

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Kajian penelitian terdahulu diperoleh melalui proses peninjauan literatur yang memiliki keterkaitan atau relevansi dengan studi yang tengah dijalankan. Sumber-sumber literatur yang relevan meliputi jurnal ilmiah dan karya tulis skripsi yang selanjutnya dipahami dan dianalisis perbandingannya, sehingga penelitian ini dapat berperan sebagai pengembangan atau penyempurna dari riset-riset yang telah dilaksanakan sebelumnya. Berikut ini adalah kumpulan jurnal yang dimanfaatkan sebagai bahan tinjauan studi :

Tabel 2.1 Studi Pustaka Terkait

No	Judul Jurnal & Penulis (Tahun)	Metode yang Digunakan	Hasil Utama yang Relevan
1	Analisis Penggunaan UPS di Ruang Operasi RSUD Siti Fatimah – M. Andriansyah, R. Putra & D. Wulandari (2025)	Pengamatan langsung terhadap system UPS cadangan ganda	• UPS mampu menyuplai Listrik selama kurang lebih 1,8 jam saat PLN padam • Perpindahan ke UPS tanpa jeda waktu (instant) • Sistem cadangan

			ganda efektif menjaga alat medis tetap hidup
2	Analisis Keandalan Sistem Tenaga Listrik di Rumah Sakit Bunda Thamrin – S. Lestari & H. Santoso (2024)	Kajian dokumen, pengamatan lapangan, dan wawancara teknisi	• Rumah Sakit memiliki 2 genset sebagai Cadangan • Waktu nyala genset 10-15 detik setelah PLN padam • Perlu penambahan panel listrik di tiap lantai • Perlu alat pengukur tegangan untuk monitoring
3	Analisis Kepatuhan Sistem Kelistrikan Rumah Sakit terhadap Permenkes No. 40 Tahun 2022 – A.	Perbandingan kondisi lapangan dengan standar pemerintah	• Rumah sakit menggunakan PLN + 2 Genset dengan kapasitas 400kVA + UPS • Sistem pentanahan sudah baik dan tegangan stabil

	Pratama, R. Hidayat & N. Dewi (2025)		• Jumlah stop kontak belum merata di ruang Hemodialisa • Sistem pengaman listrik perlu diperbaiki
4	Analisis Kebutuhan Daya Listrik pada Instalasi Gawat Darurat (IGD) RSUD Dr. Soetomo Surabaya – T. Mahendra & F. Putri (2023)	Pengukuran pemakaian listrik dan evaluasi kapasitas	• Kebutuhan listrik IGD meningkat karena alat medis baru • Kapasitas listrik sering hampir penuh (mendekati batas maksimal) • Perlu menambah kapasitas genset • Perlu sistem kontrol daya terpusat

2.2 Analisa Perbandingan Penelitian Terdahulu

Keempat penelitian terdahulu yang telah diidentifikasi memiliki kesamaan fokus pada keandalan sistem

kelistrikan rumah sakit, khususnya pada unit-unit kritis seperti ruang operasi, IGD, dan ruang pelayanan pasien. Penelitian di RSUD Siti Fatimah menitikberatkan pada analisis penggunaan UPS untuk menjaga keberlanjutan suplai listrik pada ruang operasi. Hasilnya menunjukkan sistem double-conversion hot-standby UPS dengan runtime sekitar 1,8 jam dan zero transfer time mampu menjaga alat medis tetap beroperasi tanpa gangguan saat terjadi pemadaman listrik [8]. Temuan ini relevan karena memberikan gambaran konfigurasi UPS yang andal untuk lingkungan rumah sakit yang sensitif seperti ICU.

Berbeda dengan itu, penelitian di Rumah Sakit Bunda Thamrin lebih menyoroti keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan termasuk distribusi dan genset cadangan. Melalui studi pustaka, observasi lapangan, dan wawancara teknis, penelitian ini menemukan waktu peralihan genset yang masih cukup lama (10–15 detik) dan perlunya penempatan panel MDP/SDP serta voltmeter untuk memudahkan pemantauan kondisi sistem listrik [9]. Temuan ini menunjukkan aspek distribusi dan switching sistem cadangan yang menjadi titik rawan keandalan.

