangguan pasokan listrik dapat berdampak langsung terhadap kelancaran aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat (Suprihatin et al., 2025).

Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam operasional gedung rumah sakit karena hampir seluruh aktivitas pelayanan kesehatan bergantung pada ketersediaan pasokan listrik yang andal dan berkesinambungan (Susanto & Zulkarni, 2022). Ketergantungan ini semakin meningkat seiring dengan penggunaan peralatan medis berbasis teknologi yang membutuhkan suplai listrik stabil untuk menjamin kinerja optimal dan keselamatan pasien. Bahkan, terdapat beberapa unit pelayanan medis yang sama sekali tidak boleh mengalami pemutusan aliran listrik, karena gangguan sekecil apa pun dapat membahayakan keselamatan pasien yang sedang dirawat, seperti pada ruangan *Intensive Care Unit* (ICU), *Neonatal Intensive Care Unit* (NICU), serta Instalasi Bedah Sentral (IBS), yang mengoperasikan peralatan penunjang kehidupan secara kontinu (Yudiyana et al., 2019). Oleh karena itu, keberadaan instalasi listrik yang dirancang dan dioperasikan sesuai dengan standar teknis menjadi sangat krusial guna menjamin kontinuitas dan keandalan distribusi energi listrik di lingkungan rumah sakit. Instalasi listrik yang tidak memadai berpotensi menyebabkan kegagalan sistem pendistribusian listrik, yang pada akhirnya dapat mengganggu pelayanan medis serta meningkatkan risiko terhadap keselamatan pasien dan tenaga kesehatan (Sugianto et al., 2022).

Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Lakipadada sebagai salah satu fasilitas kesehatan rujukan di wilayah Tana Toraja memikul tanggung jawab besar dalam menyelenggarakan pelayanan kesehatan yang andal dan aman bagi masyarakat. Seiring dengan peningkatan beban pelayanan serta penambahan peralatan medis berteknologi tinggi, tuntutan terhadap ketersediaan dan keandalan infrastruktur kelistrikan yang mendukung operasional rumah sakit menjadi semakin kompleks. Namun demikian, infrastruktur kelistrikan pada banyak rumah sakit daerah, khususnya yang telah beroperasi dalam jangka waktu lama, sering menghadapi berbagai permasalahan teknis, seperti penuaan komponen, keausan, dan potensi kerusakan instalasi yang dapat mengganggu kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan (Dandi et al., 2022). Selain itu, desain instalasi yang tidak lagi sesuai dengan standar terkini serta kapasitas sistem yang tidak memadai terhadap peningkatan beban listrik berpotensi menimbulkan *single point of failure*, memicu gangguan beruntun, dan meningkatkan risiko ketidakpatuhan terhadap standar keselamatan yang berlaku.

Ditinjau dari perkembangan kelembagaan dan kapasitas pelayanannya, RSUD Lakipadada memiliki urgensi untuk dievaluasi pada aspek prasarana kelistrikan. Rumah sakit ini mulai melayani rawat jalan pada Januari 1989 dan rawat inap pada April 1989, kemudian berkembang dari rumah sakit kelas D menjadi rumah sakit kelas C berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 397/MENKES/SK/IV/94 tanggal 28 April 1994. Perkembangan tersebut berlanjut dengan peningkatan kapasitas hingga 225 tempat tidur pada tahun 2022, penetapan sebagai Badan Layanan Umum Daerah (BLUD), serta capaian Akreditasi Rumah Sakit Tingkat Paripurna pada tahun 2023, sehingga sistem kelistrikan sebagai penopang pelayanan medis dan nonmedis perlu dipastikan mampu mengikuti perkembangan fungsi dan kapasitas layanan rumah sakit.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu evaluasi yang menyeluruh untuk memastikan bahwa instalasi listrik dan sistem suplai energi di RSUD telah memenuhi standar teknis dan keselamatan dalam mendukung operasional rumah sakit secara andal dan berkelanjutan. Standar teknis yang dimaksud untuk mewujudkan instalasi listrik yang baik dan benar antara lain Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) serta Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit (Prabasa et al., 2023).

Evaluasi ini menjadi penting tidak hanya untuk mengidentifikasi titik-titik rawan dan ketidaksesuaian dengan standar, tetapi juga untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang strategis dan berjenjang. Berdasarkan urgensi tersebut, penulis mengangkat judul penelitian “EVALUASI INSTALASI LISTRIK DAN SUPLAI ENERGI PADA RUMAH SAKIT UMUM DAERAH (RSUD) LAKIPADADA”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat intensitas pencahayaan pada ruang-ruang pelayanan RSUD Lakipadada dan bagaimana kesesuaiannya terhadap standar Permenkes yang berlaku?
2. Bagaimana kesesuaian arus beban aktual dan kapasitas hantar arus penghantar pada panel-panel distribusi di RSUD Lakipadada berdasarkan PUIL 2011?
3. Bagaimana tingkat ketidakseimbangan beban pada panel-panel distribusi di RSUD Lakipadada berdasarkan IEEE 446-1995?
4. Bagaimana sinergi antara tiga sumber energi listrik yaitu PLN, genset, dan UPS dalam menyuplai kebutuhan RSUD Lakipadada?
5. Apa rekomendasi teknis yang dapat diberikan untuk meningkatkan keselamatan, keandalan, dan kesesuaian instalasi listrik RSUD Lakipadada terhadap standar yang berlaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi tingkat intensitas pencahayaan pada ruang-ruang pelayanan RSUD Lakipadada berdasarkan standar Permenkes yang berlaku.

2. Menganalisis kesesuaian arus beban aktual dan kapasitas hantar arus penghantar pada panel-panel distribusi di RSUD Lakipadada berdasarkan PUIL 2011.
3. Menganalisis tingkat ketidakseimbangan beban pada panel-panel distribusi di RSUD Lakipadada berdasarkan IEEE 446-1995.
4. Mengevaluasi sinergi antara tiga sumber energi listrik, yaitu PLN, genset, dan UPS, dalam menyuplai kebutuhan listrik RSUD Lakipadada.
5. Memberikan rekomendasi teknis yang tepat dalam meningkatkan keselamatan, keandalan, dan kesesuaian instalasi listrik RSUD Lakipadada berdasarkan standar kelistrikan yang berlaku.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi RSUD Lakipadada: memberikan dasar rekomendasi teknis yang valid untuk perencanaan, pemeliharaan, dan pengembangan sistem kelistrikan guna meningkatkan keandalan, keselamatan, dan efisiensi operasional rumah sakit.
2. Bagi keilmuan teknik: dapat dijadikan sebagai literatur penerapan praktis teori sistem tenaga listrik dan standar kelistrikan kesehatan pada sebuah studi kasus riil yang dapat menjadi referensi bagi penelitian serupa.
3. Bagi masyarakat: berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan kualitas pelayanan kesehatan melalui identifikasi risiko kelistrikan dan evaluasi sistem pendukung peralatan medis vital.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Evaluasi instalasi listrik dan suplai energi difokuskan pada bangunan utama (*main building*) Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Lakipadada.
2. Analisis pencahayaan dibatasi pada pengukuran tingkat iluminansi (lux) di area kritis, seperti ruang operasi, UGD, ICU, laboratorium, rawat inap, dan area pelayanan publik, yang selanjutnya dibandingkan dengan standar Permenkes, tanpa mencakup aspek perancangan maupun efisiensi armatur pencahayaan.
3. Penghitungan dan analisis arus serta kesesuaian KHA penghantar difokuskan pada panel ruangan, dan peralatan medis berdaya besar, tanpa mengevaluasi keseimbangan beban antar fasa dan kesesuaian kapasitas MCB dan kabel terhadap beban aktual.
4. Analisis ketidakseimbangan beban dibatasi pada perhitungan persentase ketidakseimbangan arus antar fasa R, S, dan T pada panel-panel distribusi di bangunan utama RSUD Lakipadada. Hasil perhitungan dibandingkan dengan standar IEEE 446-1995, tanpa mencakup analisis harmonisa, faktor daya, rugi-rugi daya, arus netral secara detail, simulasi aliran daya, atau perancangan ulang pembagian beban antar fasa.

5. Evaluasi sistem suplai energi dibatasi pada analisis sinergi dan interkoneksi antara PLN, genset, dan UPS, meliputi skema ATS, waktu transisi perpindahan daya, kapasitas serta durasi backup UPS pada beban kritis, dan keandalan sistem dalam menjamin kontinuitas pelayanan medis, tanpa mencakup analisis biaya maupun perancangan sistem baru.
6. Penelitian ini bersifat evaluatif berdasarkan kondisi eksisting dan standar yang berlaku, sehingga tidak mencakup perancangan detail, simulasi perangkat lunak yang kompleks, atau pelaksanaan perbaikan fisik.

1.6 Kajian Pustaka

1.6.1 Profil Singkat Rumah Sakit Umum (RSUD) Lakipadada

Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Lakipadada pada mulanya berstatus sebagai rumah sakit tipe D sebelum kemudian ditingkatkan kapasitas pelayanannya menjadi rumah sakit kelas C. Rumah sakit ini diproyeksikan sebagai pusat rujukan kesehatan untuk wilayah Kabupaten Tana Toraja dan sekitarnya. Sebagai institusi milik Pemerintah Kabupaten Tana Toraja, rumah sakit ini terletak di Jalan Pongtiku, Kelurahan Tambunan, Kecamatan Makale Utara, dengan jarak tempuh sekitar 6 km dari ibu kota kabupaten di atas lahan seluas 40.557 m². Pembangunan RSUD Lakipadada dimulai pada tahun 1987 melalui bantuan pendanaan dari Bank Dunia. Fase operasional diawali dengan membuka pelayanan rawat jalan pada Januari 1989, kemudian dilanjutkan dengan rawat inap pada April 1989. Secara resmi, rumah sakit ini diresmikan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia pada tanggal 18 Januari 1990 sebagai rumah sakit umum kelas D berkapasitas 50 tempat tidur. Statusnya kemudian ditingkatkan menjadi rumah sakit umum kelas C berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 397/MENKES/SK/IV/94 tanggal 28 April 1994, dengan kapasitas 54 tempat tidur. Dalam rangka meningkatkan mutu layanan, pada tahun 1996/1997 dilakukan penambahan gedung perawatan kelas utama (VIP) dengan sumber pendanaan dari APBN, APBD Tingkat I, dan APBD Tingkat II. Tahun 2003, dibangun gedung perawatan anak dan bedah yang menambah kapasitas sebesar 48 tempat tidur. Pada tahun yang sama, status kelembagaannya berubah menjadi badan pengelola RSUD Lakipadada sesuai dengan Surat Keputusan Bupati Tana Toraja Nomor 821-21-6 tanggal 14 Februari 2002. Selanjutnya, rumah sakit ini berhasil terakreditasi untuk lima pelayanan (administrasi, pelayanan medik, rekam medik, unit gawat darurat, dan keperawatan) pada 8 Februari 2008.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 2010, struktur kelembagaan rumah sakit ini berubah menjadi Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Lakipadada pada Desember 2011. Pembangunan infrastruktur terus berlanjut dengan penambahan gedung perawatan utama Krisan berkapasitas 9 tempat tidur pada Februari 2012, serta penambahan gedung perawatan utama (VIP) baru pada tahun 2012/2013 yang menambah 17 tempat tidur dengan dukungan APBN dan APBD. Perkembangan kapasitas tempat tidur menunjukkan peningkatan signifikan: 196 tempat tidur (2016), 201 (2017), 192 (2018), 199 (2019), 214 (2020 dan 2021), dan 225 tempat tidur (2022). Dari sisi tata kelola, RSUD Lakipadada ditetapkan sebagai Badan Layanan Umum Daerah (BLUD) oleh Bupati Tana Toraja pada 7 Juli 2015, dengan implementasi efektif mulai 1

Januari 2016. RSUD Lakipadada memiliki komitmen kuat terhadap keselamatan pasien dan karyawan, peningkatan kepuasan pelanggan, serta perbaikan berkelanjutan sesuai perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat. Komitmen ini dibuktikan dengan keberhasilannya meraih Akreditasi Rumah Sakit Tingkat Paripurna pada tahun 2023 dari Lembaga Akreditasi C Fasilitas Kesehatan Indonesia (LAFKI), dengan masa berlaku hingga 29 Mei 2027.

