

ANALISIS PENGUJIAN ARUS BOCOR PADA PASIEN MONITOR BERDASARKAN METODE STANDAR IEC 62353:2014

Muhammad Imamul Akbar¹, Rino Ferdian Surakusumah¹, Nik Zaidi Nik Bulyamin²

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Elektro-medis, Fakultas Teknologi Kesehatan, Institut Kesehatan dan Teknologi Al Insyirah, Pekanbaru, 28289, Indonesia

²NIQ Engineering Sdn. Bhd., Shah Alam, 40150, Malaysia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Tanggal Dikirim: 22 Agustus 2025

Tanggal Diterima: 26 Agustus 2025

Tanggal Dipublish: 27 Agustus 2025

Kata kunci: Arus bocor; IEC 62353; Pasien monitor; Keselamatan listrik; Electrical safety analyzer

Penulis Korespondensi:

Rino Ferdian Surakusumah

Email: rino.ferdian@ikta.ac.id

Abstrak

Latar belakang: Keselamatan listrik pada peralatan medis merupakan aspek yang sangat krusial karena berhubungan langsung dengan perlindungan pasien dan tenaga medis. Arus bocor, meskipun kecil, dapat menimbulkan risiko kejutan listrik yang berbahaya. Oleh sebab itu, diperlukan standar internasional dalam pengujian keselamatan listrik, salah satunya IEC 62353, yang memberikan pedoman praktis dalam pemeriksaan rutin perangkat medis di lapangan.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan metode pengujian arus bocor pada pasien monitor berdasarkan standar IEC 62353, serta memberikan rekomendasi metode yang paling sesuai dalam menjamin keselamatan listrik peralatan medis.

Metode: menggunakan desain eksperimental dengan pengujian pada dua unit pasien monitor, yaitu Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden. Instrumen yang digunakan adalah Electrical Safety Analyzer Bender UNIMET 810ST. Tiga metode utama dari IEC 62353 diterapkan, yaitu metode Langsung (Direct), Alternatif (Alternative), dan Diferensial (Differential). Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai arus bocor terhadap ambang batas standar.

Hasil: Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nilai arus bocor masih berada di bawah batas maksimum IEC 62353, yakni 500 μ A untuk metode Langsung dan Diferensial, serta 1000 μ A untuk metode Alternatif. Analisis menunjukkan bahwa metode Diferensial lebih sensitif, metode Langsung lebih stabil, sedangkan metode Alternatif dapat digunakan untuk peralatan dalam kondisi tidak aktif.

Kesimpulan: Pengujian menggunakan standar IEC 62353 terbukti efektif dalam memastikan keselamatan listrik pasien monitor. Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam peningkatan kompetensi tenaga elektromedis dan upaya pemeliharaan peralatan medis agar tetap aman, andal, dan sesuai standar internasional.

Jurnal Mutiara Elektromedik

e-ISSN: 2614-7963

Vol. 9 No. 1 Juni 2025 (Hal 71-78)

Homepage: <https://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/Elektromedik/issue/archive>

DOI: <https://doi.org/10.51544/elektromedik.v9i1.6330>

How To Cite: Akbar, Muhammad Imamul, Rino Ferdian Surakusumah, and Nik Zaidi Nik Bulyamin. 2025. "Analisis Pengujian Arus Bocor Pada Pasien Monitor Berdasarkan Metode Standar IEC 62353:2014." *Jurnal Mutiara Elektromedik* 9 (1): 71–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.51544/elektromedik.v9i1.6330](https://doi.org/10.51544/elektromedik.v9i1.6330).



Copyright © 2025 by the Authors, Published by Program Studi: Teknologi Elektromedik Fakultas Pendidikan Vokasi Universitas Sari Mutiara Indonesia. This is an open access article under the CC BY-SA Licence ([Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#)).