Sementara itu, penelitian di RS Tabrani fokus pada kepatuhan sistem kelistrikan rumah sakit terhadap regulasi Permenkes No. 40 Tahun 2022. Penelitian ini menyoroti pentingnya grounding dan proteksi yang sesuai standar, serta menemukan bahwa meskipun tegangan dan sistem cadangan sudah memadai, distribusi stop kontak pada ruangan-ruangan kritis belum merata [10]. Hasil ini menegaskan bahwa selain keandalan teknis, aspek regulasi dan keselamatan juga menjadi indikator penting yang harus dipenuhi oleh rumah sakit.

Adapun penelitian di RSUD Dr. Soetomo Surabaya memberikan perspektif berbeda dengan menyoroti analisis kebutuhan daya listrik pada IGD. Melalui pengukuran beban listrik aktual, ditemukan adanya peningkatan signifikan kebutuhan daya akibat penambahan alat medis baru sehingga kapasitas suplai sering mendekati overload. Penelitian ini merekomendasikan penambahan kapasitas genset serta penerapan sistem manajemen daya terpusat agar keandalan sistem tetap terjaga [11].

Jika dibandingkan secara keseluruhan, keempat penelitian tersebut menunjukkan bahwa setiap aspek mulai dari konfigurasi UPS, keandalan genset dan distribusi, kepatuhan regulasi, hingga proyeksi kebutuhan daya merupakan faktor yang saling melengkapi untuk menjamin pasokan listrik yang stabil di unit kritis rumah sakit. Namun, belum ada penelitian yang secara komprehensif menggabungkan seluruh aspek tersebut dengan fokus khusus pada *Intensive Care Unit* (ICU). Padahal, ICU merupakan ruang paling kritis di rumah sakit dengan tingkat ketergantungan tertinggi terhadap pasokan listrik stabil dan tanpa gangguan. Kesenjangan inilah yang ingin diisi melalui penelitian ini, yaitu dengan menganalisis sistem kelistrikan ICU Rumah Sakit Mitra Keluarga Pondok Tjandra secara menyeluruh sehingga dapat dihasilkan rekomendasi teknis yang lebih aplikatif untuk menjamin keandalan pelayanan medis.

2.3 Sistem Kelistrikan Rumah Sakit

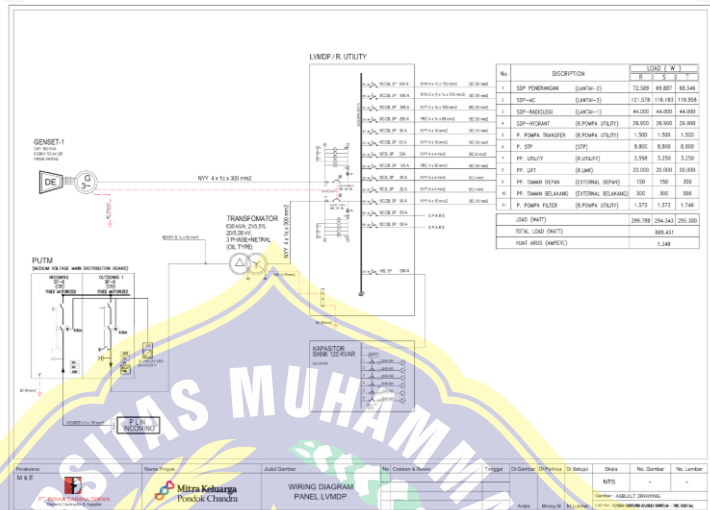
Sistem kelistrikan rumah sakit merupakan salah satu komponen vital dalam menjamin kelancaran pelayanan kesehatan, karena hampir seluruh aktivitas medis modern bergantung pada ketersediaan energi listrik yang stabil dan andal. Sistem ini memiliki karakteristik khusus