1.6.2 Pengertian Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan suatu rangkaian peralatan listrik yang saling berhubungan satu sama lain dan berada dalam satu lingkup sistem ketenagalistrikan yang terintegrasi (Hajar et al., 2020). Keterpaduan antarperalatan tersebut bertujuan untuk menjamin penyaluran dan pemanfaatan energi listrik dapat berlangsung secara andal, aman, dan efisien. Dalam sistem ini, setiap komponen memiliki fungsi tertentu, mulai dari pengaman, penghantar, hingga peralatan pengendali dan pemanfaat tenaga listrik. Oleh karena itu, instalasi listrik tidak hanya dipahami sebagai susunan fisik peralatan, tetapi juga sebagai sistem teknis yang dirancang berdasarkan standar dan ketentuan ketenagalistrikan. Perancangan yang tepat menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas suplai serta keselamatan pengguna.

Secara operasional, instalasi listrik berfungsi sebagai sarana penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi milik penyedia layanan listrik menuju panel-panel distribusi hingga ke titik-titik beban akhir (Sugianto et al., 2022). Proses penyaluran ini dilakukan melalui sistem distribusi internal yang tersusun secara hierarkis untuk menyesuaikan kebutuhan daya setiap beban. Instalasi listrik atau instalasi tenaga listrik juga dapat diartikan sebagai metode penempatan dan pemasangan penyalur tenaga listrik bagi seluruh peralatan yang membutuhkan energi listrik dalam pengoperasiannya (Nasution et al., 2023). Bagian instalasi ini secara langsung berada pada wilayah aktivitas konsumen sehingga menuntut tingkat keandalan dan keselamatan yang tinggi. Dengan demikian, instalasi listrik memegang peranan penting dalam menunjang keberlangsungan aktivitas operasional suatu bangunan atau fasilitas.

1.6.3 Ketentuan Umum Instalasi Listrik

Instalasi listrik harus dirancang dan dipasang dengan tingkat keselamatan yang tinggi. Mengingat selalu adanya potensi bahaya sengatan listrik dan/atau kebakaran akibat kegagalan sistem kelistrikan, maka teknisi listrik dan kontraktor kelistrikan wajib menggunakan material serta metode pemasangan yang telah disetujui. Oleh karena itu, penerapan kode dan standar kelistrikan menjadi keharusan untuk memastikan bahwa paparan risiko sengatan listrik dan kebakaran yang berkaitan dengan sistem kelistrikan dapat diminimalkan. Penerapan standar ini bertujuan melindungi pengguna, instalator, maupun personel pemeliharaan selama pengoperasian sistem listrik (Mullin et al., 2021).

Ketentuan tersebut mencakup Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) sebagai acuan utama, serta berbagai peraturan perundang-undangan dan standar lain yang terkait dengan penyediaan, pemasangan, dan pemanfaatan tenaga listrik. Penerapan regulasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa instalasi listrik beroperasi sesuai standar keselamatan kerja dan ketentuan ketenagalistrikan yang berlaku. Adapun peraturan dan

standar yang menjadi rujukan dalam perancangan instalasi listrik antara lain sebagai berikut:

1. SNI 03-0711-2004, atau edisi terakhir, Keselamatan pada bangunan fasilitas Kesehatan
2. SNI 04-7018-2004, atau edisi terakhir, Sistem pasokan daya listrik darurat dan siaga.
3. SNI 04-7019-2004, atau edisi terakhir, Sistem pasokan daya listrik darurat dan menggunakan energi tersimpan.
4. Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes), khususnya yang mengatur persyaratan teknis bangunan dan prasarana rumah sakit terkait sistem kelistrikan dan keselamatan pasien (Permenkes Nomormor 40 Tahun 2022).
5. IEC 60364-7-710, *Requirements for special installations or locations – Medical locations*
6. Standar *National Fire Protection Association* (NFPA), seperti NFPA 70 (*National Electrical Code*) dan NFPA 99 (*Health Care Facilities Code*).
7. Peraturan dan standar lain di bidang kelistrikan yang berlaku serta tidak bertentangan dengan PUIL 2011, seperti standar-standar yang ditetapkan oleh PLN.

Dalam perancangan suatu sistem instalasi listrik, aspek keselamatan harus menjadi prioritas utama, baik terhadap manusia, makhluk hidup lainnya, maupun perlindungan terhadap aset dan harta benda dari potensi bahaya serta kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh pemanfaatan energi listrik. Selain itu, instalasi listrik harus dirancang dan dipasang agar dapat beroperasi secara andal dan aman. Kinerja instalasi juga harus sesuai dengan fungsi dan tujuan peruntukannya, sehingga mampu memenuhi kebutuhan pengguna tanpa menimbulkan risiko keselamatan maupun gangguan operasional (Ismansyah, 2009).

1.6.4 Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan bagian penting dalam suatu sistem ketenagalistrikan yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik secara aman dan andal kepada seluruh beban. Agar sistem instalasi listrik dapat beroperasi secara optimal dan memenuhi kebutuhan pengguna, maka perancangan dan pemasangannya harus didasarkan pada prinsip-prinsip teknis yang telah ditetapkan. Prinsip-prinsip dasar ini berperan sebagai pedoman untuk menjamin keselamatan, kontinuitas suplai daya, kemudahan pengoperasian, serta efisiensi biaya sepanjang umur layanan instalasi. Menurut Ismansyah (2009), prinsip dasar tersebut ialah sebagai berikut:

1. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan kemampuan instalasi listrik untuk beroperasi secara kontinu, stabil, dan sesuai dengan kapasitas yang direncanakan. Seluruh peralatan yang digunakan harus memiliki kualitas yang baik, baik dari sisi mekanik maupun kelistrikan, serta memenuhi standar yang berlaku. Keandalan juga berkaitan erat dengan ketepatan pemilihan dan koordinasi sistem proteksi, sehingga apabila terjadi gangguan atau kerusakan, gangguan tersebut dapat dengan mudah diidentifikasi, diisolasi, dan diperbaiki dalam waktu singkat.

Dengan demikian, kontinuitas suplai daya ke beban tetap terjaga dan dampak gangguan dapat diminimalkan.

2. Ketercapaian (*Reachability*)

Ketercapaian mengacu pada kemudahan pengguna atau petugas dalam menjangkau dan mengoperasikan peralatan instalasi listrik. Penempatan komponen seperti sakelar, stop kontak, panel distribusi, dan perangkat proteksi harus berada pada posisi yang ergonomis, tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah. Tata letak peralatan juga harus dirancang agar mudah dioperasikan tanpa menyulitkan pengguna. Prinsip ini bertujuan untuk meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan efektivitas pengoperasian instalasi listrik dalam kegiatan sehari-hari.

3. Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan adalah kemampuan instalasi listrik untuk selalu siap melayani kebutuhan daya, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi peningkatan beban atau pengembangan sistem. Instalasi harus dirancang dengan mempertimbangkan kapasitas cadangan (*spare*) untuk mengakomodasi kemungkinan perluasan di masa mendatang. Penambahan beban atau peralatan baru seharusnya tidak mengganggu sistem yang telah ada, melainkan dihubungkan pada sumber cadangan yang telah dilengkapi dengan sistem pengaman yang memadai. Dengan tingkat ketersediaan yang tinggi, keandalan suplai listrik dapat tetap terjaga.

4. Keindahan (*Aesthetics*)

Keindahan berkaitan dengan penataan komponen dan penghantar instalasi listrik secara rapi, teratur, dan selaras dengan tata ruang bangunan. Pemasangan peralatan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu tampilan visual, namun tetap memenuhi persyaratan teknis dan keselamatan. Instalasi yang tertata dengan baik tidak hanya meningkatkan estetika lingkungan, tetapi juga mempermudah proses inspeksi, pemeliharaan, dan pengembangan sistem. Prinsip keindahan tetap harus mengacu pada peraturan dan standar instalasi listrik yang berlaku.

5. Keamanan (*Safety*)

Keamanan merupakan prinsip fundamental dalam instalasi listrik yang bertujuan melindungi manusia, bangunan, harta benda, makhluk hidup lainnya, serta peralatan listrik itu sendiri. Instalasi harus dilengkapi dengan sistem proteksi yang memadai, seperti pengaman arus lebih, pengaman hubung singkat, sistem pentanahan (*grounding*), dan isolasi yang sesuai standar. Penerapan prinsip keamanan bertujuan untuk mencegah terjadinya sengatan listrik, kebakaran, maupun kerusakan peralatan akibat gangguan listrik. Dengan sistem keamanan yang baik, risiko kecelakaan dan kerugian dapat ditekan seminimal mungkin.

6. Ekonomis (*Economical*)

Prinsip ekonomis menekankan bahwa biaya perancangan, pemasangan, dan pengoperasian instalasi listrik harus direncanakan secara cermat dan efisien. Pemilihan material dan peralatan dilakukan berdasarkan kebutuhan teknis yang tepat, mempertimbangkan umur layanan, keandalan, serta biaya pemeliharaan, tanpa mengesampingkan aspek keselamatan dan mutu instalasi. Dengan

perencanaan yang ekonomis, instalasi listrik dapat memberikan kinerja yang optimal dengan biaya investasi dan operasional yang seimbang serta berkelanjutan.

7. Pengaruh lingkungan (*Impact of environment*)

Pengaruh lingkungan merupakan aspek penting dalam perancangan instalasi listrik karena kondisi lokasi pemasangan dapat memengaruhi kinerja dan keselamatan sistem. Lingkungan kerja instalasi listrik dibedakan menjadi lingkungan normal dan tidak normal, di mana kondisi tidak normal berpotensi menimbulkan gangguan atau kerusakan pada peralatan (Prok et al., 2018). Oleh karena itu, instalasi yang berada pada lingkungan dengan pengaruh luar tertentu memerlukan perlindungan dan pemilihan peralatan yang sesuai. Perencanaan instalasi listrik harus didukung oleh analisis dan perhitungan yang tepat agar sistem dapat beroperasi secara aman dan andal.

1.6.5 Jenis Instalasi Listrik

Dalam sistem instalasi listrik sebuah gedung, instalasi listrik dibagi menjadi instalasi pencahayaan buatan dan instalasi daya listrik (Siregar et al., 2022).

a. Instalasi pencahayaan buatan

Instalasi pencahayaan buatan merupakan sistem yang dirancang untuk menyalurkan energi listrik ke lampu sehingga dapat digunakan sebagai sumber penerangan ketika pencahayaan alami tidak tersedia atau tidak mencukupi akibat keterbatasan waktu dan kondisi lingkungan. Instalasi penerangan termasuk dalam jenis instalasi listrik yang beban utamanya berupa peralatan pencahayaan (Rivai & Hidayat, 2022). Sistem ini tersusun atas berbagai komponen yang saling terhubung, mulai dari sumber listrik hingga beban penerangan yang terpasang pada suatu ruangan. Pada umumnya, instalasi penerangan dirancang dengan beberapa titik cahaya yang terintegrasi sehingga membentuk suatu sistem pencahayaan yang berfungsi untuk menerangi area atau ruang tertentu secara efektif dan merata.

b. Instalasi daya

Instalasi daya merupakan sistem instalasi listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari sumber pembangkit melalui panel-panel distribusi hingga disalurkan ke beban pemakai (Dwilesmana & Cahyono, 2023). Instalasi ini dirancang untuk menyuplai daya listrik bagi berbagai mesin dan peralatan listrik yang beroperasi di dalam suatu gedung. Melalui instalasi daya listrik, seluruh peralatan yang membutuhkan energi listrik dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan kapasitas dan karakteristik bebannya (Siregar et al., 2022). Oleh karena itu, perancangan instalasi daya harus memperhatikan aspek kapasitas, keandalan, serta sistem proteksi guna menjamin operasi yang aman dan berkelanjutan.

1.6.6 Komponen Instalasi Listrik

Komponen instalasi listrik merupakan elemen-elemen utama yang membentuk suatu sistem kelistrikan untuk menjalankan fungsi penghantaran, pengendalian, pembangkitan, transmisi, dan distribusi energi listrik. Peralatan listrik dirancang,

dipasang, dan dimanfaatkan sebagai bagian dari sistem untuk memastikan aliran daya listrik dapat dikendalikan dan dimanfaatkan secara efektif sesuai kebutuhan (Patel et al., 2025). Dalam perancangan instalasi listrik, komponen yang digunakan mencakup bahan dan peralatan yang membentuk rangkaian daya maupun rangkaian kontrol (Prok et al., 2018).