1. Pendahuluan

Pasien monitor merupakan perangkat medis penting yang berfungsi memantau kondisi fisiologis pasien secara real-time, meliputi detak jantung, tekanan darah, saturasi oksigen, suhu tubuh, dan laju pernapasan [1]. Karena keterhubungannya langsung dengan tubuh pasien melalui berbagai sensor, aspek keselamatan listrik menjadi isu krusial. Kebocoran arus listrik (*leakage current*), meskipun dalam jumlah sangat kecil, dapat menimbulkan risiko *microshock* yang berbahaya dan berpotensi fatal bagi pasien, khususnya mereka yang berada dalam kondisi kritis di ruang perawatan intensif [2,3]. Oleh karena itu, penerapan standar keselamatan listrik yang ketat dan sesuai regulasi internasional menjadi suatu keharusan.

Permasalahan yang sering dihadapi di lapangan adalah adanya variasi hasil uji keselamatan listrik antar metode pengujian, sehingga menimbulkan ketidakpastian dalam menentukan metode paling andal. Standar IEC 60601-1 selama ini lebih banyak digunakan sebagai acuan uji tipe di tingkat pabrikan, bukan untuk pengujian rutin di fasilitas kesehatan [4]. Sementara itu, IEC 62353 hadir sebagai standar internasional yang ditujukan khusus untuk pengujian berulang (*repeated test*) dan pasca-perbaikan, sehingga lebih relevan digunakan oleh tenaga elektromedis di rumah sakit [5,6].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengevaluasi implementasi IEC 62353 di berbagai perangkat medis. Kumar dan Mehta (2024) menekankan keunggulan metode alternatif dalam kondisi perangkat tidak aktif [7]. Hassan et al. (2022) menunjukkan risiko kebocoran arus yang signifikan di unit perawatan intensif [8], sementara Rahman et al. (2023) menyoroti tantangan penerapan IEC 62353 di rumah sakit Malaysia [9]. Penelitian lain juga membandingkan keandalan metode uji langsung dan diferensial, dengan hasil yang menunjukkan kelebihan masing-masing metode dalam aspek sensitivitas maupun stabilitas [10-12]. Namun, masih terbatas penelitian yang secara spesifik membandingkan efektivitas metode Langsung, Diferensial, dan Alternatif pada pasien monitor dengan tipe berbeda. Padahal, perangkat ini merupakan alat vital yang hampir selalu digunakan dalam monitoring pasien di berbagai unit pelayanan kesehatan. Terdapat perbedaan karakteristik metode uji berimplikasi langsung pada akurasi hasil, jaminan keselamatan pasien, serta kebijakan pemeliharaan peralatan medis. Kebutuhan akan standar keselamatan listrik yang praktis, konsisten, dan dapat diterapkan lintas fasilitas kesehatan, terutama di negara berkembang yang sedang memperkuat sistem manajemen peralatan medis juga penting untuk ditingkatkan. Tanpa adanya bukti empiris yang kuat, risiko salah pilih metode pengujian dapat berpotensi menurunkan mutu pelayanan dan membahayakan keselamatan pasien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan tiga metode pengujian arus bocor (Langsung, Diferensial, dan Alternatif) berdasarkan standar IEC 62353 pada dua unit pasien monitor berbeda, yaitu Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode yang paling tepat dan aplikatif bagi tenaga elektromedis, serta menjadi kontribusi nyata dalam meningkatkan standar keselamatan listrik peralatan medis di fasilitas kesehatan.

2. Metode

2.1 Desain Penelitian

Desain penelitian merupakan pedoman yang mencakup prosedur serta teknik dalam merancang penelitian, juga berfungsi sebagai panduan dalam membangun strategi untuk menghasilkan sebuah penelitian yang sistematis. Adapun desain penelitian yang digunakan dalam studi ini ditampilkan pada Gambar 2.1.