dibandingkan dengan bangunan umum lainnya, yakni harus memenuhi standar keselamatan, keandalan, dan kontinuitas pasokan listrik untuk menunjang peralatan medis yang sensitif serta mendukung kenyamanan pasien dan tenaga medis [4]. Pada unit-unit kritis seperti ruang ICU, ruang operasi, dan instalasi gawat darurat (IGD), kebutuhan listrik bersifat esensial karena kegagalan daya, meskipun dalam durasi singkat, dapat berakibat fatal terhadap keselamatan pasien [5]. Oleh karena itu, desain sistem kelistrikan rumah sakit biasanya dilengkapi dengan sumber daya cadangan seperti genset dan Uninterruptible Power Supply (UPS) yang mampu menjaga kontinuitas suplai energi.

Prinsip utama dalam perancangan sistem kelistrikan rumah sakit adalah keandalan dan kontinuitas pasokan listrik. Hal ini diwujudkan melalui penerapan sistem distribusi ganda, pemisahan beban kritis dan non-kritis, serta penggunaan perangkat proteksi yang sesuai standar internasional [12]. Dengan demikian, rumah sakit tidak hanya dapat menjamin keamanan operasional peralatan medis, tetapi juga meningkatkan mutu layanan kesehatan melalui penyediaan energi listrik yang konsisten dan bebas gangguan.

2.3.1 Sistem Kelistrikan di Rumah Sakit Mitra Keluarga

Sistem kelistrikan di Rumah Sakit Mitra Keluarga Pondok Tjandra Sidoarjo berperan sebagai infrastruktur vital yang menjamin keberlangsungan pelayanan medis, khususnya pada unit-unit kritis seperti ICU yang sangat bergantung pada peralatan medis berdaya listrik tinggi dan sensitif.



Gambar 2.2 Panel MDP Lantai 2

Meskipun saat ini UPS masih bersifat sentral untuk satu lantai sehingga berisiko ketika terjadi kerusakan atau beban berlebih. Beberapa permasalahan yang teridentifikasi antara lain blackout singkat akibat human error dari pengguna yang kurang memahami sistem kelistrikan, lampu yang rusak hingga menyebabkan trip MCB, serta usia baterai UPS yang sudah tua sehingga mengurangi runtime dan keandalannya.



Gambar 2.3 UPS 10kVA pada Lantai 2

Di sisi lain, fluktuasi tegangan, **overload**, serta potensi harmonisa juga menjadi gangguan umum yang dapat mengganggu kinerja ventilator, mesin dialisis, maupun monitor hemodinamik yang memerlukan suplai listrik stabil tanpa gangguan. Standar internasional (IEC 60364-7-710) dan regulasi nasional (Permenkes No. 40/2022) menuntut rumah sakit memiliki sistem cadangan, distribusi redundant, proteksi arus, serta stabilisasi tegangan melalui AVR dan grounding yang memadai.

2.4 Standar dan Regulasi Sistem Kelistrikan Rumah Sakit

Standar dan regulasi sistem kelistrikan rumah sakit berperan penting dalam memastikan keamanan, keandalan, dan kontinuitas pasokan listrik yang mendukung operasional layanan kesehatan. Salah satu acuan internasional yang menjadi rujukan utama adalah

IEC 60364-7-710 yang mengatur instalasi listrik pada lokasi medis. Standar ini menekankan pada aspek keselamatan pasien dan tenaga medis dengan mengklasifikasikan area medis berdasarkan tingkat risiko serta menetapkan persyaratan khusus untuk sistem proteksi, suplai cadangan, dan distribusi daya [4].