1.6.6.1 Penghantar

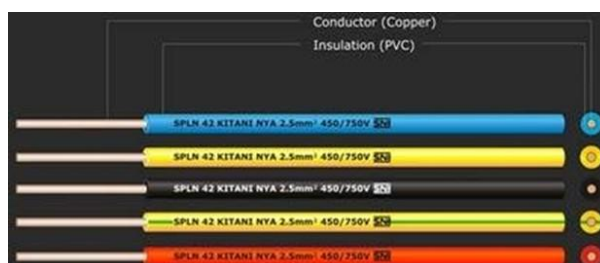
Penghantar merupakan suatu material, baik berbahan logam maupun nonlogam, yang memiliki sifat konduktif sehingga mampu menyalurkan arus listrik dari satu titik ke titik lainnya (Prok et al., 2018). Dalam instalasi listrik, penghantar dapat berupa kawat penghantar atau kabel listrik yang digunakan sebagai media penyaluran energi listrik. Penghantar atau kabel yang digunakan harus memenuhi persyaratan teknis, antara lain memiliki ketahanan elektrik, mekanis, termal, dan kimia yang memadai (Sutrisno et al., 2021). Selain itu, penghantar harus mampu menyalurkan arus listrik sesuai kapasitasnya dengan rugi-rugi daya yang seminimal mungkin.

Berdasarkan karakteristiknya, penghantar listrik dibedakan menjadi penghantar berisolasi dan penghantar tanpa isolasi (Nasution et al., 2023). Penghantar berisolasi merupakan penghantar tunggal, baik berbentuk pejal maupun serabut, yang dilapisi bahan isolator sehingga umumnya digunakan dalam bentuk kawat berisolasi atau kabel listrik. Sebaliknya, penghantar tanpa isolasi adalah penghantar yang tidak dilapisi isolator dan dikenal sebagai *bare conductor*. Dalam aplikasinya, bahan isolasi yang banyak digunakan pada penghantar listrik salah satunya adalah PVC (*polyvinyl chloride*), karena memiliki sifat isolasi yang baik dan sesuai untuk berbagai kondisi instalasi.

Kabel listrik adalah sebuah komponen konduktif yang dirancang untuk mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik lainnya. Adapun jenis-jenis kabel yang digunakan dalam instalasi listrik adalah sebagai berikut.

1. Kabel NYA

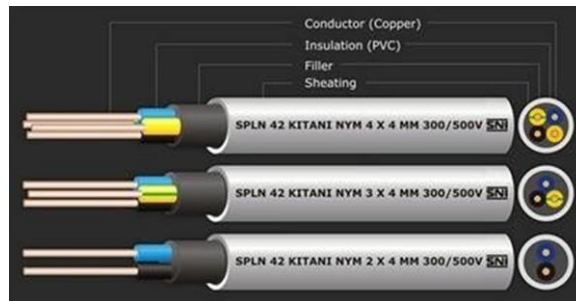
Kabel NYA berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, untuk instalasi luar atau kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam sesuai dengan peraturan PUIL. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air (NYA adalah tipe kabel udara) dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.



Gambar 1 Kabel NYA
Sumber : (Turumi, 2015)

2. Kabel NYM

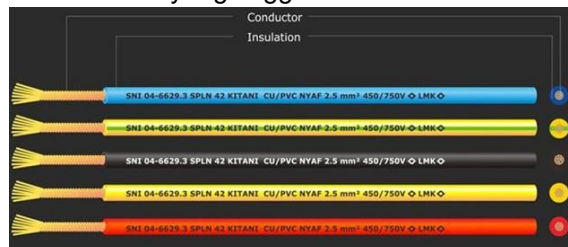
Kabel NYM memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan di lingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2 Kabel NYM
Sumber : (Turumi, 2015)

3. Kabel NYAF

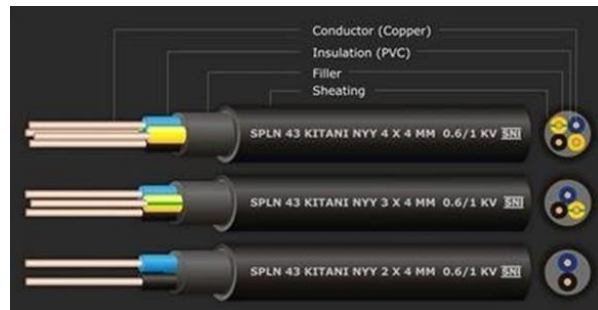
Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.



Gambar 3 Kabel NYAF
Sumber : (Turumi, 2015)

4. Kabel NYY

Kabel NYY memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 4 Kabel NYY
Sumber : (Turumi, 2015)

5. Kabel NYFGbY



Gambar 5 Kabel NYFGbY
Sumber : (Sugianto dkk., 2022)

Kabel NYFGbY ini digunakan untuk instalasi bawah tanah, di dalam ruangan dan dalam saluran-saluran dan pada tempat-tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan, atau untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.

6. Kabel NYMHY

Kabel jenis ini juga sering disebut dengan kabel tanah. Jenis kabelnya fleksibel yang digunakan untuk koneksi dalam ruang atau penggunaan yang mudah dibawa. Tegangan nominal berkisar antara 300 - 500 V. Jenis bahan yang digunakan adalah kawat tembaga serabut (fleksibel) dengan isolasi dan selubung PVC yang terekstrusi.



Gambar 6 Kabel NYMHY
Sumber: (Saputra dkk., 2024)

Setiap kode huruf dalam penamaan jenis kabel menunjukkan karakteristik spesifik, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nomenklatur kabel

Huruf	Keterangan
A	Penghantar bahan aluminium
A	Kabel berisolasi tunggal
A	Selubung pelindung luar
AA	Dua lapisan selubung pelindung luar
B	Perisai pita baja
B	Selubung timah hitam
C	Konsentris penghantar bahan tembaga
C	Selubung penghantar di bawah selubung luar
CE	Penghantar konsentris masing-masing inti untuk kabel berurat banyak
CW	Penghantar konsentris masing-masing inti, dipasang berlawanan arah
D	Spiral anti tekanan
E	Kabel dengan urat berselubung logam
F	Pelindung kawat baja pipih
F	Penghantar kawat halus
FA	Kabel lampu
fl	Pipih
G	Spiral kawat baja pipih
G	Selubung isolasi bahan karet
2G	Selubung isolasi bahan karet tahan panas
Gb	Spiral pita baja
H	Pelindung medan elektromagnetik
H	Selubung luar bahan karet
HY	Selubung luar bahan buatan
J	<i>System J</i> , urat berwarna majemuk hijau kuning
K	Selubung bahan timah hitam (timbal)
KL	Selubung bahan aluminium, permukaan licin
KWK	Selubung bahan pita baja tembaga, terpasang dan dilas memanjang
L	Pelindung bahan jalinan kawat baja bulat
N	Kabel standar/penghantar berisolasi konduktor tembaga sebagai inti
NI	Bertekanan gas
NO	Bertekanan minyak
NP	Kabel pipa bertekanan gas
O	<i>System O</i> , urat warna majemuk tanpa hijau kuning
O	Pelindung terbuka bahan kawat-kawat baja
PL	Kabel gantung
Q	Jalinan (<i>braid</i>) dari bahan kawat-kawat baja berlapis seng (<i>zinc coated</i>)
R	Perisai dari bahan kawat baja bulat
RR	Dua lapisan perisai berbahan kawat baja bulat
rd	Bulat
re	Penghantar tipe padat bulat
rm	Penghantar tipe bulat kawat (banyak)
S	Kabel khusus
S	Pelindung (shield) bahan tembaga

Huruf	Keterangan
SL	Kabellas
se	Penghantar padat berbentuk sector
sm	Penghantar kawat tipe banyak berbentuk sector
T	Kawat gantung
W	Tahan cuaca
w	Tahan panas
Y	Selubung isolasi bahan PVC
Y	Selubung luar bahan PVC
Z	Perisai bahan kawat baja, masing-masing berbentuk "Z"
Z	Pengurangan beban tarik
Z	Selubung logam bahan pita seng

Sumber : (Tan, 2023)

1.6.6.2 Pengaman

Pengaman merupakan perangkat yang berfungsi untuk melindungi sistem instalasi listrik dari kondisi arus lebih yang melebihi kemampuan hantar arus peralatan atau penghantar yang digunakan (Tanjung et al., 2020). Keberadaan pengaman sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan, gangguan sistem, serta potensi bahaya seperti hubung singkat dan kebakaran. Hal ini sejalan dengan salah satu prinsip dasar instalasi listrik, yaitu keamanan, yang menuntut agar setiap instalasi dilengkapi dengan sistem proteksi yang memadai. Adapun jenis-jenis pengaman instalasi listrik adalah sebagai berikut.

1. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan perangkat pengaman listrik yang berfungsi untuk melindungi instalasi listrik dari gangguan arus lebih akibat beban berlebih (*overload*) maupun hubung singkat (*short circuit*). MCB umumnya digunakan pada sistem instalasi bertegangan rendah dengan kapasitas arus relatif kecil, seperti pada instalasi rumah tinggal dan gedung perkantoran, serta memiliki karakteristik pemutusan arus yang cepat dan otomatis ketika terjadi gangguan.



Gambar 7 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Sumber: (Ismansyah, 2009)

2. *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

Molded Case Circuit Breaker (MCCB) adalah alat pengaman yang memiliki fungsi serupa dengan MCB, namun dirancang untuk kapasitas arus dan daya yang lebih besar. MCCB banyak digunakan pada sistem distribusi listrik skala menengah hingga besar, seperti panel distribusi utama pada bangunan komersial dan industri. Selain kemampuan memutus arus lebih dan hubung singkat, MCCB juga dilengkapi dengan pengaturan (*adjustable trip*) sehingga tingkat proteksi dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.



Gambar 8 *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

Sumber: (Sugianto dkk., 2022)

3. *Residual Current Circuit Breaker* (RCCB)

Residual Current Circuit Breaker (RCCB) merupakan perangkat pengaman yang berfungsi untuk mendeteksi dan memutus aliran listrik apabila terjadi ketidakseimbangan antara arus masuk dan arus keluar pada suatu rangkaian, yang mengindikasikan adanya kebocoran arus ke tanah (*ground fault*). RCCB berperan sangat penting dalam meningkatkan keselamatan manusia dengan mencegah risiko sengatan listrik (elektrifikasi) serta meminimalisir bahaya kebakaran akibat kerusakan isolasi atau kontak tidak disengaja pada instalasi listrik. Namun, RCCB tidak dirancang untuk melindungi sistem dari gangguan arus lebih (*overcurrent*) atau hubung singkat (*short circuit*) secara mandiri, sehingga dalam aplikasinya harus dipasang berseri dengan pemutus arus (MCB) atau sekring.



Gambar 9 *Residual Current Circuit Breaker* (RCCB)

Sumber: (Burhan dkk., 2018)

4. *Residual Current Breaker with Overcurrent Protection* (RCBO)

Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection (RCBO) adalah perangkat pengaman yang mengintegrasikan fungsi MCB dan ELCB dalam satu unit. RCBO mampu memberikan perlindungan terhadap arus lebih, hubung

singkat, serta kebocoran arus ke tanah secara bersamaan. Dengan karakteristik tersebut, RCBO banyak diaplikasikan pada instalasi listrik modern yang menuntut tingkat keandalan dan keselamatan yang tinggi, terutama pada beban-beban kritis dan area yang berisiko tinggi terhadap bahaya listrik.



Gambar 10 *Residual Current Breaker with Overcurrent Protection (RCBO)*

Sumber: (Iqbal dkk., 2025)

1.6.6.3 Panel

Panel listrik merupakan sarana utama dalam sistem instalasi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat pengaturan, pembagian, dan pemutusan aliran energi listrik sesuai dengan kebutuhan sistem (Syahputra, 2020). Secara teknis, panel listrik adalah suatu perangkat yang tersusun atas berbagai komponen kelistrikan, seperti peralatan pengaman, penghantar, dan perangkat pengendali, yang dirancang dan dirakit secara sistematis untuk membagi, menyalurkan, serta mendistribusikan energi listrik dari sumber menuju beban secara aman dan andal (Prasetyo & Falah, 2024). Keberadaan panel listrik memiliki peran strategis dalam menjamin kontinuitas suplai daya, keandalan operasi sistem, serta keselamatan peralatan dan pengguna. Seiring dengan kompleksitas sistem kelistrikan, panel listrik diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan fungsi dan tingkat distribusinya, antara lain panel daya dan panel kontrol, panel distribusi utama (*Main Distribution Panel*), panel distribusi sekunder (*Sub Distribution Panel*), serta panel khusus seperti panel sinkronisasi dan panel beban kritis, yang masing-masing memiliki karakteristik dan peran tersendiri dalam sistem distribusi tenaga listrik.

1. Panel daya

Panel daya berfungsi sebagai pusat distribusi dan proteksi arus listrik utama. Tugas utamanya adalah menerima suplai daya dari sumber (seperti trafo utama atau genset) dan mendistribusikannya ke berbagai cabang sirkuit di seluruh gedung. Di rumah sakit, panel daya terbagi menjadi beberapa hierarki, mulai dari panel distribusi utama hingga panel distribusi sekunder untuk area tertentu, dengan desain yang memisahkan beban kritis (ICU, ruang operasi) dari beban non-kritis.