2.2 Pengaturan dan Sampel

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu Maret hingga Juni 2025 pada fasilitas pengujian peralatan medis yang telah memenuhi standar internasional. Pemilihan tempat pengujian dilakukan secara terkontrol untuk menjamin ketersediaan instrumen uji serta kesesuaian dengan standar IEC 62353. Populasi penelitian ini adalah seluruh perangkat pasien monitor yang digunakan dalam layanan kesehatan dan memerlukan uji keselamatan listrik. Dari populasi tersebut, dipilih dua unit pasien monitor representatif, yaitu Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden, yang ditetapkan sebagai sampel penelitian. Kriteria inklusi adalah pasien monitor yang masih berfungsi normal, termasuk perangkat dengan applied parts yang langsung terhubung ke pasien (ECG, SpO₂, NIBP). Kriteria eksklusi adalah perangkat pasien monitor dengan kondisi rusak, tidak dapat dioperasikan, atau tidak sesuai standar pengujian IEC 62353[9]. Strategi pemilihan sampel dilakukan secara purposive sampling, dengan pertimbangan bahwa kedua perangkat tersebut merupakan tipe yang umum digunakan di fasilitas kesehatan serta mewakili kategori perangkat kelas I dengan tipe BF. Ukuran sampel ditetapkan dua unit karena penelitian bersifat eksperimental komparatif, dengan fokus pada analisis metode pengujian arus bocor, bukan pada variasi jumlah perangkat. Dengan desain ini, sampel dianggap representatif untuk mengevaluasi perbedaan hasil antar metode uji dalam IEC 62353[13,14].



Gambar 2.1 Flowchart Desain Penelitian

2.3 Intervensi (berlaku untuk studi eksperimental)

Intervensi dalam penelitian ini berupa penerapan prosedur pengujian arus bocor pada perangkat pasien monitor menggunakan standar internasional IEC 62353. Pengujian dilaksanakan pada fasilitas uji medis yang telah dilengkapi instrumen khusus, yaitu Electrical Safety Analyzer (ESA) Bender UNIMET 810ST. Intervensi dilakukan oleh peneliti dengan supervisi tenaga ahli elektromedis yang berpengalaman dalam penerapan IEC 62353. Setiap pengujian didokumentasikan secara sistematis dengan pencatatan nilai arus bocor, resistansi pembumian, serta parameter kelistrikan lain yang relevan. Penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol, karena seluruh perangkat diuji dengan tiga metode yang berbeda pada unit yang sama[10,15]. Dengan demikian, perbandingan hasil dilakukan intra-sample, yaitu membandingkan perbedaan hasil antar metode pengujian pada perangkat yang sama. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi langsung terhadap kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode, tanpa diperlukan kelompok pembanding eksternal[16].

2.4 Pengukuran dan pengumpulan data

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Electrical Safety Analyzer (ESA) Bender UNIMET 810ST, sebuah perangkat standar internasional yang dikembangkan oleh Bender GmbH & Co. KG, Jerman. Instrumen ini diadopsi dari penelitian dan praktik sebelumnya dalam pengujian keselamatan listrik peralatan medis sesuai standar IEC 60601-1 dan IEC. Bender UNIMET 810ST memiliki validitas tinggi karena telah dikalibrasi sesuai standar internasional, serta memenuhi persyaratan reliabilitas pengukuran dengan akurasi mikroskopis dalam mengukur arus bocor, resistansi isolasi, dan kontinuitas jalur proteksi[9]. Penggunaan instrumen ini tidak memerlukan adaptasi bahasa atau penerjemahan, karena antarmuka pengoperasian menggunakan format standar yang berlaku secara global. Pada gambar 2.2 di bawah merupakan unit Electrical safety testing dengan merk Unimet 810ST diproduksi oleh Perusahaan Bender GmbH & Co. KG di Jerman.



Gambar 2.2 Bender Unimet 810ST

Data yang dikumpulkan mencakup hasil pengukuran arus bocor dengan tiga metode IEC 62353 (Langsung, Diferensial, dan Alternatif), resistansi grounding, serta parameter kelistrikan lain yang relevan. Interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran terhadap ambang batas standar IEC 62353, yaitu $\leq 500 \mu\text{A}$ untuk metode Langsung dan Diferensial, serta $\leq 1000 \mu\text{A}$ untuk metode Alternatif. Proses pengumpulan data dilakukan secara langsung oleh peneliti dengan supervisi teknisi ahli elektromedis. Setiap pengujian dicatat secara otomatis pada memori internal ESA dan kemudian diekstrak ke media penyimpanan eksternal (flashdisk) untuk dokumentasi[10]. Seluruh data didukung dengan pencatatan manual pada lembar kerja pengujian sebagai bentuk verifikasi. Tidak ada asisten peneliti tambahan yang terlibat dalam proses pengumpulan data.

