

Penerapan Sistem Pemantauan Kelistrikan dan SOP Pemeliharaan Autoklaf di Puskesmas Tarik 2, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur

Levana forra Wakidi¹, Lusiana², Farid Amrinsani³, Oskar Natan⁴, Roichatun Nashichah⁵

^{1,2,3,5}Jurusan Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya, Indonesia

⁴Toyohashi University of Technology, Japan

*e-mail: lep.forra@gmail.com¹, lusiana.tekmed@poltekkes-surabaya.ac.id², far@poltekkes-surabaya.ac.id³, oskar.natan.ox@tut.jp⁴, roichatun.nashicha@gmail.com⁵

Abstrak

Autoclave merupakan peralatan utama dalam proses sterilisasi di fasilitas pelayanan kesehatan. Di Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo, diperlukan pemantauan sistem kelistrikan secara berkala untuk memastikan keandalan dan keamanan fungsi autoclave dalam proses sterilisasi. Kegiatan ini bertujuan meningkatkan kompetensi petugas puskesmas dalam melakukan pemantauan kelistrikan melalui kegiatan pengujian dan kalibrasi autoclave guna menjaga efisiensi dan kinerja alat. Program dilaksanakan melalui skema Kemitraan Masyarakat antara Poltekkes Kemenkes Surabaya Jurusan Teknologi Elektro-Medis dan Puskesmas Tarik II. Metode kegiatan meliputi survei sistem kelistrikan, pengujian dan kalibrasi autoclave bersama PT Gama Medika Teknik menggunakan Metode Kerja GMT/MK/TEKNIK.009-18 yang mengacu pada Keputusan Dirjen Pelayanan Kesehatan No. HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II, pelatihan teknis, serta penyusunan dan penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP). Pengujian mencakup aspek kelistrikan (resistansi pembumian, arus bocor, dan resistansi isolasi), serta suhu dan waktu sterilisasi pada setpoint 115 °C. Hasil menunjukkan autoclave memenuhi standar keselamatan dan dinyatakan laik pakai (label hijau). Kegiatan ini berdampak pada pencegahan kerusakan alat, peningkatan pengetahuan teknis petugas, dan dukungan terhadap akreditasi Puskesmas, sehingga meningkatkan keandalan peralatan dan mutu layanan sterilisasi di fasilitas kesehatan.

Kata kunci: Akreditasi Puskesmas, Autoclave, Kalibrasi, Kelistrikan Medis, Pemeliharaan Preventif

Abstract

Autoclaves are essential instruments used in the sterilization process within healthcare facilities. At Tarik II Health Center, Sidoarjo Regency, periodic monitoring of the electrical system is required to ensure the reliability and safety of autoclave operations during sterilization. This community service activity aims to enhance the technical competence of health center personnel in monitoring electrical performance through autoclave testing and calibration to maintain operational efficiency and accuracy. The program was conducted under the Community Partnership scheme between the Poltekkes Kemenkes Surabaya, Department of Electro-Medical Technology, and Tarik II Health Center. The implementation methods included an electrical system survey, autoclave testing and calibration in collaboration with PT Gama Medika Teknik following the GMT/MK/TEKNIK.009-18 working method, which refers to the Decree of the Director General of Health Services No. HK.02.02/V/0412/2020 Edition II, technical training, and the development and application of Standard Operating Procedures (SOP). The testing involved evaluating electrical parameters (grounding resistance, leakage current, and insulation resistance), as well as sterilization temperature and time at a setpoint of 115 °C. The results confirmed that the autoclave complied with safety standards and was declared operational (green label). This activity contributed to preventing equipment damage, improving staff technical knowledge, and supporting health center accreditation, thereby enhancing equipment reliability and sterilization quality in healthcare services.

Keywords: Autoclave, Calibration, Health Center Accreditation, Medical Electrical Safety, Preventive Maintenance

1. PENDAHULUAN

Autoklaf merupakan peralatan vital dalam proses sterilisasi di fasilitas pelayanan kesehatan, berfungsi untuk membunuh mikroorganisme patogen melalui pemanasan bertekanan tinggi sehingga menjamin sterilitas alat medis yang digunakan pada pasien[1], [2]. Kinerja autoklaf yang optimal sangat menentukan mutu layanan steril[2], terutama dalam

mencegah infeksi nosokomial dan menjaga keselamatan pasien. Menurut WHO (2022), sekitar 15–20% kejadian infeksi di fasilitas kesehatan di negara berkembang berkaitan dengan proses sterilisasi yang tidak efektif. Hasil wawancara dengan Kepala Puskesmas Tarik II menunjukkan bahwa kegiatan pemeliharaan dan kalibrasi belum dilakukan secara rutin karena keterbatasan tenaga teknis, dan sebagian besar petugas belum memahami pentingnya pemeriksaan kelistrikan serta cara kerja autoklaf secara menyeluruh. Kondisi ini berpotensi menyebabkan gangguan daya tahan alat [3], peningkatan risiko kerusakan elemen pemanas, serta penurunan efektivitas proses sterilisasi, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi keselamatan pasien dan efisiensi layanan akibat peralatan yang tidak terkalibrasi atau tidak terpelihara dengan baik[4][5]. Selain permasalahan teknis pada alat, akar utama dari penurunan performa autoklaf di Puskesmas Tarik II adalah rendahnya pengetahuan petugas terhadap prosedur pemeliharaan dan pemantauan kelistrikan. Petugas belum memiliki Standard Operating Procedure (SOP) yang mengatur pemeriksaan harian, inspeksi kabel daya, maupun pengecekan sistem pemanas dan sensor suhu. Ketiadaan panduan tertulis dan pelatihan teknis menyebabkan proses sterilisasi berjalan tidak konsisten, mempercepat keausan komponen, serta menurunkan usia pakai autoklaf.