2. Panel kontrol

Panel kontrol berfungsi sebagai otak untuk mengoperasikan, mengatur, dan mengotomasi peralatan. Panel ini tidak mendistribusikan daya secara langsung ke gedung, tetapi mengendalikan bagaimana daya tersebut digunakan oleh

mesin tertentu. Komponen utamanya meliputi Kontaktor (*contactors*) untuk menghubungkan/memutus daya ke motor, relai (*relays*), *programmable logic controller* (PLC), dan *human-machine interface* (HMI). Di rumah sakit, panel kontrol mengatur operasi sistem vital seperti *air handling unit* (AHU) untuk tata udara, sistem pompa air dan *booster*, genset otomatis, serta sistem konveyor sterilisasi. Fungsinya adalah menjalankan logika operasi, seperti menyalakan pompa jika tekanan air turun atau mengatur suhu ruang operasi secara otomatis.

3. Panel distribusi utama

Main distribution panel (MDP) merupakan panel distribusi utama yang berfungsi menerima suplai listrik dari sumber utama, seperti PLN, serta sumber cadangan, seperti generator set, untuk kemudian mendistribusikannya ke seluruh beban sistem (Suhanto, 2017). Pada umumnya, MDP dicatu oleh dua sumber listrik guna menjamin kontinuitas suplai, sehingga beban esensial tetap memperoleh daya ketika terjadi gangguan pada sumber utama. Salah satu jenis MDP yang umum digunakan adalah *low voltage main distribution panel* (LVMDP), yaitu panel distribusi tegangan rendah yang berfungsi membagi daya listrik keluaran trafo *step-down* pada tegangan 380/220 V ke panel-panel distribusi berikutnya dengan kapasitas yang lebih kecil (Prasetyo & Falah, 2024).

4. Panel Distribusi Sekunder

Sub distribution panel (SDP) adalah panel yang berperan menyalurkan energi listrik dari panel distribusi utama bertegangan dan berkapasitas lebih besar, seperti LVMDP, menuju beban pada area atau ruangan tertentu sesuai kebutuhan sistem (Nanggala & Ahfas, 2024). Pada SDP, arus dan tegangan listrik dibagi ke tingkat yang lebih kecil sehingga pemanfaatan daya dapat berlangsung secara lebih efisien dan merata. Selain berfungsi sebagai pembagi daya, panel SDP umumnya dilengkapi dengan peralatan ukur untuk memantau besaran kelistrikan, seperti tegangan, arus, dan daya yang sedang digunakan. Dengan demikian, SDP memiliki peran penting dalam menjamin distribusi energi listrik yang aman, terkontrol, dan andal bagi berbagai peralatan listrik dan elektronik pada bangunan maupun fasilitas lainnya (Permana et al., 2025).

5. Panel sinkronisasi

Panel sinkronisasi merupakan panel listrik yang digunakan untuk menyelaraskan dua atau lebih sumber daya listrik, seperti PLN dan *generator set* atau antar *generator set*, sebelum dihubungkan secara paralel. Sinkronisasi dilakukan dengan menyelaraskan parameter tegangan, frekuensi, urutan fasa, dan sudut fasa agar sistem dapat beroperasi secara aman tanpa menimbulkan gangguan maupun kerusakan peralatan. Proses ini didukung oleh perangkat sinkronisasi yang terdiri dari *synchroscope* dan *synchroscope controller* (Sasongkojati & Fatkhurrohman, 2024), serta dilengkapi dengan peralatan ukur, sistem kontrol, dan proteksi untuk menjamin keandalan serta kontinuitas suplai listrik.

6. Panel beban kritis

Panel beban kritis merupakan panel distribusi yang berfungsi menyuplai energi listrik ke beban esensial yang tidak diperbolehkan mengalami pemadaman, seperti peralatan medis vital, sistem keselamatan, dan peralatan kontrol utama. Panel ini terintegrasi dengan sumber daya cadangan, seperti generator set atau

uninterruptible power supply (UPS), untuk menjamin kontinuitas suplai ketika terjadi gangguan pada sumber utama. Selain itu, panel beban kritis dilengkapi dengan proteksi selektif, sistem pemantauan operasi, serta pemisahan jalur distribusi dari beban non-kritis guna memastikan keandalan dan keselamatan operasi pada fasilitas dengan kebutuhan listrik yang tinggi.

1.6.7 Kuat Hantar Arus

Dalam rekayasa sistem tenaga listrik, khususnya pada fasilitas dengan tuntutan reliabilitas tinggi seperti rumah sakit, prinsip Kuat Hantar Arus (KHA) atau *current-carrying capacity* menempati posisi yang fundamental sebagai parameter desain keselamatan dan operasi yang kritis. KHA secara teknis didefinisikan sebagai nilai maksimum arus listrik yang dapat dialirkan secara kontinu oleh suatu penghantar (kabel) dalam kondisi pemasangan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui batas termal izin material isolasinya. Konsep ini menjadi landasan untuk mencegah kegagalan insulasi dan bahaya kebakaran yang bersumber dari instalasi listrik, sebagaimana menjadi salah satu fokus utama dalam standar nasional PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

Kesesuaian antara arus beban operasional yaitu arus yang sesungguhnya mengalir saat beban berfungsi dengan nilai KHA kabel yang terpasang merupakan indikator utama kesehatan suatu sistem distribusi. Apabila arus beban secara kontinu mendekati atau melampaui batas KHA, penghantar akan mengalami pemanasan berlebih (*overheating*) yang berakibat pada percepatan degradasi isolasi, peningkatan resistansi, dan pada kondisi terburuk menjadi inisiator kebakaran. Oleh karena itu, pemilihan dimensi (penampang) kabel tidak dilakukan secara sembarangan, melainkan harus didasarkan pada perhitungan arus beban maksimum yang diperkirakan dengan mempertimbangkan faktor pertumbuhan beban di masa depan.

KHA dijadikan dasar dalam pemilihan luas penampang penghantar agar mampu mengalirkan arus listrik sesuai dengan kebutuhan sistem (Pancane et al., 2022). Kapasitas hantar arus pada kabel tenaga dipengaruhi oleh batas kenaikan temperatur maksimum yang masih dapat diterima oleh material kabel tanpa menurunkan kinerja dan keamanannya (Hendra et al., 2020).

Untuk menentukan luas penampang, arus nominal yang melewati penghantar terlebih dahulu dihitung dengan persamaan:

Untuk sistem AC 1 fasa:

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (1)$$

Untuk sistem AC 3 fasa:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times \cos \varphi} \quad (2)$$

Dimana,

I_n = Arus nominal (A)

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan kerja (V)

V_{LL} = Tegangan *line to line* (V)

$\cos \varphi$ = Faktor daya sistem

Setelah menentukan arus nominal, menurut PUIL 2011, KHA dapat dihitung dengan persamaan:

$$KHA_{min} = 125\% \times In \quad (3)$$

KHA_{min} merupakan batas minimum kemampuan hantar arus yang harus dipenuhi agar sistem dapat beroperasi secara optimal. Arus yang berada di bawah nilai ini berpotensi tidak mampu untuk mengoperasikan peralatan secara efektif. Oleh karena itu, nilai KHA_{min} dijadikan sebagai acuan dalam pemilihan penghantar pada instalasi listrik. Dengan mempertimbangkan KHA_{min} , penghantar yang dipilih diharapkan mampu menyalurkan arus sesuai kebutuhan beban tanpa menimbulkan gangguan, sehingga kinerja sistem tetap terjaga dan efisien.

KHA_{max} merupakan batas maksimum kemampuan hantar arus yang masih dapat ditoleransi oleh suatu penghantar tanpa menimbulkan kerusakan maupun gangguan operasional. Apabila arus yang mengalir melebihi nilai KHA_{max} , kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pemanasan berlebih (*overheating*) yang dapat berujung pada kerusakan peralatan bahkan risiko kebakaran.

Dalam penentuan nilai KHA_{max} , perlu diperhitungkan faktor koreksi kerapatan kabel (F_{kp}) serta faktor koreksi suhu lingkungan (F_{kt}) di sekitar penghantar. Kerapatan kabel memengaruhi kapasitas penghantar dalam menyalurkan arus tanpa menimbulkan pemanasan berlebih, di mana penghantar dengan kerapatan yang lebih tinggi umumnya memiliki kemampuan hantar arus yang lebih besar dibandingkan dengan yang lebih rendah. Nilai dari faktor koreksi untuk kabel dapat dilihat pada Lampiran 4 dan 5.

Adapun nilai KHA_{max} yang dikondisikan dengan faktor koreksi suhu dan kerapatan kabel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$KHA_{max} = F_{kp} \times F_{kt} \times KHA_{penghantar} \quad (4)$$

Dimana,

F_{kp} = faktor koreksi kerapatan kabel

F_{kt} = faktor koreksi suhu di sekitar kabel

$KHA_{penghantar}$ = nilai $KHA_{penghantar}$ terpasang

Selain itu, suhu lingkungan turut berpengaruh terhadap karakteristik resistansi penghantar. Peningkatan suhu lingkungan akan menyebabkan kenaikan resistansi material penghantar, yang berdampak pada penurunan kemampuan maksimum arus yang dapat dialirkan secara aman.

Menurut Buang & Rombekila (2024), beberapa faktor yang dapat mempengaruhi KHA antara lain:

1. Peningkatan tahanan, penuaan kabel listrik akibat oksidasi dan kerusakan isolasi menyebabkan peningkatan resistansi dan rugi-rugi panas. Hal ini menurunkan kapasitas hantar arus efektif kabel dan meningkatkan risiko *overheating*.
2. Degradasi isolasi, degradasi material isolasi kabel seiring waktu mengurangi kemampuan dielektriknya, sehingga meningkatkan risiko arus bocor. Hal ini

secara langsung menurunkan rating arus aman kabel dan membahayakan keselamatan operasional.

3. Perubahan sifat termal, penurunan konduktivitas termal dan kemampuan disipasi panas pada kabel seiring waktu menyebabkan akumulasi panas yang berlebih. Hal ini memaksa penurunan rating arus aman untuk mencegah kerusakan termal pada isolasi.
4. Kerusakan mekanis, tekanan mekanis dapat merusak struktur fisik kabel, yang berpotensi meningkatkan resistansi dan melemahkan isolasi. Kerusakan ini pada akhirnya menurunkan kemampuan dan keamanan kabel dalam menghantarkan arus listrik.
5. Perubahan kimiawi, paparan lingkungan kimiawi yang korosif dapat menyebabkan degradasi material kabel melalui reaksi kimia. Degradasi ini merusak integritas konduktor dan isolasi, sehingga menurunkan rating arus aman kabel.
6. Penuaan material, degradasi material akibat penuaan alami dalam jangka panjang menurunkan efisiensi konduksi dan integritas isolasi kabel. Kondisi ini mengurangi kapasitas hantar arus dan meningkatkan risiko kegagalan yang mengancam keandalan sistem distribusi listrik.

Selain itu, luas penampang, bahan kabel, jenis isolasi, suhu lingkungan, dan jumlah kawat berhimpit juga dapat mempengaruhi nilai KHA. Penggunaan kabel dengan KHA di bawah standar menyebabkan arus operasional melebihi kapasitasnya, sehingga memicu pemanasan berlebih dan peningkatan resistansi. Akibatnya, rugi-rugi daya membesar secara signifikan akibat kenaikan kuadrat arus dan linier resistansi. Standar KHA terus-menerus menurut PUIL 2011 dapat dilihat pada lampiran 1 hingga lampiran 3.

1.6.8 Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan pada suatu bidang kerja menggambarkan besarnya fluks cahaya yang diterima oleh permukaan bidang tersebut (Parera et al., 2018). Besaran ini dinyatakan dalam satuan lux (E), di mana satu lux setara dengan satu lumen yang tersebar merata pada luas satu meter persegi ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$). Intensitas penerangan digunakan sebagai parameter untuk menilai kecukupan pencahayaan terhadap aktivitas visual manusia, karena berpengaruh langsung terhadap kenyamanan visual, ketelitian kerja, dan keselamatan pengguna ruang.

