PERENCANAAN SUPLAI DAYA DI RUMAH SAKIT AMERTA HUSADHA

Renaldhy Aryo Al Afif[1], Anak Agung Gede Maharta Pemayun[2], I Nyoman Budiastra[3]

[1]Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

[2,3]Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali

renaldhy.aryo.alafif@gmail.com[1] maharta.pemayun@unud.ac.id[2]

budiastra@unud.ac.id[3]

ABSTRAK

Rumah sakit adalah fasilitas vital yang memerlukan pasokan energi listrik yang sangat andal dan aman untuk mendukung operasional 24 jam sehari, terutama pada area kritis seperti ruang operasi dan Unit Perawatan Intensif (ICU). Kegagalan pasokan listrik dapat berakibat fatal. Studi ini bertujuan untuk merencanakan sistem instalasi listrik yang optimal, efisien, dan memenuhi standar keselamatan yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 24 Tahun 2016 dan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kuantitatif dengan studi kasus. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi denah bangunan dan observasi lapangan. Analisis data meliputi perhitungan beban terpasang, penntuan pengaman yang digunakan, dan penentuan spesifikasi teknis untuk sistem suplai daya utama dan cadangan. Hasil studi menunjukkan bahwa total beban puncak terencana untuk rumah sakit ini adalah sebesar 1549,7 kVA. Berdasarkan perhitungan tersebut, direkomendasikan penggunaan dua trafo sebesar 1250 kVA. Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa perencanaan suplai daya listrik di rumah sakit harus memprioritaskan aspek keandalan dan keselamatan di atas efisiensi biaya semata. Desain yang dihasilkan dalam studi ini diharapkan dapat menjadi panduan teknis untuk mewujudkan sistem kelistrikan rumah sakit yang kuat dan memenuhi fungsi vital fasilitas kesehatan.

Kata Kunci : Suplai Daya, Rumah Sakit, PUIL 2011, Trafo

ABSTRACT

As vital facilities, hospitals require a highly reliable and secure electrical power supply to ensure uninterrupted 24-hour operations, specifically in critical care zones such as operating theaters and Intensive Care Units (ICUs). Interruptions in power supply can lead to fatal outcomes. This study aims to design an electrical installation system that is optimal, efficient, and compliant with safety standards outlined in the Minister of Health Regulation No. 24 of 2016 and the General Electrical Installation Requirements (PUIL) 2011. Utilizing a quantitative descriptive method with a case study approach, data were collected via building blueprint documentation and field observations. The analysis

encompassed installed load calculations, the selection of protection devices, and the determination of technical specifications for main and backup power systems. The findings reveal a total planned peak load of 1,549.7 kVA. Consequently, the installation of two 1,250 kVA transformers is recommended. The study concludes that reliability and safety must be prioritized over cost efficiency in hospital power planning. The proposed design is intended to serve as a technical guideline for establishing robust electrical systems that support the critical functions of healthcare facilities.
Keyword : *Power Supply, Hospital, PUIL 2011, Trafo*

I. PENDAHULUAN

Rumah Sakit (RS) Amerta Husadha merupakan fasilitas kesehatan yang sedang dalam tahap pembangunan dan perancangan yang dikerjakan oleh PT. Wira Graha Internusa. Pembangunan ini telah dilaksanakan sejak tahun 2024 dan direncanakan selesai pembangunan pada bulan April 2026. Bangunan ini memiliki tujuh lantai dengan satu lantai mezzanine. Lantai Basement yang berfungsi sebagai tempat parkir. Lantai 1 mencakup lobby utama, IGD, ruang Radiologi, dan berbagai ruang medis lain. Lantai 2 sebagian besar diisi oleh ruangan poli, Pada Lantai 3 berisikan ruangan rawat inap. Lantai 4 adalah lantai untuk ruangan operasi. Di Lantai 5 berisikan ruangan rawat inap kelas suite yang memiliki fasilitas lebih tinggi dibandingkan ruangan rawat inap lantai 3. Lantai 6 diisi oleh beberapa ruangan kantor, ruang hemodialisis, dan ruang tumbuh kembang anak, serta beberpa ruangan lainnya.

Aspek keandalan suplai daya listrik harus dipandang sebagai fondasi operasional yang paling krusial. Berbeda dengan bangunan komersial, kegagalan daya di lingkungan rumah sakit dapat berdampak fatal, mengancam keselamatan pasien di ruang operasi, ICU, atau yang bergantung pada alat bantu hidup. Oleh karena itu, fase perencanaan ini menjadi momen vital untuk mendesain sistem yang tidak hanya berfungsi, tetapi juga memiliki redundansi tinggi dan kepatuhan standar keselamatan.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dasar Perencanaan Kelistrikan Gedung

Dasar-Dasar Perencanaan Kelistrikan Gedung adalah fondasi utama dalam merancang sistem kelistrikan yang aman, andal, dan efisien untuk setiap jenis bangunan, termasuk rumah sakit yang kompleks. Bagian ini memastikan bahwa semua kebutuhan daya terpenuhi dan instalasi mematuhi peraturan yang berlaku.

2.1.1 PUIL

PUIL adalah pedoman teknis utama yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) dan diwajibkan oleh pemerintah (melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral) untuk menjamin keselamatan dan keamanan instalasi listrik. Edisi yang berlaku saat ini adalah PUIL 2011, yang memiliki kode SNI 0225:2011.

Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL), yang merupakan pedoman teknis utama yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN), memiliki tiga tujuan utama dalam penerapannya: melindungi manusia dari bahaya sengatan listrik (kontak langsung maupun tidak langsung) , melindungi harta benda dengan mencegah bahaya kebakaran akibat kegagalan atau panas berlebih pada instalasi listrik , serta menjamin berfungsinya instalasi dengan memastikan instalasi listrik beroperasi dengan baik dan efisien sesuai tujuan penggunaannya.

Untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut, PUIL mencakup beberapa aspek teknis penting, penetapan aturan mengenai jenis, ukuran minimum, dan metode pemasangan

yang aman untuk Kabel dan Penghantar. Persyaratan untuk pemasangan dan penentuan kapasitas perangkat Proteksi Arus Lebih (seperti Circuit Breaker) guna mengatasi overload dan hubung singkat, persyaratan teknis untuk Sistem Pembumian (Grounding) demi keselamatan dan operasional peralatan, dan aturan mengenai penempatan, pemasangan, serta jenis komponen Instalasi seperti sakelar, kotak kontak, dan kotak sambung. [2]

2.1.2 Sumber Daya Listrik

Dalam perencanaan suplai daya rumah sakit, PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan Genset (*Generator Set*) memiliki peran yang jelas dan terpisah sebagai sumber daya utama dan sumber daya cadangan. Integrasi keduanya sangat penting untuk menjamin keandalan operasional fasilitas medis.

PLN (Perusahaan Listrik Negara) berfungsi sebagai sumber daya listrik primer dan utama bagi rumah sakit, yang diharapkan menyuplai kebutuhan daya terbesar selama waktu operasional normal. Karakteristiknya meliputi keandalan normal dan kapasitas yang sangat besar, di mana rumah sakit biasanya terhubung ke jaringan PLN melalui Tegangan Menengah (20 kV) yang kemudian diturunkan menjadi Tegangan Rendah (380/220 V) oleh transformator milik rumah sakit. Kapasitas sambungan PLN (Daya Tersambung) ditentukan berdasarkan hasil perhitungan total beban puncak rumah sakit. Namun, suplai PLN memiliki tantangan karena rentan terhadap gangguan eksternal seperti pemadaman, pemeliharaan jaringan, atau bencana alam, yang menjadikannya mutlak memerlukan sumber daya cadangan.

Generator Set (Genset) adalah perangkat yang mengubah energi bahan bakar (solar atau gas) menjadi energi listrik melalui mekanisme mesin dan generator. Peran utamanya adalah sebagai Cadangan Cepat, yang mengambil alih suplai daya untuk beban Kritikal dan Esensial dalam hitungan detik setelah kegagalan PLN. Genset juga dirancang untuk Operasional Jangka Panjang, mampu beroperasi dalam jangka waktu yang lama (berjam-jam atau berhari-hari) selama pemadaman PLN masih berlangsung, asalkan pasokan bahan bakar memadai. [7]

2.1.3 Sistem Kelistrikan

Sistem Kelistrikan yang memadai untuk Rumah Sakit. Desain sistem distribusi di rumah sakit harus memprioritaskan keandalan, keamanan, dan fleksibilitas untuk menjamin ketersediaan energi di seluruh area. Sistem distribusi adalah jaringan kabel, panel, dan perangkat proteksi yang membawa daya dari sumber utama (Trafo/PLN dan Genset) ke setiap titik beban (stopkontak, lampu, dan peralatan).