2.5 Analisis data

- a. Semua hasil pengukuran dicatat dalam tabel perbandingan.
- b. Data dari masing-masing metode diuji untuk dianalisis secara deskriptif terhadap variasi, kestabilan nilai, serta kesesuaian dengan batas nilai referensi IEC 62353.
- c. Dibuat visualisasi (grafik/tabel) untuk memperjelas perbandingan antar metode.
- d. Berdasarkan analisis tersebut, dilakukan evaluasi untuk menentukan metode pengujian arus bocor yang paling akurat, efektif, dan sesuai untuk pengujian keselamatan pasien monitor.
- e. Hasil pengukuran dari ketiga metode tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari standar IEC 60601-1.

2.6 Pertimbangan etika

Penelitian ini tidak melibatkan partisipan manusia maupun hewan, melainkan hanya menggunakan perangkat medis berupa pasien monitor sebagai objek pengujian. Oleh karena itu, tidak diperlukan informed consent dari individu. Namun demikian, seluruh prosedur penelitian tetap memperhatikan aspek etika penelitian kesehatan yang berlaku, khususnya terkait keamanan, kerahasiaan data perangkat, serta kepatuhan terhadap standar internasional IEC 62353. Persetujuan etik penelitian telah diperoleh dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Institut Kesehatan dan Teknologi Al Insyirah Pekanbaru, dengan nomor referensi 001/KEPK-IKTA/I/2025. Dengan demikian, penelitian ini dinyatakan layak secara etis dan dapat dipublikasi.

3. Hasil

Untuk cara pengukuran standar ketidakpastiannya menggunakan tester Bender Unimet 810 ST dan juga alat uji yang sama yaitu Pasien monitor Nihon Kohden dan Pasien monitor Dinamap PRO400V2 dengan menggunakan standar pengujian *IEC 60601-1*, mengapa menggunakan standar ini karena standar ini merupakan standar yang menentukan apakah alat tersebut layak untuk dipasarkan setelah diproduksi atau sering disebut juga dengan standar pabrik. Hasil yang diperoleh menggunakan standar *IEC 60601-1* yaitu :

- a) Pasien Monitor Nihon Kohden : 0,036 mA
- b) Pasien Monitor Dinamap PRO400V2 : 0,029 mA

Hasil pengukuran dari ketiga metode tersebut kemudian dibandingkan dengan dari standar *IEC 60601-1*. Berdasarkan hasil analisis, metode diferensial menghasilkan nilai yang paling mendekati nilai referensi, dengan selisih terkecil dibandingkan metode lainnya. Sebagai contoh, pada pasien monitor Nihon Kohden, nilai arus bocor dengan metode diferensial adalah 0,190 mA, sedangkan metode langsung dan alternatif masing-masing menghasilkan 0,208 mA dan 0,207 mA. Meskipun secara absolut ketiganya memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan referensi, metode diferensial menunjukkan deviasi terkecil, sehingga dianggap lebih akurat.

Penelitian ini membandingkan hasil pengujian arus bocor pada dua perangkat pasien monitor, yaitu Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden, menggunakan tiga metode standar IEC 62353 (Langsung, Diferensial, dan Alternatif). Hasil pengukuran dari ketiga metode tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari standar IEC 60601-1. Berdasarkan hasil analisis pada gambar 3.1 dibawah, metode diferensial menghasilkan nilai yang paling mendekati nilai referensi, dengan selisih terkecil dibandingkan metode lainnya. Sebagai contoh, pada pasien monitor Nihon Kohden, nilai arus bocor dengan metode diferensial adalah 0,190 mA, sedangkan metode langsung dan alternatif masing-masing menghasilkan 0,208 mA dan 0,207 mA.



Gambar 3.1 Grafik Selisih Hasil Dengan Standar *IEC 60601-1*

4. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian arus bocor terhadap dua jenis pasien monitor yaitu Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden, diperoleh bahwa seluruh metode pengujian yaitu metode langsung, diferensial, dan alternatif menunjukkan nilai arus bocor yang berada di bawah batas maksimum yang ditentukan oleh standar *IEC 62353*, yakni ≤ 0.5 mA untuk metode langsung dan diferensial, serta ≤ 1.0 mA untuk metode alternatif.