1.6.9 Tingkat Pencahayaan

Menurut SNI 6197:2020, tingkat pencahayaan menggambarkan besarnya fluks cahaya (lumen) yang diterima oleh suatu permukaan atau bidang kerja, yang secara kuantitatif dinyatakan sebagai hasil perbandingan antara fluks cahaya dengan luas permukaan yang disinari dan dinyatakan dalam satuan lux. Dalam penerapannya, tingkat pencahayaan pada suatu ruang umumnya dinilai berdasarkan nilai rata-rata pencahayaan yang terjadi pada bidang kerja, karena besaran ini dianggap mewakili kondisi pencahayaan yang dialami pengguna ruang (Fitriani et al., 2021). Bidang kerja didefinisikan sebagai bidang horizontal imajiner yang berada pada ketinggian sekitar $\pm 0,8$ m dari permukaan lantai dan mencakup seluruh area ruangan. Tingkat pencahayaan rata-rata dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{rata-rata} = \frac{\Phi_{total} \times Kp \times Kd}{A} \quad (5)$$

Dimana,

Φ_{total} = Fluks cahaya dari total semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)

Kp = koefisien penggunaan

Kd = koefisien depresiasi (penyusutan)

A = luas bidang kerja (m^2)

Koefisien penggunaan (Kp) merupakan besaran yang menyatakan perbandingan antara fluks cahaya yang diterima pada bidang kerja dengan total fluks cahaya yang dipancarkan oleh seluruh lampu. Nilai Kp mencerminkan efektivitas armatur dalam mendistribusikan intensitas cahaya, di mana semakin besar nilai Kp menunjukkan semakin baik kinerja distribusi cahaya dari armatur tersebut. Sementara itu, koefisien depresiasi (Kd) menggambarkan besarnya penurunan tingkat pencahayaan akibat penggunaan instalasi pencahayaan dalam jangka waktu tertentu dan sering dikaitkan dengan rugi-rugi cahaya. Kd didefinisikan sebagai perbandingan antara tingkat pencahayaan setelah periode pemakaian tertentu terhadap tingkat pencahayaan awal pada saat instalasi masih baru. Pada ruangan dan armatur dengan kondisi pemeliharaan yang baik, nilai Kd umumnya diasumsikan sebesar 0,8, sedangkan pada ruangan dengan tingkat kebersihan dan pemeliharaan yang kurang baik, nilai Kd berkisar antara 0,6 hingga 0,7. Penentuan jumlah armatur pencahayaan dalam suatu ruangan dilakukan berdasarkan tingkat iluminasi yang ditargetkan sesuai fungsinya. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, digunakan perhitungan dengan rumus sebagai berikut (Suardi et al., 2025). Berdasarkan nilai lux rata-rata yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah armatur pencahayaan yang dibutuhkan untuk memenuhi tingkat iluminasi tersebut pada seluruh area ruangan. Perhitungan ini mempertimbangkan luas ruangan serta karakteristik lampu dan armatur yang digunakan

$$N = \frac{E \times A}{\Phi \times CU \times LLF} \quad (6)$$

Dimana,

N = jumlah armatur yang dibutuhkan dalam suatu ruangan

E = Tingkat pencahayaan yang dibutuhkan dalam suatu ruangan (lux)

A = luas ruangan (m^2)

Φ = Fluks cahaya lampu yang dipilih (lumen)

CU = *Coefficient of Utilization* (Kp)

LLF = *Light Loss Factor* (Kd)

1.6.9.1 Standar Tingkat Pencahayaan

Standar tingkat pencahayaan merupakan pedoman teknis yang mengatur nilai iluminansi minimum atau rentang yang direkomendasikan untuk berbagai jenis ruang dan aktivitas. Adapun standar-standar yang mengatur tingkat pencahayaan antara lain:

1. SNI 6197:2020 tentang Konservasi Energi Sistem Pencahayaan
2. SNI 03-6575-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung

3. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit
4. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit

Standar-standar ini dikembangkan berdasarkan penelitian ergonomi visual untuk meminimalkan kelelahan mata, meningkatkan akurasi visual, dan memastikan keselamatan.

Tabel 2 Tingkat pencahayaan dan renderasi warna

Fungsi Ruangan	Tingkat pencahayaan rata-rata (Erata-rata) minimum (lux)^{a)}	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
Laundry	200	80
Tangga	100	80
Gudang	50	80
Dapur	250	80
Garasi	50	80
Perkantoran		
Ruang resepsionis	300	80
Ruang direktur	350	80
Ruang kerja	350	80
Ruang komputer	150	80
Ruang rapat	300	80
Ruang gambar	750	80
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

Fungsi Ruangan	Tingkat pencahayaan rata-rata (Erata-rata) minimum (lux)^{a)}	Renderasi warna minimum
Ruang gambar	750	80
Ruang Auditorium (exhibition)	300	80
Lobby	100	80
Tangga	100	80
Kantin	200	80
Restaurant		
Restaurant cepat saji	250	80
Fine Dining	30	80
Cafetaria	150	80
Coffee shop	100	80
Lounge	100	80
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	1000	90
Ruang bersalin	1000	90
Laboratorium	500	90
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	80
Ruang koridor	150	80
Ruang kantor staff	350	80
Kamar mandi & toilet pasien	200	80
Bandara		

Fungsi Ruangan	Tingkat pencahayaan rata-rata (Erata-rata) minimum (lux) ^{a)}	Renderasi warna minimum
ATM	200	80
Conveyer bagasi	200	80
Ruang Pemeriksaan Imigrasi	300	80
Tangga berjalan (<i>escalators</i>)	50	80
Ruang Tunggu (<i>gate areas</i>)	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 buku 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/ <i>tape</i> , mesin cuci dan lain-lain)	250	80
Toko alat musik dan olahraga	250	80
Industri		
Gudang	100	80
Pekerjaan kasar	200	80
Pekerjaan menengah	500	80
Pekerjaan halus	1000	90
Pekerjaan amat halus	2000	90
Pemeriksaan warna	750	90
Rumah Ibadah		
Gudang	100	80
Kantor / Ruang kerja	300	80

Sumber : (SNI 6197:2020)

Berdasarkan Permenkes Nomor. 7 Tahun 2019, standar baku mutu intensitas pencahayaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Standar baku mutu intensitas pencahayaan menurut jenis ruangan/unit

No	Ruangan/Unit	Intensitas Cahaya (lux)	Faktor Refleksi Cahaya (%)	Keterangan
1	Ruang pasien			
	- Saat tidak tidur	250	Maksimal	Warna cahaya sedang
	- Saat tidur	50	30	
	Rawat jalan	200		Ruangan tindakan
2	Unit Gawat Darurat (UGD)	200	Maksimal	Ruangan tindakan
			60	
	R. Operasi Umum	300–500	Maksimal	Warna cahaya sejuk
			30	Warna cahaya
3	Meja operasi	10.000	Maksimal	sejuk atau
		20.000	9	sedang
				tanpa bayangan
4	Anestesi, pemulihan	300 – 500	Maksimal	Warna cahaya sejuk
5	Endoscopy, lab	75–100		
6	Sinar X	Minimal 60	Maksimal	Warna cahaya sejuk
7	Koridor	Minimal 100	30	
8	Tangga	Minimal 100		Malam hari
9	Administrasi/Kantor	Minimal 100		Warna cahaya Sejuk
10	Ruang alat/gudang	Minimal 200		
11	Farmasi	Minimal 200		
12	Dapur	Minimal 200		
13	Ruang cuci	Minimal 100		
14	Toilet	Minimal 100		
15	Ruang isolasi khusus penyakit	0,1 - 0,5	Maksimal	Warna cahaya Biru
16	Ruang luka bakar	100–200	Maksimal	Warna cahaya sejuk
			10	

Sumber : (Permenkes Nomor. 7 Tahun 2019)

Adapun tingkat pencahayaan pada rumah sakit berdasarkan Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022 dibagi menjadi beberapa kategori ruangan sebagai berikut.

1. Ruang gawat darurat

Tabel 4 Tingkat pencahayaan pada ruang gawat darurat

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaan)
Area/ruangan pos perawat	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux; dapat ditambahkan lampu <i>down light spot</i> dengan penutup <i>cover</i> bila dibutuhkan penerangan khusus
Area/ruangan alat medis IGD	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 200 lux;
Ruangan resusitasi	Pencahayaan alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Ruangan tindakan umum	Pencahayaan alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Ruangan tindakan kebidanan	
Ruangan tindakan bedah	
Ruangan tindakan non bedah	
Ruang tindakan anak	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux;
Ruangan observasi	
<i>Intermediate ward</i>	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux;

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

2. Ruang rawat jalan

Tabel 5 Tingkat pencahayaan pada ruang rawat jalan

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaan)
Ruangan administrasi	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 200 lux; perangkat pencahayaan dilengkapi dengan <i>cover</i>
Pos perawat	Pencahayaan alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux; dapat ditambahkan lampu <i>down light spot</i> dengan penutup <i>cover</i> bila dibutuhkan penerangan khusus
Ruangan pemeriksaan dan konsultasi (klinik) spesialis kesehatan anak; spesialis penyakit dalam; spesialis paru dan pernafasan; spesialis jantung dan pembuluh darah; spesialis bedah; spesialis orthopedi; spesialis bedah	Pencahayaan alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
urologi; spesialis bedah plastik; spesialis obstetri dan ginekologi; spesialis mata;THT/spesialis THT; syaraf; kulit dan kelamin/spesialis kulit dan kelamin;	
Ruangan tindakan penyakit dalam	Pencahayaannya alami dioptimalkan;
Ruangan tindakan penyakit dalam infeksius	pencahayaannya buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaannya 1000 lux
Ruangan tindakan penyakit dalam PIE	
Ruangan pemeriksaan dan konsultasi (klinik) gigi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 300 lux;
Ruangan pemeriksaan dan konsultasi (klinik) jiwa/psikiatri	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 300 lux;
Ruang pemeriksaan dan konsultasi gizi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 300 lux;
Ruangan laktasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 100 lux;

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

3. Ruang rawat inap

Tabel 6 Tingkat pencahayaannya pada ruang rawat inap

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Ruangan pos perawat	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 300 lux; dapat ditambahkan lampu <i>down light spot</i> dengan penutup <i>cover</i> bila dibutuhkan penerangan khusus
Selasar/koridor ruang rawat inap	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya ± 100 lux;
Ruangan perawatan	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya 250 lux dan 50 lux untuk tidur;
Ruangan tindakan penyakit dalam	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaannya buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaannya 1000 lux
Ruangan tindakan	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaannya buatan dengan intensitas ± 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaannya 1000 lux
Ruangan perawatan isolasi infeksius tekanan negatif (N)	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaannya 250 lux dan 50 lux untuk tidur;
Ruangan perawatan isolasi infeksius tekanan netral/standar/ <i>equal</i> (E)	

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Ruangan perawatan isolasi infeksius tekanan positif (P)	
Perawatan stabilisasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan 250 lux dan 50 lux untuk tidur;
Perawatan detoksifikasi	
Sekelompok	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan 300-1000 lux;
Ruangan konsultasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan $\pm$ 200 lux;
Gudang bersih/steril	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan $\pm$ 200 lux;
Dapur kecil (pantri)	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan $\pm$ 200 lux;

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

4. Ruang perawatan intensif

Tabel 7 Tingkat pencahayaan pada ruang perawatan intensif

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Ruangan perawatan intensif (ICU/ICCU/PICU)	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas $\pm$ 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Ruangan perawatan intensif (ICU/ICCU/RICU/PICU) isolasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas $\pm$ 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Ruangan perawatan intensif Neonatus (NICU)	Ruangan mengoptimalkan pencahayaan alami, intensitas pencahayaan 300-1000 lux.
Ruang laktasi + KIE	Pencahayaannya alami dioptimalkan
Ruangan perawatan <i>high care</i>	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas $\pm$ 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Ruangan perawatan perinatologi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; pencahayaan buatan dengan intensitas $\pm$ 300 lux; untuk tindakan dapat disediakan pencahayaan 1000 lux
Pos perawat	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan $\pm$ 300 lux;
Ruangan perawatan intensif psikiatri/UPIP	Pencahayaannya alami dioptimalkan
Gudang alat medis	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan rata-rata 100 lux;

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Gudang bersih/steril	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 100 lux;
Ruangan administrasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 200 lux;
Ruangan loker pengunjung	Pencahayaannya alami dioptimalkan
Ruangan petugas (kepala & staf)	Pencahayaannya alami dioptimalkan

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

5. Ruang operasi sentral

Tabel 8 Tingkat pencahayaan pada ruang operasi sentral

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Ruangan persiapan pasien	Intensitas cahaya 300 lux
Ruangan monitoring perawat	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux; dapat ditambahkan lampu <i>down light spot</i> dengan penutup <i>cover</i> bila dibutuhkan penerangan khusus
Koridor bersih	Intensitas cahaya ± 500 lux
Ruangan operasi minor	
Ruangan operasi umum	
Ruangan operasi mayor/khusus	Intensitas pencahayaan minimal 1000 lux
Ruangan operasi mata	
Ruangan operasi infeksi	
Ruangan <i>cathlab</i>	
Ruang pemulihan	Intensitas cahaya ± 300 lux
Ruang penyimpanan peralatan	Intensitas cahaya ± 500 lux
Ruangan obat/farmasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan
Gudang bersih/steril	Pencahayaannya alami dioptimalkan
Ruangan ganti/loker petugas	Intensitas cahaya ± 200 lux
Gudang kotor	Pencahayaannya alami dioptimalkan