Instalasi listrik daya dalam sistem kelistrikan rumah sakit harus diatur secara bertingkat (hierarkis) untuk memudahkan manajemen dan meningkatkan proteksi. Hierarki instalasi dimulai dari Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR), yang menerima daya dari Trafo dan Genset (melalui ATS) dan berfungsi sebagai titik awal distribusi listrik besar ke setiap lantai atau zona utama. Selanjutnya, terdapat Panel Sub-Utama (PSU) atau Panel Lantai, yang menerima daya dari PUTR dan menyalurkannya ke Panel Cabang di area atau zona yang lebih kecil. Terakhir, ada Panel Cabang (PC), yang merupakan panel terkecil yang memasok daya langsung ke stopkontak, lampu, dan peralatan di ruangan tertentu, dan dilengkapi dengan Miniature Circuit Breaker (MCB) untuk proteksi sirkuit akhir. Setiap tingkatan panel ini harus memiliki perangkat proteksi (Circuit Breaker) yang menerapkan koordinasi selektif, yang berarti hanya breaker terdekat dengan lokasi gangguan yang harus trip, sehingga meminimalkan area pemadaman.

Pada area pasien di rumah sakit, kotak kontak diklasifikasikan berdasarkan sumber daya cadangannya untuk menjamin keselamatan dan kontinuitas operasional. Kotak kontak berwarna Merah menandakan suplai berasal dari UPS dan genset, berfungsi untuk Beban Kritikal (Life Support), di mana daya tersedia langsung saat terjadi pemadaman.

Kotak kontak Putih / Normal menandakan suplai dari UPS (melalui ATS), berfungsi untuk Beban Esensial, di mana daya pulih dalam 10-15 detik setelah terjadi pemadaman. Terakhir, kotak kontak dengan Warna lain (misalnya abu-abu) menandakan suplai hanya dari PLN, berfungsi untuk Beban Non-Esensial, dan akan padam saat listrik PLN mati. [5]

2.1.4 Metode Estimasi Beban

Estimasi beban listrik adalah proses perhitungan untuk menentukan kapasitas daya listrik yang dibutuhkan sebuah instalasi, seperti rumah sakit. Metode ini didasarkan pada dua jenis beban dan faktor koreksi untuk merefleksikan penggunaan daya yang sesungguhnya.

Jenis beban pertama yang dihitung adalah Beban Terpasang (*Connected Load*). Beban Terpasang adalah total daya nominal (yang tertera pada nameplate atau spesifikasi) dari semua peralatan, lampu, dan motor listrik yang direncanakan akan dipasang. Perhitungan jenis beban ini dilakukan berdasarkan per ruangan atau per sirkuit.

$$\text{Beban Terpasang} = \sum(\text{Daya Nominal Peralatan})$$

Beban Puncak (*Maximum Demand*) adalah daya maksimum yang diperkirakan akan ditarik oleh seluruh instalasi pada satu waktu tertentu. Beban puncak ini selalu memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan Beban Terpasang karena tidak semua peralatan beroperasi secara bersamaan dengan daya penuh.

Dua faktor koreksi utama digunakan untuk mentransformasi Beban Terpasang menjadi Beban Puncak yang lebih realistis dalam perencanaan kelistrikan. Yang pertama adalah Faktor Pemanfaatan (*Utilization Factor*), F_u, yang mengukur seberapa sering atau seberapa penuh suatu peralatan digunakan dalam satu periode. F_u didefinisikan sebagai rasio antara beban puncak yang sebenarnya dari suatu peralatan dengan daya nominalnya. Sebagai contoh, lampu di koridor mungkin memiliki F_u mendekati 1, sementara motor kompresor AC mungkin memiliki F_u sebesar 0.7 karena beroperasi secara intermiten. Faktor ini diterapkan pada beban individual atau kelompok beban yang homogen.

Faktor koreksi kedua adalah Faktor Keanekaragaman (*Diversity Factor*), F_d, yang merupakan faktor paling penting dalam perencanaan gedung besar seperti rumah sakit, karena mengukur kemungkinan beberapa beban yang berbeda menyala secara bersamaan. Faktor F_d didefinisikan sebagai rasio antara total beban puncak individu pada berbagai bagian instalasi dengan beban puncak maksimum seluruh instalasi secara keseluruhan, dan nilai faktor ini selalu lebih dari 1.

Penerapan F_d di rumah sakit menunjukkan bahwa meskipun lampu di ruang operasi (kritis) mungkin memiliki $F_d = 1$, total beban di semua ruang rawat inap di satu lantai mungkin hanya memiliki $F_d = 0.5$ karena tidak semua pasien menggunakan daya maksimum pada waktu yang sama. Faktor Keanekaragaman ini diterapkan pada kelompok sirkuit atau panel distribusi, di mana semakin besar kelompoknya, semakin besar pula nilai F_d nya (yang berarti semakin kecil beban gabungannya)

Setelah mengumpulkan data beban terpasang dan menerapkan faktor koreksi, total kebutuhan daya tersambung (*Connected Load*) akan dihitung beban puncak per zona/grup dan beban puncak total (kVA)

$$\text{Beban Puncak Grup} = \sum(\text{Daya Nominal} \times F_u)$$

Beban Puncak Total =

$$\frac{\Sigma(\textit{Beban Puncak} \times \textit{Faktor Koreksi PUIL atau Standar})}{F_d}$$

Hasil akhir perhitungan (dalam kVA) ini digunakan untuk menentukan kapasitas Trafo, *Genset*, dan sambungan daya PLN.[1]

2.1.5 Perencanaan Gardu dan Transformator

Perancangan gardu dan transformator

(trafo) adalah langkah krusial dalam perencanaan suplai daya utama untuk Rumah Sakit Amerta Husadha. Gardu berfungsi sebagai titik terima daya Tegangan Menengah (TM) dari PLN, dan trafo berfungsi menurunkan tegangan tersebut agar aman dan sesuai untuk distribusi internal.

Langkah pertama adalah menentukan kapasitas trafo berdasarkan beban puncak total, dengan mempertimbangkan faktor cadangan (redundancy). Kapasitas trafo harus sedikit lebih besar dari total beban puncak yang tersambung (misalnya 1800 kVA). Kapasitas harus dibulatkan ke ukuran standar PLN (misalnya 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 kVA).

Untuk konfigurasi trafo, sangat direkomendasikan menggunakan sistem Dua Trafo Paralel (N+1 Redundancy), misalnya 2 x 1000 kVA. Tujuan utamanya: jika satu trafo mengalami gangguan, trafo yang lain (dengan kapasitas 1000kVA) masih dapat melayani minimal beban Kritikal dan Esensial, menjaga operasi RS tetap berjalan. Selanjutnya, tegangan kerja yang ditentukan berupa tegangan primer contohnya sebesar 20 kV (tegangan menengah PLN), dan juga tegangan sekunder sontohnya sebesar 380/220 V (tegangan rendah untuk distribusi internal).

Pemilihan jenis trafo sangat vital karena trafo akan ditempatkan di dalam atau sangat dekat dengan bangunan rumah sakit. Jenis trafo yang pertama adalah trafo tipe minyal (*oil immersed)*. Trafo tipe ini menggunakan minyak sebagai pendingin. Lebih murah, tetapi terdapat resiko kebakaran yang lebih tinggi. Tipe trafo yang kedua adalah tipe kering (*dry type)* Trafo tipe ini menggunakan insulasi padat dan pendingin udata. Resiko kebakaran yang rendah membuat trafo ini lebih aman dari kebakaran dan minim perawatan.