Untuk Dinamap PRO400V2, hasil pengukuran menunjukkan:

- Metode Langsung : 0.065 mA
- Metode Diferensial : 0.060 mA
- Metode Alternatif : 0.112 mA

Sementara untuk Nihon Kohden, hasil pengukuran adalah:

- Metode Langsung : 0.208 mA
- Metode Diferensial : 0.190 mA
- Metode Alternatif : 0.415 mA

Nilai-nilai tersebut adalah nilai untuk pengukuran equipment leakage current, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua alat masih aman secara kelistrikan, karena nilai arus bocor yang terukur tidak melebihi ambang batas yang ditentukan standar. Dari ketiga metode yang digunakan, metode diferensial menunjukkan hasil paling stabil dan aman untuk kedua unit monitor[1-3]. Hal ini sejalan dengan teori bahwa metode diferensial cenderung lebih akurat dalam mendeteksi perbedaan arus antara fase dan netral, tanpa memerlukan hubungan langsung ke sistem *grounding* alat, sehingga aman dan cocok untuk peralatan kelas II atau sistem isolasi tinggi. Perbedaan hasil antar metode dapat dijelaskan berdasarkan prinsip kerja masing-masing[17,18]. Metode Diferensial lebih sensitif karena menghitung selisih arus masuk dan keluar, sehingga mampu mendeteksi variasi kecil pada kebocoran arus. Metode Langsung memberikan hasil yang stabil karena dilakukan pada kondisi operasional normal perangkat, sementara Metode Alternatif menunjukkan nilai lebih tinggi akibat penggunaan sumber tegangan substitusi, namun tetap aman digunakan terutama pada peralatan yang tidak aktif[19,20]. Perbedaan ini menegaskan bahwa pemilihan metode pengujian sangat bergantung pada kondisi alat dan tujuan evaluasi. Temuan penelitian ini konsisten dengan laporan sebelumnya yang menegaskan bahwa *IEC 62353* merupakan standar praktis dan efektif untuk pengujian keselamatan listrik di lapangan. Penelitian-penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa metode Diferensial memiliki keunggulan dalam sensitivitas, sementara metode Langsung lebih sesuai untuk pengukuran rutin. Namun demikian, penelitian ini

menambahkan bukti empiris dengan membandingkan langsung dua jenis pasien monitor yang berbeda, sehingga memperkuat generalisasi hasil[21-23]. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan IEC 62353 sebagai acuan teknis dalam pengujian keselamatan listrik. Kombinasi penggunaan metode Langsung, Diferensial, dan Alternatif dapat memberikan gambaran komprehensif terhadap kondisi perangkat medis, sehingga mendukung keselamatan pasien sekaligus meningkatkan mutu pelayanan kesehatan.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan standar IEC 62353 pada pengujian arus bocor pasien monitor memberikan kontribusi penting dalam memastikan keselamatan listrik peralatan medis. Hasil uji yang dilakukan pada pasien monitor Dinamap PRO400V2 dan Nihon Kohden menggunakan ESA Bender UNIMET 810ST memperlihatkan bahwa seluruh nilai arus bocor masih berada di bawah batas maksimum yang ditentukan standar, sehingga alat dinyatakan aman digunakan. Namun, jika dibandingkan secara teknis dan klinis, metode Class I Differential merupakan metode paling ideal dan direkomendasikan, terutama untuk perangkat yang memiliki kontak langsung dengan pasien. Metode ini memberikan perlindungan dan jaminan keselamatan yang lebih tinggi karena mampu mendeteksi arus bocor sekecil mungkin dengan presisi yang sangat baik. Secara ilmiah, penelitian ini memperkuat bukti bahwa metode Langsung, Diferensial, dan Alternatif memiliki perbedaan karakteristik dalam aspek akurasi, stabilitas, dan fleksibilitas penerapan di lapangan. Kombinasi metode dapat menjadi strategi optimal untuk memperoleh hasil pengujian yang lebih komprehensif. Hal ini memperluas pengetahuan yang sudah ada dengan memberikan gambaran praktis tentang efektivitas masing-masing metode pada perangkat yang berbeda.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Kesehatan dan Teknologi Al Insyirah atas dukungan fasilitas penelitian, serta NIQ Engineering Sdn. Bhd. Malaysia atas kesempatan dan bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian dan pengumpulan data. Penghargaan juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik dalam bentuk bimbingan, fasilitas, maupun bantuan finansial, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