Di tingkat nasional, regulasi terkait juga dituangkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 40 Tahun 2022 yang mengatur persyaratan teknis kelistrikan rumah sakit. Regulasi ini menegaskan pentingnya keandalan instalasi listrik untuk menjamin kesinambungan pelayanan, khususnya pada unit-unit kritis seperti ruang ICU, IGD, dan ruang operasi, serta kewajiban rumah sakit memiliki sistem cadangan daya yang memadai. Selain itu, Pedoman Teknis Fasilitas dan Peralatan Rumah Sakit yang diterbitkan Kementerian Kesehatan RI (2023) memberikan arahan teknis yang lebih rinci terkait desain, pemeliharaan, serta integrasi peralatan listrik dengan fasilitas kesehatan. Dengan adanya standar internasional dan regulasi nasional tersebut, sistem kelistrikan rumah sakit diharapkan dapat memenuhi standar keselamatan sekaligus mendukung peningkatan mutu pelayanan kesehatan di Indonesia.

2.5 Komponen Utama Sistem Kelistrikan ICU

2.5.1 Sumber Utama (PLN)

Sumber utama sistem kelistrikan di rumah sakit, termasuk pada unit Intensive Care Unit (ICU), umumnya berasal dari jaringan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN). PLN dipilih karena mampu menyediakan pasokan listrik yang relatif stabil dan memiliki kapasitas besar untuk menunjang berbagai peralatan medis. Keandalan pasokan dari PLN sangat penting mengingat peralatan di ICU seperti ventilator,

monitor pasien, dan pompa infus membutuhkan suplai listrik kontinu tanpa gangguan. Ketidakstabilan atau terputusnya aliran listrik dapat mengakibatkan gangguan serius pada pelayanan medis dan membahayakan keselamatan pasien [13].

2.5.2 Sumber Cadangan : Genset

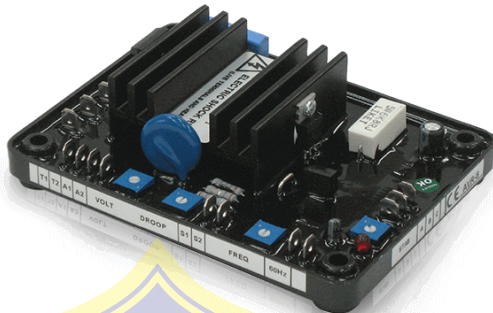
Generator set (genset) merupakan sumber cadangan utama ketika terjadi gangguan atau pemadaman dari PLN. Genset berfungsi menghasilkan listrik secara mandiri dengan memanfaatkan energi mekanik dari mesin berbahan bakar fosil. Karakteristik penting dari genset dalam sistem rumah sakit adalah kemampuannya untuk beroperasi otomatis (automatic transfer) ketika sumber utama gagal, dengan waktu transfer ideal kurang dari 15 detik agar tidak mengganggu peralatan kritis [4]. Kapasitas genset harus dihitung berdasarkan total beban penting rumah sakit, terutama beban darurat di ICU, ruang operasi, dan IGD. Selain itu, rumah sakit biasanya menggunakan lebih dari satu unit genset sebagai redundansi untuk memastikan kontinuitas pelayanan [14].



Gambar 2.4 Genset

2.5.3 Stabilisator/*Automatic Voltage Regulator*(AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah perangkat yang berfungsi menstabilkan tegangan listrik agar sesuai dengan standar yang dibutuhkan peralatan medis. Fluktuasi tegangan, baik overvoltage maupun undervoltage, dapat mengganggu kinerja alat kesehatan yang sensitif, bahkan berpotensi merusak perangkat elektronik di ICU. AVR bekerja dengan cara mengatur tegangan keluaran dari sumber listrik, baik PLN maupun genset, sehingga tetap dalam rentang aman dan stabil. Keberadaan AVR menjadi penting di rumah sakit karena menjamin kualitas daya listrik yang andal dan sesuai standar medis [6].