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

6. Ruang laboratorium

Tabel 9 Tingkat pencahayaan pada ruang laboratorium

Nama Ruang	Prasarana (Pencahayaannya)
Ruangan administrasi	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 300 lux
Ruangan diagnostik	Pencahayaannya alami dioptimalkan; intensitas pencahayaan ± 200 lux;

Sumber : (Permenkes Nomor. 40 Tahun 2022)

1.6.9.2 Pengaruh Lingkungan Ruang terhadap Pencahayaan

Karakteristik lingkungan ruang merupakan faktor krusial yang menentukan kinerja akhir sistem pencahayaan buatan. Interaksi antara cahaya dan permukaan interior

menghasilkan kondisi iluminasi yang secara langsung memengaruhi efisiensi energi serta kenyamanan visual. Reflektansi permukaan ruang, seperti dinding, plafon, dan lantai, berperan sebagai elemen optik pasif yang mengendalikan distribusi cahaya pantul di dalam ruangan. Menurut Singh & Rawal (2011), peningkatan nilai reflektansi permukaan memiliki hubungan berbanding lurus dengan penurunan kebutuhan daya penerangan untuk mencapai tingkat iluminansi yang diinginkan. Hasil simulasi yang dilaporkan menunjukkan bahwa peningkatan reflektansi dari 0% hingga 90% mampu menurunkan *connected load* secara signifikan, dari 57,8 menjadi 1,3 W/m²/100 lx, dengan tetap mempertahankan standar iluminansi dan kenyamanan visual. Kondisi ini menegaskan bahwa permukaan dengan reflektansi tinggi, seperti plafon berwarna terang dengan nilai reflektansi di atas 80%, berfungsi sebagai *light booster* yang meningkatkan keseragaman pencahayaan sekaligus menekan konsumsi energi sistem.

Selain faktor reflektansi, geometri ruang dan keberadaan pencahayaan alami turut membentuk konteks lingkungan pencahayaan secara keseluruhan. Ruang dengan tinggi plafon besar atau rasio dimensi yang tidak proporsional memerlukan pola distribusi cahaya yang dirancang secara khusus, sementara pemanfaatan cahaya alami yang tidak terkontrol dapat menimbulkan silau dan variasi iluminansi yang mengganggu. Oleh karena itu, evaluasi sistem pencahayaan secara menyeluruh perlu mempertimbangkan keterpaduan antara sumber cahaya buatan dan alami, karakteristik permukaan ruang, serta tuntutan tugas visual pada setiap zona fungsional rumah sakit, guna mewujudkan lingkungan visual yang mendukung ketelitian medis, kenyamanan penghuni, dan efisiensi operasional yang berkelanjutan.

1.6.9.3 Pengaruh Pemilihan Warna Cat Dinding terhadap Efektivitas Pencahayaan

Sebagai fasilitas pelayanan kesehatan, rumah sakit merupakan lingkungan yang digunakan oleh pasien dengan kondisi fisik dan psikologis yang relatif rentan, sehingga kualitas lingkungan ruang menjadi faktor penting dalam menunjang proses penyembuhan dan kenyamanan. Salah satu aspek lingkungan ruang yang berperan signifikan adalah pemilihan warna tembok. Warna dinding tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika, tetapi juga memengaruhi persepsi visual, kondisi psikologis, kenyamanan termal, serta kualitas pencahayaan ruang.

Selain pemilihan sumber cahaya, warna ruangan perlu dipertimbangkan karena berkaitan langsung dengan kenyamanan pengguna dan efisiensi konsumsi energi listrik. Menurut Prianto (2010), warna dinding berpengaruh terhadap persepsi suhu ruang dan besarnya energi listrik yang dikonsumsi, terutama yang berkaitan dengan sistem pencahayaan dan pengkondisian udara. Warna dengan tingkat reflektansi tinggi cenderung meningkatkan pemantulan cahaya, sehingga kebutuhan pencahayaan buatan dapat dikurangi dan konsumsi energi listrik menjadi lebih efisien.

Ditinjau dari efek psikologisnya, warna dapat diklasifikasikan ke dalam golongan warna panas, warna dingin, dan warna antara (*intermediate*). Menurut Marysa & Anggraita (2016), berdasarkan skema psikologi warna yang mengacu pada sistem lingkaran warna Oswald, warna panas berpuncak pada warna jingga, sedangkan warna dingin berpuncak pada warna biru kehijauan. Warna-warna yang mendekati merah dan jingga termasuk golongan warna panas yang memberikan efek psikologis hangat,

menggairahkan, dan merangsang, sementara warna yang mendekati biru kehijauan termasuk golongan warna dingin yang memberikan kesan sejuk, damai, dan menenangkan. Warna kuning dan turunannya memberikan kesan hangat dan menyenangkan, sedangkan warna biru dan hijau, yang banyak dijumpai di alam, diasosiasikan dengan ketenangan, kesegaran, dan perasaan positif. Sebaliknya, warna ungu dapat menimbulkan kesan melankolis, sementara warna hitam cenderung memberi kesan berat dan kurang nyaman, dan warna putih memberikan kesan bersih, terang, dan terbuka.

Dalam konteks bangunan rumah sakit, pemilihan warna tembok juga berkaitan erat dengan aspek pelayanan kesehatan mental dan fisik. Menurut Ardini & Sarihati (2017), penggunaan warna dapat membantu mendukung pelayanan kesehatan karena pasien pada umumnya berada dalam kondisi emosional yang sensitif. Kelembutan dan kekuatan warna mampu memengaruhi perubahan emosi pasien, sehingga pemilihan warna tertentu disarankan untuk ruang-ruang rumah sakit. Warna hangat seperti koral, buah persik, dan kuning, serta warna sejuk seperti hijau terang dan aqua, dinilai sesuai untuk mendukung kenyamanan pasien. Untuk ruang tunggu dan ruang perawatan umum, warna-warna netral seperti putih oyster, pasir, dan beige dengan aksen warna tertentu, seperti hijau emerald, turquoise, atau biru safir, dapat menciptakan suasana yang menenangkan tanpa menimbulkan kelelahan visual.

Selain aspek psikologis dan kenyamanan, warna tembok juga memengaruhi kinerja pencahayaan secara teknis. Warna permukaan langit-langit, dinding, dan lantai memengaruhi pemantulan cahaya yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan koefisien pemakaian (*utilization factor*). Menurut Wijaya & Astuti (2025), karakteristik reflektansi permukaan ruang berpengaruh langsung terhadap nilai koefisien pemakaian dalam perencanaan sistem pencahayaan, sehingga pemilihan warna tembok menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan efisiensi dan kualitas pencahayaan ruang (sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 9).

Tabel 10 Persentase pantulan cahaya

Warna Cat	Persentase Pantulan Cahaya
Putih	85%
Kuning	75%
Abu-abu terang	75%
Biru terang	55%
Biru gelap	10%
Maple	7 %
Mahogany	12%
Walnut	16%

Sumber : (Wijaya & Astuti, 2024)

1.6.10 Sistem Suplai Energi Listrik Rumah Sakit

IEC 60364-7-710 (2021) mengatur bahwa instalasi listrik pada lokasi medis wajib dilengkapi dengan lebih dari satu sumber pasokan listrik guna menjamin keselamatan pasien serta kontinuitas pelayanan kesehatan. Sumber pasokan tersebut terdiri atas sumber normal yang pada umumnya berasal dari jaringan listrik umum (PLN) dan

sumber pasokan pengganti yang disediakan melalui *generator set* (genset). Keberadaan sumber pasokan pengganti ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa peralatan medis dan sistem pendukung kritis tetap beroperasi secara andal ketika terjadi gangguan, penurunan kualitas, atau pemadaman pada sumber pasokan normal. Selain itu, standar ini menekankan pentingnya sistem pengalihan pasokan yang cepat dan andal agar interupsi suplai daya tidak menimbulkan risiko terhadap keselamatan pasien, khususnya pada area dengan tingkat ketergantungan tinggi terhadap peralatan listrik seperti ruang operasi, unit perawatan intensif, dan unit gawat darurat.

1.6.10.1 Sumber Energi Listrik Utama

Sumber energi listrik utama pada rumah sakit pada umumnya berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai penyedia tenaga listrik publik. Pasokan listrik dari PLN berfungsi sebagai sumber daya utama (*normal power source*) yang menyuplai seluruh kebutuhan listrik rumah sakit dalam kondisi operasi normal, baik untuk beban medis maupun nonmedis. Rumah sakit umumnya menerima pasokan listrik dari jaringan Tegangan Menengah (TM) PLN untuk menjamin kapasitas daya dan keandalan suplai. Level tegangan yang lazim digunakan adalah 20 kV, 3 fasa, dan 50 Hz. Pasokan TM dari PLN diturunkan ke tegangan rendah melalui gardu distribusi (20 kV / 400 V) untuk operasional rumah sakit.

1.6.10.2 Generator Set (Genset)

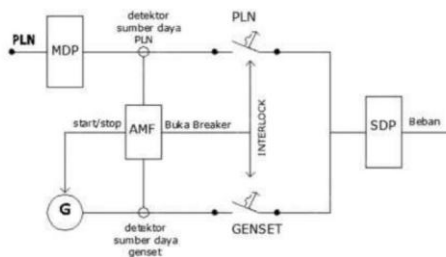
Suplai utama energi listrik yang berasal dari PLN memiliki peran dominan dalam memenuhi kebutuhan listrik fasilitas kesehatan. Namun demikian, penyaluran energi listrik dari PLN tidak selalu berlangsung secara berkesinambungan, karena dalam kondisi tertentu dapat terjadi pemadaman yang bersifat terencana maupun tidak terencana. Kondisi ini menuntut adanya perencanaan suplai energi cadangan yang andal sebagai sistem *back-up* untuk menjamin kontinuitas pelayanan rumah sakit Naibaholo & Yoverly (2022).

Generator set (genset) merupakan salah satu komponen utama dalam sistem suplai energi cadangan di rumah sakit yang berfungsi untuk menyediakan sumber listrik alternatif ketika terjadi gangguan pada pasokan listrik utama dari PLN. Genset bekerja dengan mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik, di mana generator umumnya dipasang satu poros dengan mesin penggerak. Menurut Naibaholo & Yoverly (2022), jenis generator yang lazim digunakan pada genset adalah generator sinkron atau alternator karena memiliki karakteristik yang sesuai untuk pembangkitan energi listrik dengan kestabilan tegangan dan frekuensi yang baik.

Mesin penggerak pada genset umumnya berupa mesin pembakaran dalam, dengan jenis yang paling banyak digunakan adalah mesin diesel berbahan bakar solar, meskipun pada beberapa aplikasi juga digunakan mesin berbahan bakar bensin. Menurut Sugianto et al. (2022), penggunaan mesin diesel pada genset dinilai lebih andal untuk kebutuhan daya besar dan operasi kontinu, sehingga lebih sesuai diterapkan pada fasilitas dengan tingkat keandalan tinggi seperti rumah sakit.

Agar dapat beroperasi secara andal dan otomatis, genset dilengkapi dengan sistem kontrol canggih. Panel Kontrol Genset berperan sebagai pusat kendali yang mengatur operasi, memonitor kinerja, dan melindungi unit tersebut. Inti dari otomasi ini adalah

integrasi antara *Automatic Transfer Switch (ATS)* dan *Automatic Main Failure (AMF)*. AMF berfungsi secara terus-menerus memonitor ketersediaan dan kualitas tegangan dari sumber utama (PLN). Apabila AMF mendeteksi kegagalan (fail) atau ketidaknormalan pada pasokan PLN, maka ia akan mengirimkan sinyal perintah ke ATS. Selanjutnya, ATS secara otomatis akan memindahkan (transfer) seluruh beban listrik rumah sakit dari sumber PLN ke sumber genset dalam waktu yang sangat singkat, sehingga kesinambungan daya tetap terjaga. Proses sebaliknya terjadi secara otomatis ketika pasokan PLN kembali normal (Sasongkojati & Fatkhurrohman, 2024).