Perancangan gardu listrik atau rumah trafo merupakan langkah fundamental dalam penyediaan infrastruktur energi rumah sakit, di mana ruangan ini berfungsi sebagai fasilitas fisik untuk menempatkan transformator, panel Tegangan Menengah (TM), dan peralatan pendukung lainnya. Penentuan lokasi gardu harus strategis, umumnya diletakkan di area layanan khusus atau basement yang terpisah dari ruang perawatan maupun ruang operasi, serta tidak menghalangi jalur evakuasi pasien. Lokasi ini harus mudah diakses oleh pihak PLN maupun teknisi rumah sakit untuk keperluan pemeliharaan. Selain aspek tata letak, kondisi lingkungan ruang gardu wajib memiliki sistem ventilasi yang memadai, baik secara alami maupun mekanik, guna membuang panas yang dihasilkan trafo dan menjaga suhu operasional tetap stabil. Dari sisi keselamatan, gardu harus dilengkapi dengan proteksi kebakaran pasif seperti dinding tahan api dan sistem aktif (fire suppression), serta sistem pembumian yang terhubung dengan grounding utama rumah sakit sesuai standar PUIL untuk mencegah bahaya tegangan sentuh dan langkah.

Di dalam gardu tersebut, perancangan Panel Tegangan Menengah (TM) atau switchgear menjadi elemen krusial yang berfungsi sebagai gerbang proteksi dan penghubung antara jaringan PLN dengan sisi primer trafo. Sistem panel ini terdiri dari beberapa unit kubikel dengan fungsi spesifik. Pertama adalah kubikel incomer yang menjadi unit penghubung utama dari PLN, dilengkapi dengan Pemisah (PMS) dan Load Break Switch (LBS) atau Circuit Breaker untuk isolasi dan pemutusan daya. Kedua, terdapat kubikel metering yang dikhususkan sebagai tempat pemasangan alat ukur kWh PLN guna memantau konsumsi energi rumah sakit. Terakhir adalah kubikel feeder trafo yang bertugas mengalirkan daya ke setiap transformator; unit ini dilengkapi dengan Relay Proteksi Arus Lebih (Overcurrent Relay) untuk menjamin keamanan trafo dari gangguan arus berlebih, baik yang bersifat internal maupun eksternal.

Perancangan gardu dan trafo yang tepat memastikan bahwa suplai daya utama tidak hanya cukup secara kapasitas, tetapi juga terjamin keamanannya dan memiliki

fleksibilitas operasional yang dibutuhkan oleh fasilitas medis kritis. [6].

2.1.6 Kompensasi Faktor Daya.

Kompensasi Faktor Daya adalah tindakan teknis untuk memperbaiki nilai faktor daya listrik agar mendekati nilai ideal (yaitu 1 atau 100%). Perbaikan ini dilakukan dengan cara menambahkan beban yang bersifat kapasitif ke dalam sistem, biasanya dalam bentuk Bank Kapasitor Otomatis.

Faktor Daya (PF) adalah rasio antara Daya Aktif (P) (daya yang benar-benar melakukan kerja, diukur dalam kW) dengan Daya Semu (S) (total daya yang ditarik dari sumber PLN, diukur dalam kVA).

$$Faktor\ Daya\ (PF) = \frac{Daya\ Aktif\ (P)}{Daya\ Semu\ (S)}$$

Dalam sistem yang efisien, PF mendekati 1. Sebaliknya, jika PF rendah, itu berarti ada banyak Daya Reaktif (Q) yang ditarik dari PLN tanpa menghasilkan kerja yang bermanfaat. Faktor daya rendah dalam sistem kelistrikan rumah sakit umumnya disebabkan oleh dominasi penggunaan peralatan yang bersifat induktif. Peralatan ini mencakup motor listrik yang menjadi komponen vital pada sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), lift, pompa air, dan motor genset, serta penggunaan transformator penurun tegangan dan sistem pencahayaan lama yang masih menggunakan *ballast* elektromagnetik. Secara teknis, peralatan induktif ini menarik Daya Reaktif Induktif yang tidak menghasilkan kerja nyata, namun keberadaannya tetap membebani jaringan suplai dari PLN serta instalasi kabel internal rumah sakit.

Untuk mengatasi masalah tersebut, penerapan sistem kompensasi daya reaktif menjadi langkah krusial dengan tiga tujuan utama. Pertama, langkah ini bertujuan menghindari denda atau biaya kelebihan pemakaian Daya Reaktif (kVARh) dari PLN yang dikenakan apabila faktor daya rata-rata bulanan berada di bawah standar, biasanya 0,85. Kedua, kompensasi berfungsi meningkatkan kapasitas sistem; dengan mengurangi daya reaktif, arus total yang mengalir pada kabel dan trafo menjadi lebih kecil untuk daya aktif yang sama, sehingga membebaskan kapasitas infrastruktur untuk potensi penambahan beban di masa depan tanpa perlu penggantian perangkat keras. Ketiga, hal ini akan memperbaiki kualitas tegangan dengan mengurangi kerugian tegangan (*voltage drop*), sehingga menjamin stabilitas operasional peralatan medis.

Mekanisme kompensasi ini direalisasikan melalui pemasangan *Bank Kapasitor* yang dikendalikan secara otomatis. Prinsip kerjanya memanfaatkan sifat kapasitor yang menarik Daya Reaktif Kapasitif, yang berlawanan dengan beban induktif, sehingga ketika kedua daya reaktif tersebut bertemu, mereka akan saling meniadakan (*cancel out*). Agar proses ini berjalan efisien, sistem dilengkapi dengan *Power Factor Regulator* (PFR) yang berfungsi mengatur penyambungan (*switching*) atau pelepasan step kapasitor secara otomatis mengikuti fluktuasi beban, guna memastikan faktor daya selalu terjaga di atas 0,95. [8]

2.1.7 Perangkat Proteksi

Perangkat proteksi ini bekerja dengan cara memutus sirkuit secara otomatis ketika mendeteksi adanya kondisi yang tidak normal, sehingga mencegah kerusakan yang lebih besar.

Sebagai garda terdepan dalam sistem proteksi instalasi listrik Tegangan Rendah (TR), *Miniature Circuit Breaker* (MCB) berfungsi vital untuk melindungi sirkuit akhir atau beban perorangan. Perangkat ini bekerja dengan mengintegrasikan dua mekanisme perlindungan utama: mekanisme termal yang merespons panas untuk mendeteksi kondisi arus lebih (*overload*) saat arus melebihi batas nominal dalam durasi tertentu, serta mekanisme magnetik yang bereaksi cepat memutus aliran listrik saat terjadi lonjakan arus mendadak akibat hubung singkat (*short circuit*). Dalam skema kelistrikan rumah sakit, MCB secara spesifik diaplikasikan pada panel-panel cabang untuk mengamankan sirkuit beban ringan seperti pencahayaan dan kotak

kontak di berbagai ruangan.

Untuk kebutuhan penanganan distribusi daya yang lebih masif, digunakan *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB) yang memiliki kapasitas pemutusan (*breaking capacity*) dan *rating* tegangan yang jauh lebih tinggi dibandingkan MCB, dengan kemampuan menangani arus hingga ribuan Ampere. Meskipun prinsip perlindungan dasarnya serupa—yaitu mengamankan sistem dari gangguan beban lebih dan hubung singkat—MCCB dilengkapi dengan fitur yang lebih canggih dan fleksibel, seperti kemampuan penyesuaian arus pemutusan (*adjustable trip current*) dan pengaturan waktu tunda (*time delay*). Keunggulan kapasitas ini menempatkan MCCB pada posisi strategis di rumah sakit, yakni di Panel Utama Tegangan Rendah (PUTR) dan Panel Sub-Utama (PSU), untuk melindungi jalur *feeder* utama menuju setiap lantai, koneksi ke genset, maupun jalur suplai dari trafo utama.

Dalam sistem distribusi rumah sakit, semua perangkat ini harus memiliki koordinasi selektif. Artinya, jika terjadi gangguan, hanya perangkat proteksi terdekat dengan gangguan (misalnya MCB di PC) yang harus trip terlebih dahulu, tanpa mematikan perangkat yang lebih tinggi (MCCB di PUTR). Ini adalah prinsip penting untuk meminimalkan area pemadaman dan menjaga kontinuitas suplai daya di RS. [4]

2.2 Standar Keandalan Daya dan Kontinuitas

Bagian ini menjamin rumah sakit dapat berfungsi penuh selama 24 jam tanpa terpengaruh gangguan suplai PLN.