Gambar 2.5 Automatic Voltage Regulator (AVR)

2.5.4 Sistem Distribusi Daya Listrik Rumah Sakit (Radial, Ring, Redundant)

Distribusi daya listrik di rumah sakit, khususnya di ICU, harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek keandalan dan kontinuitas. Sistem distribusi radial adalah sistem paling sederhana di mana tiap beban terhubung langsung ke sumber melalui jalur tunggal. Namun, kelemahannya adalah apabila terjadi gangguan di salah satu titik, maka suplai listrik ke beban tersebut akan terputus. Sistem ring lebih andal karena beban dilayani dari dua arah, sehingga jika salah satu jalur terganggu, jalur lainnya tetap bisa menyuplai daya. Adapun sistem redundant adalah yang paling handal karena melibatkan lebih dari satu sumber daya dan jalur distribusi ganda, sehingga sangat sesuai untuk unit kritis seperti ICU. Pemilihan jenis distribusi listrik di rumah sakit harus mengikuti standar teknis, seperti IEC 60364-7-710, untuk menjamin suplai listrik aman, stabil, dan berkesinambungan [5].

2.6 Gangguan Umum pada Sistem Kelistrikan Rumah Sakit

2.6.1 Fluktuasi Tegangan (*Drop Voltage*, *Spike*, *Harmonisa*)

Fluktuasi tegangan merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan rumah sakit. Gangguan ini dapat berupa penurunan tegangan (*voltage drop*), lonjakan tegangan sesaat (*voltage spike*), maupun distorsi gelombang listrik akibat harmonisa. *Voltage drop* dapat menyebabkan kinerja peralatan medis berkurang, seperti lampu operasi menjadi redup atau mesin anestesi tidak berfungsi optimal. *Voltage spike* justru berisiko merusak komponen elektronik sensitif, misalnya monitor pasien atau peralatan pencitraan medis. Sementara itu, harmonisa yang timbul akibat beban non-linear seperti UPS dan perangkat komputer dapat mengakibatkan pemanasan berlebih pada transformator serta mengurangi umur peralatan listrik [14].

2.6.2 *Overload* dan *Blackout* Singkat

Overload terjadi ketika beban listrik yang digunakan melebihi kapasitas suplai yang tersedia. Kondisi ini sering muncul akibat penggunaan peralatan medis berdaya tinggi secara bersamaan tanpa perencanaan distribusi daya yang baik. Akibatnya, sistem proteksi akan bekerja dengan memutus aliran listrik, yang dapat menyebabkan *blackout* singkat. Meskipun bersifat sementara, *blackout* di rumah sakit sangat kritis karena dapat menghentikan fungsi vital seperti ventilator, pompa infus, atau perangkat bedah elektrik. Oleh karena itu, sistem kelistrikan rumah sakit

wajib memiliki sumber daya cadangan seperti genset atau UPS untuk menjaga kontinuitas suplai listrik [4].

Kegagalan Panel Distribusi, Grounding, dan Proteksi Panel distribusi berfungsi menyalurkan listrik dari sumber ke berbagai unit rumah sakit, termasuk ICU, ruang operasi, dan laboratorium. Kegagalan pada panel distribusi, baik karena kerusakan mekanis, gangguan isolasi, maupun kesalahan koneksi, dapat memicu gangguan suplai ke seluruh ruangan kritis. Selain itu, sistem grounding yang tidak baik berpotensi menimbulkan kebocoran arus dan risiko sengatan listrik bagi tenaga medis maupun pasien. Proteksi seperti MCB, MCCB, atau ELCB yang tidak berfungsi optimal juga meningkatkan risiko kebakaran dan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, inspeksi rutin, pemeliharaan berkala, serta penerapan standar proteksi yang sesuai dengan regulasi nasional dan internasional menjadi langkah penting dalam menjamin keandalan sistem kelistrikan rumah sakit [5][13].

2.7 Peralatan Medis Kritis dan Ketergantungan Terhadap Listrik

2.7.1 Ventilator

Ventilator adalah alat yang memberikan dukungan pernapasan mekanik kepada pasien yang tidak mampu bernapas sendiri secara efektif. Ventilator tergantung pada sumber listrik yang terus menyuplai tenaga untuk menggerakkan pompa, kipas, kontrol sensor, alarm, dan sistem monitoring. Tanpa listrik (atau jika terjadi gangguan listrik), ventilator bisa berhenti beroperasi atau fungsi kontrolnya terganggu, menyebabkan pasien kehilangan dukungan pernapasan yang sangat vital. Sebagai ilustrasi, dalam artikel *“Critical failures in the use of home ventilation medical devices”*, ditemukan bahwa komponen listrik

adalah salah satu dari tiga area risiko utama kegagalan pada ventilator dan sistem ventilasi rumahan[15].