Gambar 11 Diagram sistem catu daya listrik dengan ATS/AMF
Sumber : (Mufadil, 2025)

Selain aspek teknis, penyediaan genset di rumah sakit juga diatur dalam regulasi. Menurut Permenkes Nomor 40 Tahun 2022, rumah sakit diwajibkan menyediakan generator set dengan jumlah minimal dua unit. Kapasitas genset ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kurva beban dan disarankan mampu mengambil alih hingga 100% beban listrik yang disuplai oleh PLN. Sebagai ilustrasi, apabila kapasitas terpasang dari PLN sebesar 500 kVA, maka genset yang disediakan dapat berupa dua unit masing-masing berkapasitas 300 kVA, sehingga menjamin kontinuitas suplai listrik dan meningkatkan keandalan sistem energi cadangan rumah sakit. Selain itu, waktu peralihan pada saat suplai listrik terputus dari PLN ke genset maksimal 15 detik.



Gambar 12 Generator Set
Sumber : (Sugianto dkk., 2022)

1.6.10.3 Uninterruptible Power Supply (UPS)

UPS merupakan salah satu komponen penting dalam sistem suplai energi cadangan rumah sakit yang berfungsi menyediakan daya listrik sementara ketika terjadi gangguan atau pemadaman dari sumber utama PLN. Keberadaan UPS bertujuan untuk

memastikan kontinuitas suplai listrik ke beban kritis sehingga tidak terjadi *flicker* maupun pemadaman sesaat, terutama pada periode transisi sebelum sumber listrik cadangan berupa genset beroperasi secara penuh (Supriyadi et al., 2021).

Secara sistem, UPS terhubung antara sumber listrik dan beban, dengan dukungan sistem penyimpanan energi, umumnya berupa baterai, yang mampu menyuplai daya listrik secara instan tanpa interupsi. Menurut Najoran et al. (2017), UPS tidak hanya berfungsi sebagai penyedia daya cadangan, tetapi juga berperan dalam meningkatkan kualitas daya dengan menyaring berbagai gangguan kelistrikan, seperti fluktuasi tegangan, *noise*, dan ketidakstabilan frekuensi, sehingga beban menerima suplai listrik yang lebih stabil dan andal.

Dalam operasionalnya di rumah sakit, UPS umumnya diintegrasikan dengan sistem kontrol otomatis yang melibatkan ATS dan dikendalikan oleh PLC. Sistem ini dapat dioperasikan dalam mode otomatis maupun manual. Pada mode otomatis, ketika suplai listrik dari PLN terputus, UPS akan segera mengambil alih penyediaan daya ke beban sekaligus memicu proses start genset. Setelah genset mencapai kondisi operasi yang stabil, suplai listrik akan dialihkan secara bertahap dari UPS ke genset untuk menopang beban secara keseluruhan (Supriyadi et al., 2021).

Menurut Najoran et al. (2017), fungsi utama UPS adalah menyediakan suplai daya listrik sementara (*short-term supply*) pada saat terjadi pemadaman atau *trip* pada sumber listrik utama. Keberadaan UPS memastikan beban tetap mendapatkan pasokan listrik tanpa jeda sehingga kontinuitas operasional dapat terjaga. Selain fungsi utamanya tersebut, UPS juga memiliki beberapa fungsi pendukung yang sangat penting, yaitu sebagai berikut:

1. Menyediakan waktu yang cukup untuk proses pengoperasian genset, baik diesel generator maupun *emergency generator*, sebagai sumber pengganti suplai listrik utama ketika terjadi gangguan.
2. Memberikan kesempatan yang memadai untuk melakukan pengamanan sistem, termasuk proses *backup* data dan pelaksanaan *shutdown* sistem operasi secara benar, sehingga sistem komputer dan peralatan elektronik terhindar dari kerusakan perangkat lunak, kehilangan data, maupun kerusakan perangkat keras akibat gangguan listrik.
3. Menjaga kestabilan tegangan keluaran secara otomatis dengan menyesuaikan perubahan pada sisi input, sehingga peralatan sensitif menerima suplai tegangan yang stabil dan sesuai dengan spesifikasi operasionalnya.
4. Dilengkapi dengan kemampuan diagnosis dan manajemen internal yang memungkinkan pemantauan kondisi UPS secara berkelanjutan, sehingga potensi gangguan dapat dideteksi dan diantisipasi lebih dini oleh pengguna.

Gambar 13 *Uninterruptible Power Supply (UPS)*

Sumber : (Pratama & Cahyono, 2022)

Menurut Permenkes Nomor 40 Tahun 2022, kapasitas UPS harus disesuaikan dengan kebutuhan tiap-tiap peralatan. Waktu penggunaan dari kapasitas baterai adalah minimal 15 menit. Selain itu, UPS dapat disediakan secara terpusat maupun masing-masing ruangan dan alat.

Tabel 11 Ketentuan sumber suplai energi listrik pada rumah sakit

No.	Sumber	Ketentuan
1.	PLN	Menggunakan sambungan tegangan menengah; menyediakan panel TM dan trafo
2.	Genset	2 unit, tiap unit menanggung 100% beban rumah sakit Waktu peralihan 15 detik
3.	UPS	Dapat menanggung beban minimal selama 15 menit

Sumber : (Permenkes No. 40, 2022)

1.6.11 Ketidakseimbangan Beban

Beban tidak seimbang merupakan kondisi ketika pembebanan pada sistem tiga fasa tidak terdistribusi secara merata, sehingga salah satu fasa menanggung beban yang lebih dominan dibandingkan dua fasa lainnya. Kondisi ini menyebabkan sistem tidak lagi bekerja pada keadaan ideal, karena besarnya arus atau daya pada masing-masing fasa menjadi berbeda. Menurut Ektianto & Darwanto (2021), beban tidak seimbang adalah keadaan ketika salah satu fasa mendominasi dari ketiga fasa yang ada. Dengan demikian, ketidakseimbangan beban dapat dipahami sebagai salah satu permasalahan utama dalam sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa, karena distribusi pembebanan yang tidak merata akan memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

Ketidakseimbangan beban terjadi apabila satu atau lebih syarat dari kondisi beban seimbang tidak terpenuhi (Siregar & Harahap, 2021). Dalam keadaan seimbang, ketiga vektor arus atau tegangan seharusnya memiliki besar yang sama dan saling membentuk sudut 120° satu sama lain. Namun, dalam praktiknya kondisi tersebut sering kali tidak tercapai. Terdapat tiga kemungkinan kondisi beban tidak seimbang, yaitu: pertama, ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain; kedua, ketiga vektor tidak sama besar tetapi masih membentuk sudut 120° satu sama lain; dan ketiga, ketiga vektor tidak sama besar serta tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. Penjelasan ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tidak hanya dipengaruhi oleh

perbedaan besarnya beban pada tiap fasa, tetapi juga oleh perubahan hubungan sudut antar vektor dalam sistem tiga fasa.

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antar fasa, akan timbul arus yang mengalir pada penghantar netral. Pada kondisi sistem yang seimbang, resultan arus dari ketiga fasa seharusnya bernilai nol sehingga tidak ada arus yang mengalir pada penghantar netral. Akan tetapi, ketika terjadi ketidakseimbangan, resultan arus ketiga fasa tidak lagi saling meniadakan dan menyebabkan munculnya arus netral. Arus yang mengalir pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan beban ini dapat menimbulkan *losses* atau rugi-rugi daya (Setiadji dkk., 2006). Rugi-rugi tersebut pada akhirnya akan menurunkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik dan dapat memengaruhi keandalan penyaluran energi listrik kepada konsumen.

Untuk mengetahui tingkat ketidakseimbangan beban pada sistem tiga fasa, digunakan perhitungan berbasis arus fasa. Menurut Rahmawati dkk. (2021), perhitungan ketidakseimbangan beban menggunakan persamaan berikut.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (7)$$

$I_{rata-rata}$ dari sistem digunakan sebagai acuan untuk membandingkan setiap fasa. Setelah $I_{rata-rata}$ diperoleh, rasio arus masing-masing fasa terhadap $I_{rata-rata}$ dihitung dengan persamaan berikut.

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (8)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (9)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (10)$$

Rasio arus masing-masing fasa menunjukkan seberapa besar arus pada tiap fasa menyimpang dari kondisi ideal seimbang. Fasa R direpresentasikan oleh a , fasa S oleh b , dan fasa T oleh c , yang masing-masing diperoleh dengan membagi arus fasa terkait dengan arus rata-rata. Dalam kondisi sistem yang seimbang, setiap fasa memiliki koefisien sama dengan satu. Berdasarkan kondisi ini, persentase ketidakseimbangan beban dapat ditentukan melalui persamaan berikut, yang memberikan ukuran deviasi masing-masing fasa terhadap keadaan ideal seimbang.

$$Ketidakseimbangan = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (11)$$

Mengacu pada IEEE 446 (1995), tingkat ketidakseimbangan beban pada sistem tiga fasa direkomendasikan tidak melebihi batas maksimum 20%. Standar ini memberikan pedoman bagi perancangan dan evaluasi distribusi daya agar performa sistem tetap optimal dan risiko gangguan dapat diminimalkan. Ketidakseimbangan di luar rentang tersebut dapat menyebabkan penurunan efisiensi, peningkatan kehilangan daya, serta potensi kerusakan pada peralatan listrik. Dengan demikian, pemantauan dan pengendalian ketidakseimbangan beban menjadi aspek penting dalam manajemen sistem tenaga listrik.

1.6.12 Pedoman Teknis Instalasi Listrik Rumah Sakit Tipe C

Menurut Departemen Kesehatan RI, instalasi listrik rumah sakit tipe C adalah sebagai berikut.

1. Kabel harus termasuk semua penyambung, tali pengikat, penggantung, klem dan sebagainya yang dibutuhkan untuk melengkapi kerapihan instalasi.
2. Perlengkapan harus termasuk conduit, *duct* (saluran) kabel, rak kabel, kotak penyambung, roset, plat penutup dan perangkat keras lain yang diperlukan untuk melengkapi kerapihan dan keamanan, dan memenuhi SNI 04-0225-2000, tentang Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000).
3. Setiap komponen dari sub sistem harus diberi label.
4. Sistem tegangan rendah (TR) dalam gedung adalah 3 fase 220/380 Volt, dengan frekuensi 50 Hertz. Sistem tegangan menengah (TM) dalam gedung adalah 20 KV atau kurang, dengan frekuensi 50 Hertz, mengikuti ketentuan yang berlaku. Untuk Rumah Sakit yang memiliki kapasitas daya listrik tersambung dari PLN minimal 200 KVA disarankan agar sudah memiliki sistem jaringan listrik Tegangan Menengah 20 KV (jaringan listrik TM 20 KV), sesuai pedoman bahwa Rumah Sakit Kelas C mempunyai Kapasitas daya listrik ± 300 KVA s/d 600 KVA, dengan perhitungan 3 KVA per Tempat Tidur (TT).
5. Instalasi listrik tegangan menengah tersebut antara lain :
 - a. Penyediaan bangunan gardu listrik rumah sakit (ukuran sesuai standar gardu PLN).
 - b. Peralatan Transformator (kapasitas sesuai daya terpasang).
 - c. Peralatan panel TM 20 KV dan aksesorisnya.
 - d. Peralatan pembantu dan sistem pengamanan (;*grounding*).
6. Harus tersedia peralatan UPS (*Uninterruptable Power Supply*) untuk melayani Kamar Operasi (*Central Operation Theater*), Ruang Perawatan Intensif (*Intensive Care Unit*), Ruang Perawatan Intensif Khusus Jantung (*Intensive Cardiac Care Unit*). Persyaratan :
 - a. Harus tersedia Ruang UPS minimal 2 X 3 m² (sesuai kebutuhan) terletak di Gedung COT, ICU, ICCU dan diberi pendingin ruangan.
 - b. Kapasitas UPS setidaknya 30 KVA.
7. Sistem Penerangan Darurat (*emergency lighting*) harus tersedia pada ruang-ruang tertentu.
8. Harus tersedia sumber listrik cadangan berupa diesel generator (Genset). Genset harus disediakan 2 (dua) unit dengan kapasitas minimal 40% dari jumlah daya terpasang pada masing-masing unit. Genset dilengkapi sistem AMF dan ATS.
9. Sistem kelistrikan RS Kelas C harus dilengkapi dengan transformator isolator dan kelengkapan monitoring sistem IT kelompok 2E minimal berkapasitas 5 KVA untuk titik-titik stop kontak yang mensuplai peralatan-peralatan medis penting (*life support medical equipment*).
10. Sistem Pembumian (*grounding system*) harus terpisah antara *grounding* panel gedung dan panel alat. Nilai *grounding* peralatan harus diatas 0,2 Ohm.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Juni 2026. Penelitian dilakukan di RSUD LakiPadada yang terletak di Jl. Pongtiku No. 486, Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan serta pengolahan datanya akan dilakukan di Laboratorium Distribusi Sistem Tenaga dan Instalasi Listrik.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, digunakan beberapa peralatan untuk mendukung proses pengambilan data. Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Lux meter yang digunakan untuk mengukur intensitas pencahayaan pada suatu ruangan.
2. Clamp meter yang digunakan untuk mengukur besaran arus.
3. Laptop yang digunakan untuk mengolah data.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas beberapa metode, yaitu:

1. Studi literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi berupa buku, jurnal ilmiah, artikel, serta skripsi dengan topik sejenis.
2. Pengukuran langsung
Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan, sehingga didapatkan data intensitas pencahayaan dan arus pada panel.
3. Wawancara
Wawancara dilakukan dengan pihak terkait, khususnya staf Instalasi Pemeliharaan Sarana dan Prasarana Rumah Sakit (IPS-RS), sehingga didapatkan data teknis seperti kapasitas genset dan UPS, beban panel, konfigurasi sistem, serta informasi terkait sistem suplai energi listrik.