2.2.1 Klasifikasi Beban Listrik Rumah Sakit

Beban listrik di rumah sakit dibagi menjadi tiga atau empat kategori utama berdasarkan kegentingan operasional dan dampak kegagalan daya terhadap keselamatan pasien. Klasifikasi ini menentukan prioritas penyambungan ke sumber daya cadangan (Genset dan UPS) dan kecepatan pemulihan daya.

Dalam hierarki distribusi daya rumah sakit, Beban Kritikal (*Critical Branch*) menempati posisi Prioritas 1 karena sifatnya yang sangat vital; kegagalan pasokan sesaat saja pada beban ini dapat mengancam keselamatan jiwa pasien atau mengakibatkan kerusakan data yang tak terpulihkan. Oleh karena itu, beban ini wajib disuplai tanpa jeda (*seamless*) menggunakan *Uninterruptible Power Supply* (UPS) saat terjadi pemadaman, sebelum akhirnya diambil alih oleh genset. Cakupan beban ini meliputi peralatan *life support* seperti ventilator dan mesin anestesi, sistem penerangan serta outlet di area krusial seperti Ruang Operasi dan Ruang Pemulihan, hingga sistem pemantauan pasien dan komputer medis utama yang harus beroperasi terus-menerus.

Di tingkat selanjutnya, terdapat Beban Esensial (*Essential/Equipment Branch*) dan Beban Peralatan Utama (*Life Safety Branch*) yang masuk dalam kategori Prioritas 2. Meskipun tidak menuntut ketersediaan daya tanpa jeda seperti beban kritikal, kategori ini harus dapat pulih dalam waktu singkat—biasanya kurang dari 10 hingga 15 detik—setelah genset menyala melalui mekanisme *Automatic Transfer Switch* (ATS). Beban ini mencakup fasilitas pendukung medis vital seperti peralatan laboratorium berpendingin, sistem udara medis dan vakum, lift prioritas, serta peralatan pencitraan non-kritis. Secara spesifik, cabang *Life Safety* (mengacu pada standar NFPA) memfokuskan suplai pada infrastruktur keselamatan gedung, termasuk sistem alarm kebakaran, komunikasi darurat, pompa pemadam kebakaran, dan penerangan jalur evakuasi guna menjamin keamanan penghuni gedung saat kondisi darurat.

Terakhir adalah Beban Non-Esensial (*Non-Essential Branch*) yang berada pada Prioritas 3. Kategori ini mencakup peralatan yang tidak berkaitan langsung dengan perawatan pasien maupun keselamatan jiwa, seperti outlet di ruang administrasi, pencahayaan dekoratif, serta peralatan dapur non-medis. Dalam skenario pemadaman listrik, beban ini biasanya akan dilepaskan atau dimatikan secara sengaja

agar kapasitas genset dapat difokuskan sepenuhnya untuk melayani beban Kritikal dan Esensial, memastikan keandalan suplai daya pada sektor yang paling membutuhkan.

Klasifikasi yang jelas ini memungkinkan perencana menentukan kapasitas Genset yang akurat dan merancang sistem ATS berjenjang, memastikan bahwa rumah sakit dapat terus berfungsi sebagai fasilitas perawatan life-saving bahkan di tengah krisis daya. [5]

2.2.2 Sistem Daya Cadangan

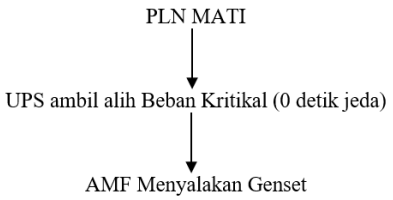
Sistem daya cadangan di rumah sakit dirancang berlapis (layered redundancy) dan bersifat otomatis, memastikan setiap kategori beban (Kritikal, Esensial, Non-Esensial) ditangani sesuai prioritasnya. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama yang bekerja secara terintegrasi.

Sebagai sumber daya cadangan utama, Generator Set (Genset) memegang peranan vital dalam melayani beban Esensial dan Kritikal rumah sakit saat suplai PLN mengalami kegagalan. Fungsi utamanya adalah menghasilkan listrik secara mandiri yang mampu beroperasi dalam jangka waktu panjang—berjam-jam hingga berhari-hari—selama pasokan bahan bakar tersedia. Dalam perancangannya, kapasitas genset harus diperhitungkan secara cermat berdasarkan total daya beban prioritas, dengan memasukkan variabel faktor kejut (*transient load*) yang muncul saat motor-motor besar mulai beroperasi, serta faktor cadangan untuk rencana ekspansi di masa depan. Operasional genset ini didukung oleh sistem *Automatic Main Failure* (AMF) yang memungkinkan unit menyala secara otomatis tanpa intervensi operator segera setelah mendeteksi hilangnya tegangan dari suplai utama.

Pengelolaan perpindahan daya antara PLN dan genset diatur oleh Automatic Transfer Switch (ATS), yang bertindak layaknya "polisi lalu lintas" aliran listrik. Saat menerima sinyal kegagalan daya dari AMF, ATS menunggu hingga genset mencapai kecepatan dan tegangan stabil (sekitar 5-15 detik) sebelum secara mekanis dan elektrikal memutus koneksi PLN dan menyambungkan genset ke panel distribusi. Fitur krusial dari ATS adalah keberadaan *interlock* mekanis dan elektrikal yang menjamin suplai PLN dan genset tidak pernah terhubung secara bersamaan, guna mencegah kerusakan fatal akibat tabrakan arus. Di lingkungan rumah sakit, konfigurasi ATS sering kali dibuat berjenjang untuk memprioritaskan transfer daya ke Beban Kritikal terlebih dahulu, sementara beban Non-Esensial dapat diabaikan untuk menjaga stabilitas kapasitas genset.

Mengingat adanya jeda waktu 5 hingga 15 detik saat peralihan genset, Uninterruptible Power Supply (UPS) hadir sebagai lapisan perlindungan terakhir khusus untuk Beban Kritikal yang tidak mentolerir pemadaman sedikit pun. UPS berfungsi memberikan daya tanpa jeda (*seamless*) menggunakan energi yang tersimpan dalam baterai selama proses transisi tersebut. Meskipun waktu cadangannya terbatas (biasanya 5 hingga 15 menit), durasi ini cukup bagi genset untuk mengambil alih beban sepenuhnya. Rumah sakit umumnya menggunakan UPS tipe *Online Double Conversion*, yang secara kontinu memproses ulang daya AC menjadi DC dan kembali ke AC, memastikan peralatan medis sensitif selalu menerima pasokan daya yang bersih dan stabil.

Ketiga kompenin ini bekerja bersama untuk menjamin keandalan tertinggi



Sistem ini memastikan bahwa alat life support, sistem monitoring, dan lampu operasi tidak pernah terpengaruh oleh gangguan listrik, memenuhi persyaratan krusial dari NFPA 99 dan IEC 60364-7-710. [5]

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus pada satu objek Rumah Sakit yang menjadi lokasi penelitian. Pendekatan

kuantitatif digunakan dalam perhitungan matematis kebutuhan daya listrik, sementara sifat deskriptif digunakan untuk menganalisis dan mendeskripsikan kondisi eksisting serta hasil perencanaan sistem instalasi listrik berdasarkan standar yang berlaku

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan Rumah Sakit Amerta Husadha dengan jangka waktu selama satu bulan. Dimulai pada tanggal 22 September 2025 hingga 22 Oktober 2025

3.3 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam studi ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara dengan staf teknis rumah sakit atau konsultan perencana, data ini meliputi denah bangunan, daftar peralatan medis, serta kondisi eksisting. Data sekunder diperoleh dari dokumen dan literatur terkait, data ini meliputi standar & regulasi, serta jurnal & literatur.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dlaam penelitian ini adalah studi dokumentasi, observasi lapangan, serta wawancara dengan pihak terkait.

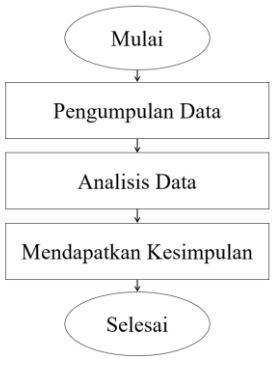
3.5 Metode Analisis Data

Analisis kebutuhan daya listrik diawali dengan perhitungan total daya menggunakan pendekatan kombinasi dua metode utama. Pertama, metode Beban Terpasang (*Connected Load*) diterapkan dengan menjumlahkan seluruh daya nominal peralatan listrik sesuai spesifikasi pabrikan. Selanjutnya, hasil penjumlahan tersebut dikalibrasi menggunakan Faktor *Demand* dan Faktor Simultanitas yang mengacu pada standar PUIL 2011 atau SPLN. Penerapan faktor-faktor ini bertujuan untuk mengestimasi beban puncak yang paling realistis dengan mempertimbangkan fungsi spesifik setiap ruangan serta probabilitas penggunaan peralatan secara bersamaan, sehingga menghindari *over-design* maupun *under-capacity*.