Gambar 2.6 Ventilator

2.7.2 Mesin Dialisis

Mesin dialisis menghilangkan limbah dan kelebihan cairan dari darah pasien dengan gagal ginjal. Proses ini melibatkan sirkulasi darah dan dialisis lewat pompa dan kontrol aliran, pengaturan suhu, filter, dan sensor. Semua ini memerlukan listrik yang terus-menerus dan presisi. Studi “The impact of a large-scale power outage on hemodialysis center operations” menunjukkan bahwa ketika terjadi pemadaman listrik besar-besaran, operasional pusat dialisis terganggu signifikan: beberapa fasilitas harus merujuk pasien ke pusat lain, menunda atau

mengubah jadwal dialisis, terganggunya penggunaan genset cadangan, dan lain-lain[16].



Gambar 2.7 Mesin Dialisis

2.7.3 Monitor Hemodinamik

Monitor hemodinamik mengukur parameter vital seperti tekanan darah, aliran darah, curah jantung, saturasi oksigen, dan variabel kardiovaskular lainnya. Alat ini memiliki sensor elektronik, display, unit pemrosesan sinyal, dan sering kali integrasi digital dengan sistem rekam medis. Tanpa pasokan listrik yang stabil, monitor ini bisa mati, alarm tidak aktif, data tidak terekam atau tidak ditampilkan, yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi pasien yang kritis.



Gambar 2.8 Monitor Hemodinamik

2.9 Perhitungan Mendapatkan Nilai Daya Nyata dan Daya Reaktif

Untuk mendapatkan Daya Nyata dan Daya Reaktif penulis menggunakan perhitungan teoritis dikarenakan tidak adanya alat yang memadai untuk mengukur daya nyata dan daya reaktif. Untuk menghitung daya nyata menggunakan rumus :

$$P_{fasa} = V_{LN} \times I_{fasa} \times \cos \phi$$

Dimana :

P_{fasa} : Daya nyata per fasa (kW)

V_{LN} : Tegangan antara fasa dan netral (Volt)

I_{fasa} : Arus masing - masing fasa (Ampere)

$\cos \varphi$: Faktor Daya

Untuk menghitung daya reaktif digunakan rumus perhitungan :

$$Q_{fasa} = V_{LN} \times I_{fasa} \times \sin \varphi$$

Dimana :

Q_{fasa} : Daya nyata per fasa

V_{LN} : Tegangan antara fasa dan netral (Volt)

I_{fasa} : Arus masing - masing fasa (Ampere)

$\sin \varphi$: Faktor Daya

2.10 Standar Kelistrikan Rumah Sakit

Penelitian ini menggunakan beberapa standar utama sebagai acuan dalam menganalisis dan mengevaluasi sistem kelistrikan ICU Rumah Sakit Mitra Keluarga Pondok Candra Sidoarjo. Standar-standar tersebut mencakup standar internasional dan regulasi nasional yang secara spesifik mengatur instalasi listrik di fasilitas pelayanan kesehatan, meliputi IEC 60364-7-710, Permenkes RI No. 40 Tahun 2022, SPLN 1:1995, IEEE 1159-2019, IEEE 519-2014, IEC 62040-3, serta Tier III Uptime Institute Standard.