2.4 Teknik Analisis Data

Data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan teknik sebagai berikut:

1. Metode analisis intensitas pencahayaan pada RSUD LakiPadada adalah sebagai berikut.
 - a. Pengukuran di lapangan dilakukan menggunakan lux meter pada waktu siang hari agar pencahayaan alami dapat optimal. Posisi alat ukur ditempatkan pada ketinggian standar sekitar 0,80–1 meter dari permukaan lantai. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda berbentuk garis lurus di tengah ruangan dengan jarak antar titik pengukuran sekitar 0,80-1 meter untuk mewakili seluruh area ruangan. Pada ruangan yang terdapat tempat tidur pasien, titik pengukuran berada pada area kepala, badan, dan kaki dari tempat tidur. Untuk ruangan ICU, kondisi saat tidak dilakukan tindakan yaitu

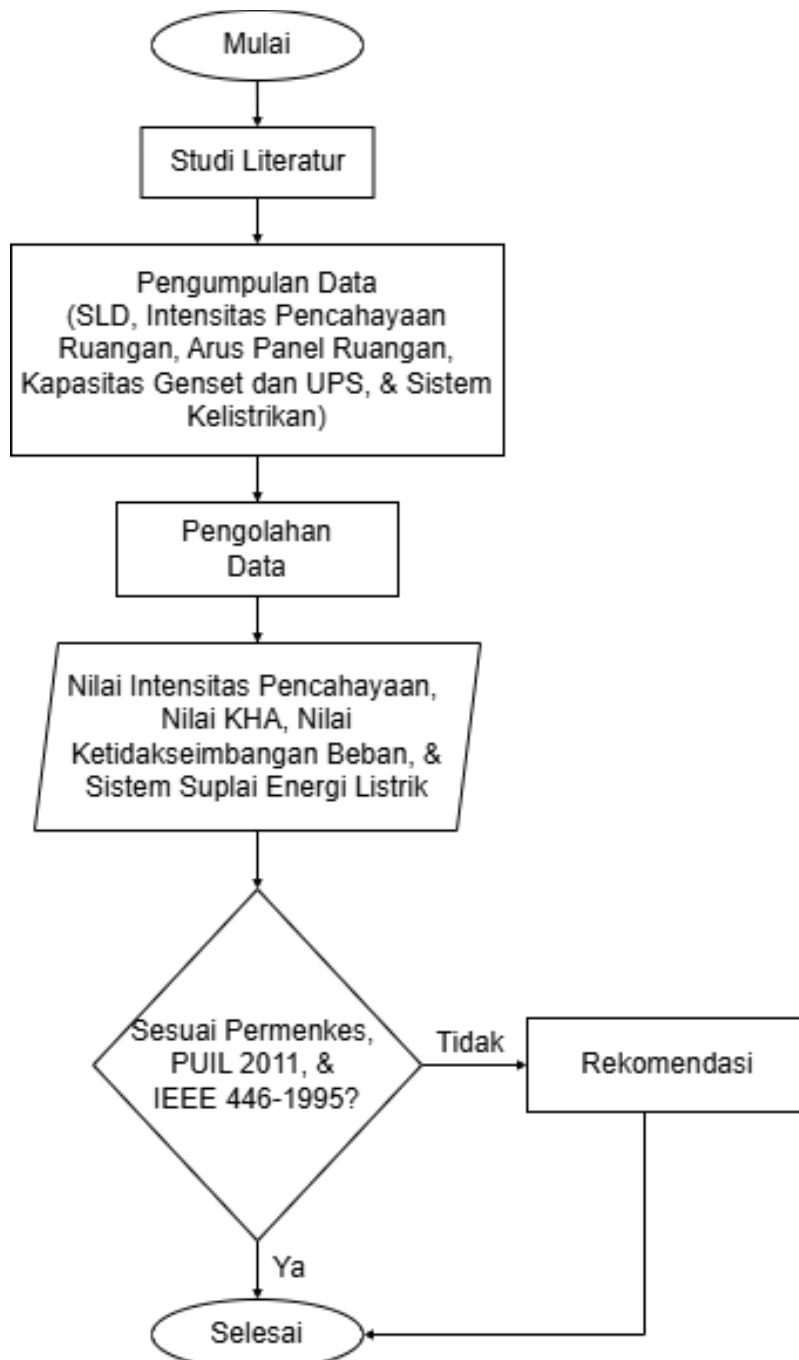
seluruh lampu ruangan dinyalakan sedangkan untuk kondisi saat dilakukan tindakan yaitu diberikan tambahan pencahayaan dari lampu khusus tindakan. Untuk ruangan perawatan, pada kondisi pasien tidur, lampu ruangan dimatikan sedangkan pada kondisi pasien tidak tidur, lampu ruangan dinyalakan. Hasil pengukuran kemudian dirata-ratakan.

- b. Rata-rata intensitas pencahayaan dibandingkan dengan standar intensitas pencahayaan menurut Permenkes No. 40 Tahun 2022 untuk ruangan ICU, ruang operasi, ruang laboratorium, dan ruang perawatan serta menurut Permenkes No. 7 Tahun 2019 untuk ruang UGD, kantor, dan ruang pelayanan publik.
2. Metode analisis penghantar berdasarkan PUIL 2011 melalui langkah-langkah:
 - a. Pengukuran dilakukan menggunakan clamp meter pada kondisi beban puncak yaitu siang hari untuk panel ruangan selain ruangan perawatan dan malam hari untuk panel ruangan perawatan.
 - b. Nilai arus terbesar pada panel digunakan sebagai nilai I_n untuk perhitungan memperoleh nilai KHA_{min} sesuai dengan Persamaan (3).
 - c. Melakukan perhitungan dengan Persamaan (4) untuk memperoleh nilai KHA_{max} dimana nilai $KHA_{penghantar}$ terpasang dapat dilihat pada Lampiran 1-3 sesuai dengan PUIL 2011. $F_{kp} = 0,95$ dipakai untuk cadangan keamanan ringan karena di lapangan kabel jarang betul-betul tunggal dalam pipa dan sering terpengaruh panas induksi. $F_{kt} = 1,00$ dipakai karena suhu rata-rata instalasi dalam ruangan = $30^{\circ}C$ (standar tabel PUIL), sehingga tidak perlu koreksi.
 - d. Hasil perhitungan nilai KHA_{max} dan nilai KHA_{min} akan dibandingkan dimana sesuai dengan persyaratan, nilai KHA_{max} lebih besar atau sama dengan nilai KHA_{min} .
3. Metode analisis ketidakseimbangan beban menurut IEEE 446-1995 melalui langkah-langkah berikut.
 - a. Menghitung nilai $I_{rata-rata}$ dari hasil pengukuran dengan Persamaan (7).
 - b. Nilai arus tiap fasa dibagi dengan $I_{rata-rata}$ untuk mendapatkan koefisien oleh a , b , dan c dengan menggunakan Persamaan (8), (9), dan (10).
 - c. Melakukan perhitungan dengan Persamaan (11) untuk memperoleh nilai persentase ketidakseimbangan beban.
 - d. Hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban dibandingkan dengan standar IEEE 446-1995.
4. Metode analisis sistem suplai energi berdasarkan Permenkes melalui langkah-langkah:
 - a. Melakukan wawancara terkait kondisi eksisting skema ATS dan sinkronisasi, waktu transisi perpindahan daya saat pemadaman PLN, kapasitas dan waktu *backup* UPS pada beban kritis, serta keandalan sistem untuk menjamin kontinuitas pelayanan medis tanpa terputus kepada pihak IPS-RS.
 - b. Menganalisis antara kondisi eksisting dengan standar yang ditetapkan Permenkes dengan parameter yaitu waktu maksimum peralihan sumber

listrik utama ke sumber listrik cadangan (*transfer time*) yang diperbolehkan, ketersediaan sumber listrik cadangan, dan durasi minimal penggunaan UPS yang diperbolehkan.

5. Memberikan rekomendasi yang sesuai apabila intensitas pencahayaan, nilai KHA, dan sistem suplai energi listrik RSUD tidak memenuhi standar Permenkes ataupun PUIL 2011.

2.5 Alur Penelitian



Gambar 14 *Flowchart* penelitian

Gambar 16 menunjukkan alur penelitian (*flowchart*), mulai dari tahap awal hingga akhir. Adapun penjelasan dari *flowchat* penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mulai

Tahap awal penelitian diawali dengan penentuan topik serta perumusan ruang lingkup permasalahan yang akan dikaji pada RSUD Lakipadada. Penentuan ini dilakukan untuk memastikan fokus penelitian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai referensi yang relevan, meliputi buku, jurnal ilmiah, artikel, serta skripsi dengan topik sejenis. Referensi tersebut kemudian dianalisis dan dipelajari guna memperoleh landasan teori serta metode yang sesuai untuk mendukung penelitian.

3. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

- Intensitas pencahayaan: diperoleh melalui pengukuran menggunakan lux meter pada berbagai area, seperti ruang kritis, laboratorium, ruang rawat inap, kantor, dan area pelayanan publik.
- Nilai arus: diperoleh melalui pengukuran menggunakan clamp meter pada panel ruangan, yang selanjutnya digunakan untuk analisis nilai KHA.
- Sistem suplai energi listrik: mencakup data kapasitas daya terpasang dari PLN, kapasitas genset dan UPS, sistem perpindahan sumber (*switching*), serta durasi waktu cadangan (*backup*), yang diperoleh melalui wawancara dengan pihak IPS-RS.

4. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah menggunakan metode perhitungan yang sesuai, yaitu:

- Intensitas pencahayaan dihitung berdasarkan nilai rata-rata dari seluruh hasil pengukuran menggunakan lux meter pada berbagai area, seperti ruang kritis, laboratorium, ruang rawat inap, kantor, dan area pelayanan publik.
- Nilai KHA dihitung menggunakan nilai arus terbesar dari hasil pengukuran dan persamaan yang telah ditetapkan pada Persamaan (2), (3), dan (4).
- Nilai persentase ketidakseimbangan beban dihitung menggunakan Persamaan (7), (8), (9), (10), dan (11).
- Sistem suplai energi listrik dianalisis berdasarkan kapasitas daya terpasang, kapasitas genset dan UPS, serta durasi waktu *backup* saat terjadi gangguan pada sumber utama (PLN).

5. Data Hasil Pengolahan

Tahap ini menghasilkan parameter-parameter utama yang meliputi nilai intensitas pencahayaan, nilai KHA penghantar, nilai persentase ketidakseimbangan beban, serta sistem suplai energi listrik yang digunakan pada objek penelitian.

6. Sesuai dengan Permenkes, PUIL 2011, dan IEEE 446-1995?

Data yang telah dihasilkan dilanjutkan dengan melakukan evaluasi. Untuk intensitas pencahayaan dievaluasi menggunakan standar Permenkes Nomor 7 Tahun 2019 dan Permenkes Nomor 40 Tahun 2022, untuk nilai KHA dievaluasi menggunakan standar PUIL 2011, untuk nilai persentase ketidakseimbangan beban dievaluasi menggunakan standar IEEE 446-1995, sedangkan untuk sumber suplai energi listrik dievaluasi menggunakan standar Permenkes Nomor

40 Tahun 2022. Apabila semua data telah sesuai standar, maka dilanjutkan ke tahap sebelumnya, sedangkan jika data tidak sesuai dengan standar, maka akan diberikan rekomendasi.

7. Selesai

Tahap akhir menyatakan bahwa penelitian mengenai evaluasi instalasi listrik dan sistem suplai energi pada RSUD Laki padada telah selesai dilaksanakan, disertai dengan kesimpulan dan rekomendasi yang dihasilkan.