Berdasarkan data hasil perhitungan kebutuhan daya tersebut, tahap selanjutnya adalah analisis desain instalasi dan proteksi sistem. Proses ini mencakup perancangan konfigurasi panel distribusi, mulai dari penentuan kapasitas dan tata letak *Main Distribution Panel* (MDP), *Sub-Distribution Panel* (SDP), hingga Panel Penerangan (PP). Bersamaan dengan itu, dilakukan penentuan ukuran kabel yang presisi dengan memperhitungkan Kapasitas Hantar Arus (KHA) agar aman sesuai beban dan metode instalasinya. Aspek krusial lainnya adalah penetapan spesifikasi sistem proteksi, yang meliputi penentuan *rating* MCB/MCCB dan ELCB, serta kebutuhan khusus penggunaan *Isolation Transformer* untuk area kritis (Kelompok 2) guna menjamin keselamatan pasien dari arus bocor.

Terakhir, analisis difokuskan pada perencanaan sistem daya cadangan untuk menjamin kontinuitas operasional rumah sakit. Langkah ini melibatkan perhitungan kapasitas Generator Set (Genset) secara cermat agar mampu menanggung beban prioritas maupun beban total rumah sakit saat suplai utama terganggu. Sinergi dengan sistem tersebut, dilakukan penentuan spesifikasi *Uninterruptible Power Supply* (UPS) yang meliputi pemilihan jenis dan kapasitas yang tepat. Hal ini difokuskan khususnya untuk melayani area Kelompok 2 yang menuntut waktu transfer tanpa jeda (*zero transfer time*), memastikan peralatan medis vital tetap beroperasi tanpa gangguan sedikit pun saat peralihan sumber daya.

3.6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Beban Listrik

Perhitungan beban daya dalam proyek

perencanaan suplai listrik RS Amerta Husadha dilakukan secara terperinci dan hierarkis, dimulai dari titik beban terkecil hingga agregat total rumah sakit. Tujuannya adalah memastikan kapasitas yang tepat untuk melayani area yang menjadi tanggung jawabnya, sekaligus mendukung keselamatan dan fleksibilitas operasional.

Perhitungan beban yang pertama adalah beban pada *fuse box* PLN. Berfungsi sebagai titik distribusi untuk salah satu sirkuit cabang dari sumber daya PLN. Daya listrik, yang masuk ke panel ini untuk kemudian didistribusikan. Kabel yang keluar dari panel menuju beban menggunakan tipe NYY 3 x 4 mm^2, yang menunjukkan bahwa sirkuit cabang ini adalah instalasi satu fasa yang menggunakan kabel berisolasi ganda dengan tiga inti berpenampang 4 mm^2. Dengan tegangan 220 V dan beban total sebesar 1234 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{1234\ W}{220\ V} = 5.61\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini, kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah 6 A.

Selanjutnya ada FB Alkes, panel ini menerima suplai daya dari sistem utama PLN. Panel ini menggunakan kabel tipe NYY 4 x 4 mm^2, dengan luas penampang 4 mm^2 untuk setiap inti. Dengan tegangan 220 V, sistem satu fasa dan beban total sebesar 3578 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{3578\ W}{220\ V} = 16.26\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini, kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah 20 A.

Selanjutnya ada PP *Outdoor Lamp*, berfungsi untuk mendistribusikan daya ke instalasi lampu penerangan luar ruangan. Panel ini menerima daya dari sumber utama PLN melalui kabel tipe NYY 4 x 6 mm^2 dan kabel BCC 6 mm^2. Kabel NYY 4 x 6 mm^2 menunjukkan adanya empat inti dengan luas penampang 6 mm^2 per inti , sementara kabel BCC 6 mm^2 adalah kawat tembaga telanjang yang secara spesifik digunakan untuk koneksi *grounding* tambahan. Dengan tegangan 220 V sistem satu fasa dan beban total sebesar 1195 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{1195\ W}{220\ V} = 5.43\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini, kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah 6 A.

Selanjutnya ada PP *Powerrhouse*, berfungsi untuk mendistribusikan daya ke area atau sistem vital, seperti ruang genset atau fasilitas pendukung teknis lainnya. Panel PP. POWERHOUSE disuplai oleh sumber utama PLN melalui dua jenis kabel utama NYY 4 x 10 mm^2 dan BCC 10 mm^2. Kabel NYY 4 x 10 mm^2 memiliki empat inti dengan luas penampang 10 mm^2 per inti, dan *grounding* yang berukuran besar untuk keandalan. Sementara itu, kabel BCC 10 mm^2 adalah kabel tembaga yang digunakan sebagai penguat atau koneksi utama sistem *grounding*. Dengan tegangan 380/220 V sistem tiga fasa (R = 19.9 A, S = 20.8 A, T = 12.3 A) dengan dan beban total sebesar 9960 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}\ \times V_L\ \times cos\ \phi}$$

$$I_n = \frac{9960\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 17.84\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCB 3P 25 A.

Selanjutnya ada PP Ruang Pompa, berfungsi sebagai Panel Induk Distribusi yang menyuplai daya ke tiga panel cabang lainnya. PP. R POMPA ini bertanggung jawab menanggung dan mendistribusikan total beban

sebesar 51.083 W. Panel utama ini disuplai oleh kabel NYY 4 x 35 mm^2 dengan *grounding* BCC 16 mm^2, yang merupakan penampang kabel sangat besar dan sesuai untuk menahan arus utama. Daya dari PP. R POMPA kemudian didistribusikan ke PP. R STP melalui kabel NYY 4 x 25 mm^2 dan BCC 16 mm^2, serta ke PC. SP 3 dan PC. SWP 2 melalui kabel NYY 4 x 6 mm^2 dengan *grounding* NYA 6 mm^2. Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 89.9 A, S = 91.9 A, dan T = 91.9 A) dan beban total sebesar 51.083 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{51083\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 91.3\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 91.3 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker* (MCCB), dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 100 A.

Selanjutnya ada SDP Radiologi, jaringan distribusi daya listrik yang kompleks dan berjenjang untuk area medis berteknologi tinggi di rumah sakit, dengan total beban daya mencapai 508.425 W dari sumber utama PLN (380/220 V). Struktur utama dimulai dari SDP (Sub Distribution Panel) Radiologi yang bertindak sebagai panel induk utama, disuplai oleh kabel NYY 4 x 1 x 240 mm^2 dengan *grounding* BCC 185 mm^2 kabel dengan penampang yang sangat besar yang sesuai untuk arus tinggi. SDP Radiologi ini kemudian mendistribusikan daya utama secara paralel ke dua panel induk sekunder. Pertama ke SDP X-Ray & Cathlab, disuplai oleh kabel NYY 4 x 1 x 240 mm^2 dan BCC 185 mm^2. Panel ini selanjutnya dibagi menjadi sirkuit cabang untuk peralatan seperti PP. Cathlab, PP. X-Ray, dan PP. Panoramic, yang masing-masing menggunakan kabel NYY 4 x 85 mm^2 atau 4 x 25 mm^2 dengan *grounding* NYA 50 mm^2 atau 16 mm^2, dan terhubung ke UPS 3ph (*Uninterruptible Power Supply* Tiga Fasa) untuk menjamin daya tak terputus. Kedua, daya didistribusikan ke SDP CT-Scan & MRI, yang kemudian membagi daya ke PP. CT-Scan dan PP. MRI, menggunakan kabel NYY 4 x 1 x 95 mm^2 dan 4 x 1 x 70 mm^2 dengan *grounding* NYA 50 mm^2. Desain berjenjang ini memastikan bahwa setiap peralatan medis vital berdaya besar menerima pasokan listrik tiga fasa yang stabil, terproteksi, dan terisolasi melalui UPS.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 912 A, S = 910 A, dan T = 902 A) dan beban total sebesar 508.425 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{508425\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 910.87\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 910.87 A, umumnya digunakan Molded Case Circuit Breaker (MCCB), dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 1000 A.