Standar IEC 60364-7-710 merupakan standar internasional yang diterbitkan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC) yang secara khusus mengatur persyaratan instalasi listrik pada lokasi medis. Standar ini menjadi acuan utama dalam penelitian karena memberikan pedoman teknis yang detail untuk menjamin keselamatan pasien dan kontinuitas pelayanan di area kritis rumah sakit seperti ICU. Standar ini mengklasifikasikan area medis menjadi tiga grup berdasarkan tingkat risiko terhadap

pasien, yaitu Group 0 untuk area tanpa kontak alat medis dengan pasien seperti administrasi dan ruang tunggu, Group 1 untuk area dengan kontak eksternal non-vital seperti ruang rawat inap biasa, dan Group 2 untuk area dengan kontak invasif atau pada area vital pasien seperti ICU dan ruang operasi. ICU termasuk dalam Group 2 sehingga memiliki persyaratan kelistrikan yang paling ketat. Parameter teknis utama dari standar ini yang digunakan dalam penelitian meliputi deviasi tegangan maksimal $\pm 5\%$ dari tegangan nominal untuk area medis kritis, waktu transfer sumber cadangan maksimal 0,5 detik untuk instant transfer atau 15 detik untuk short break, runtime UPS minimal 10-15 menit, sistem distribusi redundant dengan konfigurasi dual feed atau N+1, pemisahan jalur beban kritis dan non-kritis, sistem grounding IT atau TN-S dengan proteksi RCD, keseimbangan beban antar fasa dengan deviasi maksimal 10%, serta frekuensi nominal 50 Hz $\pm 1\%$. Dalam penelitian ini, standar IEC 60364-7-710 digunakan sebagai benchmark utama untuk mengevaluasi kualitas tegangan pada panel ICU, keandalan sistem cadangan genset dan UPS, konfigurasi sistem distribusi, serta tingkat kesesuaian sistem eksisting yang dibahas pada sub-bab 4.3.1, 4.4, 4.1, dan 4.5.1.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 merupakan regulasi nasional yang mengatur persyaratan teknis kelistrikan dan sistem pendukung lainnya di fasilitas pelayanan kesehatan. Regulasi ini wajib dipatuhi oleh seluruh rumah sakit di Indonesia sebagai bagian dari persyaratan operasional dan akreditasi. Parameter teknis yang digunakan dari regulasi ini mencakup kewajiban tersedianya sumber listrik cadangan berupa genset dan UPS untuk area kritis dengan kapasitas yang mampu menampung seluruh beban kritis rumah sakit, sistem cadangan berlapis minimal 2 tingkat yaitu UPS sebagai buffer instant dan genset sebagai backup utama, kemampuan operasional genset minimal 6 jam

berturut-turut dengan beban penuh, pemeliharaan rutin minimal 1 kali per bulan dengan dokumentasi dalam checklist atau logbook, pemisahan jalur distribusi untuk area kritis seperti ICU dari area non-kritis, kualitas tegangan yang stabil dalam toleransi standar nasional dan internasional, sistem pentanahan sesuai standar keselamatan dengan nilai tahanan pentanahan maksimal 5 Ohm untuk sistem IT dan maksimal 1 Ohm untuk area kritis, kapasitas sistem yang memperhitungkan pengembangan minimal 5 tahun dengan safety factor minimal 125% dari beban puncak, dokumentasi lengkap berupa SOP pemeliharaan dan emergency response serta single line diagram, serta persyaratan zero downtime untuk area kritis melalui kombinasi UPS instant transfer dan genset. Dalam penelitian ini, Permenkes No. 40 Tahun 2022 digunakan sebagai benchmark regulasi nasional untuk mengevaluasi kepatuhan sistem kelistrikan ICU terhadap regulasi pemerintah, kelengkapan sistem cadangan dan prosedur pemeliharaan, kesiapan infrastruktur untuk ekspansi ICU, serta tingkat compliance rumah sakit terhadap persyaratan akreditasi yang dibahas pada sub-bab 4.5.2, 4.4, 4.6, dan 4.5.3.