7. Referensi

- [1] Urden, L. D., Stacy, K. M., and Lough, M. E., *Critical Care Nursing: Diagnosis and Management*, 10th ed., St. Louis: Elsevier, 2022.
- [2] Bronzino, J. D. and Peterson, D. R., *The Biomedical Engineering Handbook*, 5th ed., Boca Raton: CRC Press, 2020.
- [3] S. P. Webster, *Medical Instrumentation: Application and Design*, 5th ed., Hoboken: Wiley, 2019.
- [4] International Electrotechnical Commission, *IEC 60601-1: Medical Electrical Equipment—General Requirements for Basic Safety and Essential Performance*, Geneva: IEC, 2012.
- [5] International Electrotechnical Commission, *IEC 62353: Medical Electrical Equipment—Repeated Test and Test after Repair*, Geneva: IEC, 2014.
- [6] World Health Organization, *Medical Device Technical Series: Electrical Safety Testing in Healthcare Facilities*, Geneva: WHO Press, 2021.
- [7] A. Kumar and S. R. Mehta, “Patient monitor safety evaluation using alternative leakage current test methods,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 71, no. 5, pp. 1598–1606, 2024.

- [8] A. F. Hassan et al., "Risk assessment of electrical leakage currents in intensive care units," *Journal of Clinical Medicine Research*, vol. 13, no. 6, pp. 321–328, 2022.
- [9] A. B. Rahman et al., "Implementation of IEC 62353 in Malaysian hospitals: Challenges and opportunities," *Asian Journal of Biomedical Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 101–110, 2023.
- [10] J. Smith, "Comparative study of leakage current measurement in medical devices using IEC 62353," *Biomedical Engineering Online*, vol. 23, no. 2, pp. 45–53, 2024.
- [11] S. K. Sharma and P. Patel, "Comparative reliability analysis of direct and differential leakage current tests," *International Journal of Biomedical Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 141–150, 2020.
- [12] L. Martins, F. Costa, and P. Silva, "Evaluation of IEC 62353 electrical safety testing in critical care equipment: A multicenter study," *Journal of Clinical Engineering and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 77–85, 2023.
- [13] A. Omar, "Preventive maintenance of patient monitoring systems based on leakage current trends," *Biomedical Engineering Advances*, vol. 14, pp. 67–74, 2023.
- [14] R. Lee, T. Johnson, and K. Patel, "Electrical safety assessment in patient monitoring systems," *Journal of Clinical Engineering*, vol. 49, no. 3, pp. 123–131, 2024.
- [15] Iadanza, E., "Application of electrical safety analyzers in biomedical engineering practice," *Health Technology and Informatics Journal*, vol. 277, pp. 89–95, 2019.
- [16] M. Yamada and H. Tanaka, "Evaluation of applied part leakage currents in Japanese medical facilities," *Japanese Journal of Medical Engineering*, vol. 41, no. 4, pp. 221–229, 2021.
- [17] S. P. Webster, *Medical Instrumentation: Application and Design*, 5th ed., Hoboken: Wiley, 2019.
- [18] Carr, J. J. and Brown, J. M., *Introduction to Biomedical Equipment Technology*, 5th ed., Upper Saddle River: Pearson, 2018.
- [19] S. K. Sharma and P. Patel, "Comparative reliability analysis of direct and differential leakage current tests," *International Journal of Biomedical Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 141–150, 2020.
- [20] T. S. Nguyen and D. Hoang, "Electrical safety testing of multiparameter patient monitors," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 55123–55132, 2024.
- [21] International Electrotechnical Commission, *IEC 62353: Medical Electrical Equipment—Repeated Test and Test after Repair*, Geneva: IEC, 2014.
- [22] National Fire Protection Association, *NFPA 99: Health Care Facilities Code*, Quincy, MA: NFPA, 2021.
- [23] Badan Standardisasi Nasional, *Peralatan Medis Listrik: Persyaratan*