Selanjutnya ada PP *Basement,* jaringan distribusi daya listrik dari sumber utama PLN (380/220 V) yang berpusat pada Panel Pembagi Basement (PP. BASEMENT), yang bertindak sebagai panel induk dengan total beban daya 94.762 W. Panel PP. BASEMENT disuplai oleh kabel NYY 4 x1 x 150 mm^2 dan kabel *grounding* BC 70 mm^2, menunjukkan bahwa panel ini menerima pasokan tiga fasa yang besar dan stabil untuk menanggung arus utama yang tinggi. Selanjutnya, daya dari PP. BASEMENT didistribusikan ke lima panel cabang. Panel beban besar, seperti PP. KITCHEN dan PP. GAS MEDIS, disuplai oleh kabel NYY 4 x 25 mm^2 dan 4 x 16 mm^2, masing-masing dilengkapi *grounding* BCC 16 mm^2. Sementara itu, tiga panel cabang yang lebih kecil, yaitu PC. GT, PC. SWP 1, dan PC. SP 1, disuplai oleh kabel NYY 4 x 6 mm^2 dengan *grounding* NYA 6 mm^2, yang tebalnya sesuai dengan kebutuhan spesifik peralatan. Struktur berjenjang ini memastikan bahwa setiap area fungsional di *basement* dan area terkait menerima daya tiga fasa yang terproteksi dan terisolasi dengan baik.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 166 A, S = 170 A, dan T = 171 A) dan beban total sebesar 94.762 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{94762\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 169.77\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 169.77 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 200 A.

Selanjutnya ada PP lantai 1, sebagai panel induk, dengan total beban daya sangat tinggi mencapai 283.213 W dari sumber PLN (380/220 V). Panel PP. LANTAI 1 disuplai oleh kabel berkapasitas besar 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2, menunjukkan kemampuan menanggung arus utama yang sangat besar. Selanjutnya, panel ini mendistribusikan daya ke beberapa panel cabang yang vital, mayoritas dilengkapi dengan UPS (*Uninterruptible Power Supply*) sebagai *back-up* selama 15 menit. Beban penting seperti PP. LAB 1 dan PP. IGD disuplai oleh kabel NYY $4 x 6 mm^2 dan NYY 4 x 25 mm^2, masing-masing terhubung ke UPS 5 kVA dan 8 kVA yang mencakup COS (*Change Over Switch*). Panel lainnya, seperti PP. ISOLASI IGD, PPAC OK-CYTO, dan PP. OK CYTO TRAFO ISOLASI, juga menerima suplai daya yang terproteksi, sebagian menggunakan NYY 4 x 4 mm^2 hingga 4 x 25 mm^2 dan memiliki UPS tersendiri. Struktur ini dirancang untuk memastikan bahwa fungsi-fungsi kritis di Lantai 1, terutama unit medis dan ruang operasi, memiliki pasokan daya tiga fasa yang stabil dan cadangan darurat yang handal.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 502 A, S = 510 A, dan T = 505 A) dan beban total sebesar 283.213 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{283213\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 507.39\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 507.39 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 630 A

Selanjutnya ada PP Lantai 2, dengan total beban daya tinggi mencapai 117.117 W. Panel induk PP. LANTAI 2 disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x1 x 185 mm^2 dengan *grounding* BC 95 mm^2 untuk menahan arus utama. Dari PP. LANTAI 2, daya didistribusikan secara paralel ke berbagai area fungsional. Sebagian besar area POLI (Klinik) menggunakan *Fuse Box* (FB.) yang disuplai oleh kabel NYY 3 x 4 mm^2 atau NYY 3 x 6 mm^2 untuk sirkuit satu fasa. Area penting seperti FB. TINDAKAN dan PP LAB 2 masing-masing memiliki dukungan UPS 2 kVA, menjamin daya tak terputus untuk prosedur kritis dan peralatan laboratorium. Selain itu, terdapat sirkuit distribusi yang luas menuju area IRNA 1 yang juga menggunakan FB. IRNA 1 dengan kabel NYY 3 x 4 mm^2. Keseluruhan struktur ini menunjukkan sistem distribusi yang terperinci dan redundan, dengan fokus pada penyediaan daya tiga fasa yang stabil ke panel induk dan mengamankan sirkuit cabang penting melalui UPS.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 206 A, S = 200 A, dan T = 220 A) dan beban total sebesar 117.117 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{117117\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 209.83\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 209.83 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 250 A.

Selanjutnya ada PP Lantai 3, sebagai panel induk, dengan total beban daya tinggi mencapai

126.581 W dari sumber utama PLN (380/220 V). Panel PP. LANTAI 3 disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2, menunjukkan kemampuan menahan arus utama. Panel induk ini mendistribusikan daya secara paralel ke berbagai area fungsional. Sebagian besar area Kelas I menggunakan *Fuse Box* (FB.) Kelas I yang disuplai oleh kabel NYY 3 x 4 mm^2 untuk sirkuit satu fasa, melayani berbagai kamar dari 1 hingga 36. Area kritis seperti FB. TINDAKAN 1 disuplai oleh kabel NYY 4 mm^2 dan memiliki dukungan UPS 2 kVA (satu fasa dengan *back-up* 15 menit), menjamin daya tak terputus untuk prosedur medis. Selain itu, terdapat panel cabang PP. GD. LAB yang disuplai oleh kabel NYY 4 x 4 mm^2 dengan *grounding* NYA 4 mm^2.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 258 A, S = 211 A, dan T = 207 A) dan beban total sebesar 126.581 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{126581\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 226.78\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 226.78 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 250 A.

Selanjutnya ada PP Lantai 4, dengan total beban daya tinggi mencapai 166.883 W. Panel induk PP. LANTAI 4 disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2, menunjukkan kemampuannya menahan arus utama yang tinggi. Panel ini mendistribusikan daya ke dua kategori utama. Pertama, ke Panel Pembagi Kamar Operasi dan Kritis yang sangat sensitif, termasuk PP. OK KHUSUS, PP. OK UMUM, PP. OK INFEKSIUS, PP. ICU, dan PP. PCLI NCU/ISOLASI, yang semuanya disuplai oleh kabel NYY 3 x 16 mm^2 dengan *grounding* NYA 10 mm^2. Setiap panel ini dilengkapi dengan Trafo Isolasi, UPS 8 kVA, dan COS (*Change Over Switch*), memastikan pasokan daya terisolasi, stabil, dan cadangan selama 15 menit. Kedua, daya didistribusikan ke PP. VK yang terhubung ke UPS 12 kVA (3 Fasa), serta berbagai *Fuse Box* (FB.) untuk area seperti VK WIP, VK UMUM, VK GENECOLOGI, dan PERINA, yang umumnya menggunakan kabel NYY 3 x 4 . Selain itu, terdapat sirkuit untuk PP. ISOLASI dan PP. CSSD.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 310 A, S = 299 A, dan T = 282 A) dan beban total sebesar 166.883 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{166883\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 299.0\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 299.0 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 400 A.

Selanjtnya ada PP Lantai 4 *Mezzanine*, sebagai panel induk, dengan total beban daya tinggi 180.182 W dari sumber PLN (380/220 V). PP. LANTAI 4 MEZZANINE disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2, yang mampu menahan arus utama. Panel induk ini mendistribusikan daya secara paralel ke tiga panel cabang yang mengelola sistem pendingin udara presisi (PPAC) di Kamar Operasi (OK): PPAC OK-INFEKSIUS dan PPAC OK-UMUM masing-masing disuplai oleh kabel NYY 4 x 125 mm^2, sementara PPAC OK-KHUSUS disuplai oleh kabel yang lebih besar, NYY 4 x 35 mm^2. Semua panel cabang ini dilengkapi dengan *grounding* BCC 16 mm^2.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 324 A, S = 320 A, dan T = 322 A) dan beban total sebesar 180.182 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{180182\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 322.80\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi

fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 322.80 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 400 A.