SPLN 1:1995 yang merupakan Standar PLN untuk Sistem Tegangan Menengah dan Rendah digunakan sebagai referensi tambahan untuk mengevaluasi kualitas tegangan dari sisi standar utilitas. Parameter yang digunakan dari standar ini meliputi tegangan nominal sistem 3 fasa sebesar 400V dengan toleransi $\pm 10\%$ sehingga rentang yang diperbolehkan adalah 360-440V, serta frekuensi nominal 50 Hz. Standar ini digunakan dalam penelitian untuk membandingkan tegangan terukur pada panel LVMDP dengan toleransi standar PLN dan mengevaluasi apakah voltage drop yang terjadi masih dalam batas toleransi sebagaimana dibahas pada sub-bab 4.3.1.

IEEE 1159-2019 yang merupakan *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi parameter kualitas daya listrik, khususnya terkait keseimbangan beban antar fasa. Standar ini mensyaratkan keseimbangan beban dengan deviasi maksimal 10% dari rata-rata beban menggunakan metode perhitungan persentase deviasi dari arus rata-rata sistem. Dalam penelitian ini, standar IEEE 1159-2019 digunakan untuk mengevaluasi tingkat ketidakseimbangan beban antar fasa R, S, dan T serta menganalisis dampak ketidakseimbangan terhadap efisiensi sistem yang dibahas pada sub-bab 4.3.2.

IEEE 519-2014 yang merupakan *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control* digunakan sebagai acuan untuk parameter faktor daya meskipun penelitian ini tidak menganalisis harmonisa secara mendalam. Standar ini menetapkan faktor daya minimal 0,90 untuk institusi kesehatan dengan tujuan menjaga efisiensi sistem dan mengurangi rugi-rugi daya reaktif. Dalam penelitian ini, standar IEEE 519-2014 digunakan untuk mengevaluasi kelayakan faktor daya sistem ICU dan menganalisis implikasi faktor daya terhadap efisiensi operasional sebagaimana dibahas pada sub-bab 4.3.3.

IEC 62040-3 tentang *Uninterruptible Power Systems - Method of Specifying the Performance and Test Requirements* digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kinerja sistem UPS. Parameter yang digunakan dari standar ini meliputi runtime UPS minimal 10-15 menit pada beban penuh untuk aplikasi medis, efisiensi minimal 90% pada beban 50-100%, serta transfer time maksimal 4 ms untuk online double-conversion UPS. Standar ini digunakan dalam penelitian untuk mengevaluasi runtime UPS 10kVA yang melayani ICU Lantai 2

dan menganalisis kecukupan kapasitas UPS terhadap beban aktual yang dibahas pada sub-bab 4.4.2.

Tier III Uptime Institute Standard digunakan sebagai benchmark untuk availability sistem kelistrikan fasilitas kritis. Standar ini menetapkan availability minimal 99,982% dengan maksimal downtime 1,6 jam per tahun serta redundancy N+1 untuk komponen kritis. Dalam penelitian ini, standar Tier III digunakan untuk mengevaluasi availability sistem kelistrikan ICU berdasarkan data downtime dan membandingkan performa aktual dengan target Tier III sebagaimana dibahas pada sub-bab 4.4.3 dan 4.6.3.

Dengan menggunakan kombinasi standar internasional yang meliputi IEC 60364-7-710 untuk persyaratan instalasi listrik di lokasi medis, IEEE 1159-2019 untuk kualitas daya, IEEE 519-2014 untuk faktor daya, IEC 62040-3 untuk sistem UPS, dan Tier III Uptime Institute untuk availability sistem, serta regulasi nasional yang meliputi Permenkes No. 40 Tahun 2022 untuk persyaratan teknis kelistrikan rumah sakit dan SPLN 1:1995 untuk standar tegangan, penelitian ini dapat memberikan evaluasi yang komprehensif dan seimbang terhadap sistem kelistrikan ICU baik dari perspektif teknis maupun compliance terhadap regulasi yang berlaku di Indonesia. Pendekatan multi-standar ini memastikan bahwa analisis tidak hanya memenuhi persyaratan minimal regulasi nasional, tetapi juga sejalan dengan best practice internasional untuk instalasi listrik di fasilitas pelayanan kesehatan kritis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