Selanjutnya ada PP Lantai 5, sebagai panel induk, dengan total beban daya tinggi mencapai 117.141 W dari sumber utama PLN (380/220 V). Panel induk PP. LANTAI 5 disuplai oleh kabel berkapasitas sangat besar NYY 4 x 1 x 185 mm^2 dengan *grounding* BC 95 mm^2, menunjukkan kemampuan menahan arus utama. Panel ini mendistribusikan daya secara paralel ke berbagai *Fuse Box* (FB.) yang melayani area kamar perawatan pasien, seperti FB. VIP A, FB. VIP B, dan FB. SUITE. Panel-panel ini sebagian besar disuplai oleh kabel NYY 4 x 4 mm^2 dengan *grounding* NYA 4 mm^2, yang mengindikasikan sirkuit cabang tiga fasa dengan penampang yang memadai. Selain itu, terdapat sirkuit penting untuk FB. TINDAKAN, yang disuplai oleh kabel NYY 3 x 4 mm^2 dan memiliki dukungan UPS 3 kVA dengan *back-up* 15 menit, memastikan pasokan daya tak terputus untuk prosedur medis di area tersebut.

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 216 A, S = 208 A, dan T = 203 A) dan beban total sebesar 117.141 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{117141\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 209.87\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 209.87 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 250 A.

Selanjutnya ada Panel Lantai 6, sebagai panel induk, menanggung total beban daya tinggi sebesar 218.071 W Panel induk ini disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2, menunjukkan kemampuan menahan arus. PP. LANTAI 6 mendistribusikan daya secara paralel ke berbagai panel cabang, termasuk panel kritis seperti PP. HEMODIALISA, yang disuplai oleh kabel NYY 4 x 25 mm^2 dan memiliki dukungan UPS 30 kVA (3 Fasa) dengan *back-up* 15 menit dan COS, menjamin pasokan daya absolut untuk unit medis vital. Panel lainnya melayani beban utilitas dan fungsional, seperti PP. LIFT PASIEN 2 dan PP. LIFT PENUMPANG 1 & 2 (menggunakan kabel 4 x 6 mm^2 dan 4 x 25 mm^2), PP. POMPA ROOF (4 x 25 mm^2), PP. PRESS FAN 2 (kabel FRC 4 x 16 mm^2), PP. ELEKTRONIK, FB. TUKEM, PP. OFFICE, PP. ISOLASI, serta beberapa FB. POLI (3 x 4 mm^2).

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 395 A, S = 386 A, dan T = 387 A) dan beban total sebesar 218.071 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{218071\ W}{\sqrt{3}\ \times 380\ V\ \times 0.85} \approx 390.69\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 390.69 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 400A.

Untuk panel terakhir ada SDP Atap, sebagai panel induk, menanggung total beban daya sebesar 76.640 W dari sumber utama PLN (380/220 V). Panel SDP ATAP disuplai oleh kabel berkapasitas besar NYY 4 x 1 x 150 mm^2 dengan *grounding* BC 70 mm^2 , yang mengindikasikan kemampuan menahan arus utama. SDP ATAP ini mendistribusikan daya secara paralel ke berbagai panel cabang yang sebagian besar melayani utilitas kritis dan peralatan pendukung di area atap. Panel-panel tersebut meliputi PC (Panel Cabang) RO CUCI MEDIS dan PC BOOSTER RO CUCI MEDIS, serta PC RO HEMODIALISA dan PC BOOSTER RO HEMODIALISA, yang semuanya disuplai oleh kabel NYY 4 x 4 mm^2 dengan *grounding* NYA 4 mm^2 . Selain itu, terdapat sirkuit untuk PC. LIFT PASIEN 1 (NYY 4 x 6 mm^2) dan PP PRESS FAN 1

(menggunakan kabel tahan api FRC 4 x 1 x 6 mm^2).

Dengan tegangan 380/220 V dengan sistem tiga fasa (R = 148 A, S = 132 A, dan T = 131 A) dan beban total sebesar 76.640 W, arus nominal (I_n) yang mengalir pada sirkuit tersebut adalah

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times cos\ cos\ \phi}$$

$$I_n = \frac{76640\ W}{\sqrt{3} \times 380\ V \times 0.85} \approx 137.31\ A$$

Berdasarkan perhitungan ini dan informasi fasa R, S, dan T yang diketahui, untuk arus sebesar 137.31 A, umumnya digunakan *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*, dan kapasitas yang paling tepat dan merupakan nilai standar komersial terdekat yang lebih tinggi adalah MCCB 3P 160 A.

4.2 Perhitungan Beban Puncak & Kapasitas Trafo dan Genset

Untuk menentukan kapasitas trafo yang cocok untuk gedung ini, kita perlu melihat Total B

Beban Terpasang (KVA) atau Total Beban Normal (KVA), tergantung pada asumsi desain yang digunakan.

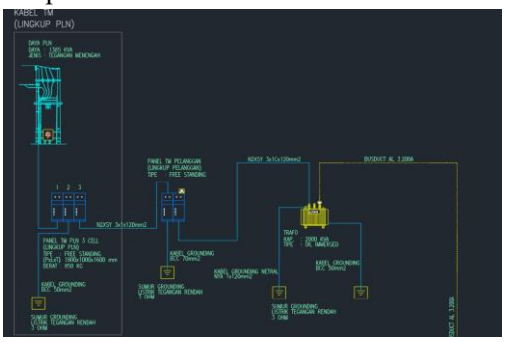
Tabel 4. 1 Total Beban RS Amerta Husadha

Panel / Fungsi	Beban Terpasang		FK%	Beban Normal	
	KVA	KW		KVA	KW
FB.PLN	1,4	1,2	0,60	0,8	0,7
FB.ALKES	4,2	3,6	0,60	2,5	2,2
PP.OUTDOOR LAMP	1,4	1,2	0,60	0,8	0,7
PP.POWERHOUSE	11,7	10,0	0,60	7,0	6,0
PC.SWP-3	2,4	2,0	0,60	1,4	1,2
PC.SP-2	2,4	2,0	0,60	1,4	1,2
PP.POMPA	60,2	52,0	0,60	36,1	30,6
PC.DIESEL HYDRANT PUMP	1,2	1,0	1,00	1,2	1,0
PC.ELECTRIK HYDRANT PUMP	155,3	132,0	1,00	155,3	132,0
PC.JOCKEY PUMP	5,9	5,0	1,00	5,9	5,0
SDP.RADIOLOGI	599,4	508,4	0,60	359,6	287,7
PP.BASEMENT	111,4	94,8	0,60	66,8	56,9
PP.LANTAI 1	333,8	283,0	0,60	200,3	180,3
PP.LANTAI 2	140,0	119,0	0,60	84,0	71,4
PP.LANTAI 3	148,8	126,6	0,60	89,3	76,0
PP.LANTAI 4	196,2	166,9	0,60	117,7	100,1
PP. LANTAI 4 MEZZANINE	212,5	180,2	0.60	127,5	108,1
PP.LANTAI 5	137,8	117,1	0,60	82,7	70,3
PP.LANTAI 6	257,0	218,0	0,60	154,2	130,8
PP.LANTAI ATAP	90,4	76,6	0,60	54,2	46,0
Total	2473,0	2100,1		1549,7	1308,2

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, total beban terpasang yang didapatkan adalah 2473,0 kVA, sedangakan total beban normalnya adalah 1549 kVA.

4.3 Perencanaan Suplai Daya Listrik

Perencanaan suplai daya listrik harus ditentukan dengan mempertimbangkan perencanaan beban total yang akan ditanggung oleh bangunan. Adanya kekurangan dalam penyediaan daya akan berdampak serius pada kelangsungan kegiatan yang ada pada bangunan, terutama pada rumah sakit.



Tabel 4. 2 Sumber Daya Listrik PLN

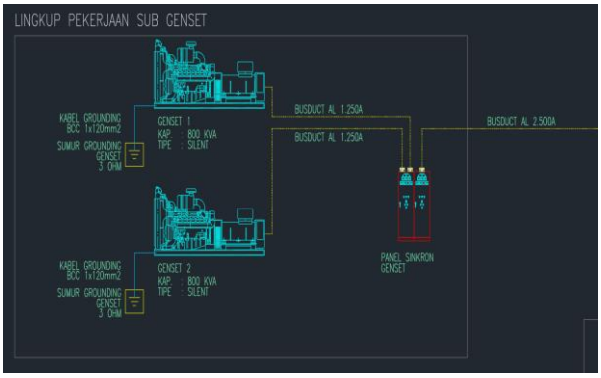
Gambar 4.2 menampilkan diagram instalasi sumber daya listrik PLN Tegangan Menengah (TM) pada gedung RSU Amerta Husadha. Sistem dimulai dari Kabel TM (Lingkup PLN) yang masuk ke Panel TM PLN 3 Cell (Tipe: *Free Standing*, PxLxT: 1800 x 1000 x 1600 mm). Panel ini memiliki tiga sel dan menggunakan kabel N2XSY 3 x 1 x 120 mm^2 untuk menyalurkan daya ke Panel TM Pelanggan (Lingkup Pelanggan) yang bertipe *Free Standing*. Dari Panel TM Pelanggan, daya disalurkan menggunakan kabel N2XSY 3 x 1 x 120 mm^2 ke Transformator (Trafo) berkapasitas 2000 kVA dengan tipe *Oil Immersed*. Trafo ini terhubung ke sistem grounding netral dan listrik tegangan rendah, masing-masing dengan nilai tahanan 3 Ohm. Output tegangan rendah dari trafo disalurkan melalui Busduct AL 3200 A menuju instalasi listrik gedung rumah sakit (lingkup pelanggan). Seluruh komponen utama, termasuk Panel TM PLN dan Trafo, dilengkapi dengan sistem kabel grounding BCC 70 mm^2 dan 36 mm^2 yang terhubung ke Sumur Grounding Listrik Tegangan Rendah dengan tahanan maksimal 3 Ohm.

Kapasitas trafo biasanya ditentukan berdasarkan Total Beban Normal (atau Beban Puncak) yang sudah dikalikan dengan Faktor Keandalan atau Faktor Cadangan (umumnya 120% hingga 150% dari beban puncak) untuk mengantisipasi pertumbuhan beban dan menjaga efisiensi operasional.

Menggunakan Total Beban Normal (1549.7 kVA). Beban Puncak yang Direncanakan sebesar 1549.7 kVA. Faktor Keandalan (misalnya 125% atau 1.25):

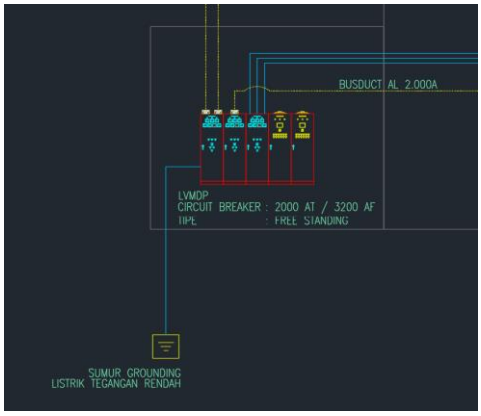
$$1549.7\ kVA \times 1.25\ \approx 1937.1\ kVA$$

Dengan perhitungan yang dilakukan, maka diketahui kapasitas trafo minimal yang dapat menanggung beban normal yang direncanakan adalah 2000 kVA.



Tabel 4. 3 Genset

Gambar 4.3 menunjukkan diagram instalasi *Sub Genset (Generator Set)* sebagai sumber daya cadangan untuk gedung RSU Amerta Husadha, yang dirancang dalam Lingkup Pekerjaan Sub Genset. Sistem ini terdiri dari dua unit genset, yaitu Genset 1 dan Genset 2, yang masing-masing berkapasitas 800 kVA dan bertipe *Silent*. Kedua genset tersebut memiliki sistem grounding sendiri menggunakan kabel BCC 1 x 120 mm^2 yang terhubung ke Sumur Grounding Genset dengan nilai tahanan maksimum 3 Ohm. Output daya dari masing-masing genset disalurkan melalui Busduct AL 1250 A menuju ke Panel Sinkron Genset. Di panel ini, daya dari kedua genset digabungkan dan disinkronkan. Setelah disinkronkan, total daya dari kedua genset (total 1600 kVA) kemudian disalurkan keluar menggunakan Busduct AL 2500 A menuju Panel Utama Tegangan Rendah (LVMDP) atau Panel Distribusi Genset di gedung. Sistem ini memungkinkan kedua genset beroperasi secara paralel untuk memasok daya yang lebih besar dan andal. Dengan beban normal yang direncanakan sebeasar 1549,7 KVA, maka genset yang digunakan diharuskan dapat menanggung beban tersebut.



Tabel 4. 4 Panel LVMDP

Gambar 4.24 menampilkan Panel LVMDP yang merupakan titik distribusi utama tegangan rendah untuk gedung. Panel ini bertipe *Free Standing* dan dilengkapi dengan *Circuit Breaker* utama berkapasitas *Ampere Trip* (AT) 2000 A dan *Ampere Frame* (AF) 3200 A, menunjukkan kemampuan penanganan arus yang sangat besar. Berdasarkan diagram sumber daya sebelumnya, Panel LVMDP ini berfungsi sebagai titik penerima daya ganda. Daya utama dari PLN masuk melalui *busduct* dan daya cadangan dari Genset juga terhubung ke panel ini. Panel ini mengatur dan mendistribusikan daya listrik ke seluruh instalasi gedung, serta dilengkapi dengan koneksi ke Sumur Grounding Listrik Tegangan Rendah untuk aspek keselamatan.

V. KESIMPULAN

Total Beban dan Beban Puncak yang Direncanakan: Berdasarkan perhitungan akhir, Total Beban Terpasang gedung didapatkan sebesar 2473.0 kVA. Sementara itu, Total Beban Normal (atau Beban Puncak yang digunakan untuk perencanaan) adalah 1549.7 kVA. Setelah dikalikan dengan Faktor Keandalan 125% (1.25) untuk mengantisipasi pertumbuhan beban, Beban Puncak yang Direncanakan untuk penentuan trafo adalah 1937,1 kVA.

Instalasi sumber daya listrik PLN Tegangan Menengah (TM) untuk RSU Amerta Husadha dirancang dengan kapasitas besar menggunakan Transformator Oil Immersed 2000 kVA. Sistem ini mengalirkan daya dari Panel TM 3 Cell PLN dan Pelanggan melalui kabel N2XSY 3 x 1x 120 mm2, dan menyalurkan output Tegangan Rendah ke instalasi gedung melalui Busduct AL 3200 A. Keseluruhan instalasi, termasuk komponen utama seperti Trafo dan Panel TM, diprioritaskan pada keamanan dan keandalan dengan dilengkapi sistem grounding netral dan Tegangan Rendah terintegrasi yang memiliki tahanan maksimal 3 Ohm.

Disarankan untuk menggunakan dua unit Trafo 1250 kVA (dengan total kapasitas 2500 kVA). Pilihan ini sangat penting untuk fasilitas kritis seperti rumah sakit karena menjamin redundansi N-1. Apabila satu trafo mengalami gangguan, trafo yang tersisa 1250 kVA masih mampu menanggung Beban Normal 1549.7 kVA dengan mematikan beban-beban non-esensial (Load Shedding). Opsi ini juga memberikan cadangan yang memadai untuk pertumbuhan beban di masa depan, mengingat Beban Puncak yang Direncanakan adalah 1937.1 kVA.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Hendarman, H., Tarmizi, T., & Rahmadani, E. (2020). Analisis dan Perancangan Instalasi Listrik Gedung Rumah Sakit. Jurnal Pendidikan Vokasi Elektroteknika (JEVET)

[2] Badan Standardisasi Nasional. (2011). Peraturan Umum Instalasi Listrik 2011 (SNI 0225:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

[3] *Chapman, S. J. (2012). Electric Machinery Fundamentals. Edisi Ke-5. New York: McGraw-Hill Education.*

[4] *Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2007). Protective Relaying: Principles and Applications. Edisi Ke-4. Boca Raton: CRC Press.*

[5] Sugianto, A., Fahrezi, A. S., & Oetomo, P. (2022). Perencanaan Instalasi Listrik pada Gedung Rumah Sakit. Jurnal Teknik

Elektro ISTN

[6] Arismunandar, A., & Kuwamura, S. (2004). *Teknik Tenaga Listrik Jilid II: Saluran Transmisi*. Jakarta: Pradnya Paramita.

[7] Harten, P. Van, & Setiawan, E. (2002/2004). *Instalasi Listrik Arus Kuat 1 & 2*. Jakarta: Bina Cipta.

[8] Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.