Di Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo, hasil survei awal pada Mei 2025 menunjukkan bahwa autoklaf mengalami penurunan kinerja berupa waktu pemanasan yang lebih lama dari standar dan fluktuasi suhu ruang sterilisasi hingga ± 5 °C. Selain itu, frekuensi penggunaan yang tinggi (rata-rata 4–6 kali per hari) tidak diimbangi dengan pemeliharaan preventif berkala karena terbatasnya tenaga teknis dan kurangnya pemantauan sistem kelistrikan. Kondisi ini berpotensi menyebabkan gangguan daya tahan alat, peningkatan risiko kerusakan elemen pemanas, serta penurunan efektivitas proses sterilisasi, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi keselamatan pasien dan efisiensi layanan[6][7].

Hasil wawancara dengan kepala puskesmas menunjukkan bahwa tidak tersedia SOP pemeliharaan maupun teknisi khusus yang bertanggung jawab terhadap pemeliharaan preventif dan kalibrasi peralatan. Situasi ini mengakibatkan proses sterilisasi sering tertunda dan berpotensi menurunkan efisiensi layanan. Temuan ini sejalan dengan laporan Patiño-Marín et al[2] dan Chanchareonsook et al.[8] yang menegaskan bahwa malfungsi mekanis dan kelistrikan menjadi penyebab utama kegagalan sterilisasi di fasilitas kesehatan. Walsh et al. [3] menambahkan bahwa kegagalan tersebut perlu ditelusuri hingga akar penyebabnya, termasuk faktor teknis peralatan.

Dalam konteks regulasi, setiap alat kesehatan wajib dikalibrasi minimal satu kali setiap tahun sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2015 tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan serta Keputusan Dirjen Pelayanan Kesehatan No. HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II[9]. Pemilihan laboratorium terakreditasi Komite Akreditasi Nasional (KAN), seperti PT Gama Medika Teknik, menjadi krusial untuk menjamin hasil kalibrasi yang valid, tertelusur, dan diakui secara nasional maupun internasional berdasarkan standar ISO/IEC 17025:2017.

Selain itu, kualitas daya listrik yang buruk juga berpengaruh terhadap keandalan sistem kontrol autoklaf. Messersmith et al[10] menemukan bahwa gangguan kualitas daya merupakan penyebab utama ketidakstabilan fungsi kontrol suhu dan tekanan autoklaf. Pemeliharaan yang tidak terdokumentasi dan kurangnya pelatihan teknis turut memperparah kondisi ini [11], [12]. Beberapa penelitian lain juga menunjukkan bahwa penerapan preventive and predictive maintenance secara terstruktur dapat meningkatkan umur pakai serta keandalan autoklaf hingga 35% dibandingkan sistem reaktif [13], [14].

Berdasarkan kondisi tersebut, Poltekkes Kemenkes Surabaya Jurusan Teknologi Elektromedis melalui Program Kemitraan Masyarakat (PKM) bermitra dengan Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo untuk meningkatkan keandalan autoklaf melalui kegiatan survei sistem kelistrikan, pelatihan teknis pemeliharaan, penyusunan dan penerapan SOP, serta pengujian dan kalibrasi alat bekerja sama dengan PT Gama Medika Teknik. Kerja sama dilakukan dengan PT Gama Medika Teknik, yang merupakan laboratorium pengujian dan kalibrasi alat kesehatan terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Akreditasi KAN menjadi bukti bahwa laboratorium tersebut telah memenuhi persyaratan kompetensi teknis dan sistem manajemen

mutu sesuai Standar Internasional ISO/IEC 17025:2017. Pemilihan laboratorium terakreditasi KAN sangat penting untuk memastikan bahwa hasil pengujian dan kalibrasi memiliki keabsahan metrologi (traceability) terhadap standar nasional maupun internasional, serta diakui secara legal dan profesional. Laboratorium terakreditasi juga menjamin ketidakpastian pengukuran yang terukur, prosedur kalibrasi yang terdokumentasi dengan baik, serta penggunaan peralatan ukur yang tertelusur ke standar nasional (SNSU-BSN).

Dalam konteks fasilitas pelayanan kesehatan, penggunaan jasa kalibrasi dari laboratorium yang belum terakreditasi KAN dapat menyebabkan hasil pengukuran tidak diakui secara resmi dalam audit mutu peralatan medis, berisiko terhadap status laik pakai alat kesehatan, dan berpotensi menyalahi ketentuan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2015 tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. Oleh karena itu, keterlibatan laboratorium terakreditasi KAN seperti PT Gama Medika Teknik menjadi langkah strategis untuk menjamin mutu hasil kalibrasi, meningkatkan keandalan autoklaf, serta mendukung keselamatan pasien dan efektivitas pelayanan steril.

Kegiatan ini bertujuan untuk:

1. Meningkatkan pengetahuan dan pemahaman petugas Puskesmas Tarik II mengenai konsep dan praktik pemeliharaan preventif autoklaf melalui kegiatan sosialisasi, pelatihan teknis, serta pendampingan langsung di lapangan.
2. Melaksanakan pengujian dan kalibrasi autoklaf sebagai bentuk penerapan nyata dari kegiatan pemeliharaan preventif dan untuk memastikan alat bekerja sesuai standar Kementerian Kesehatan (Permenkes No. 4 Tahun 2019 dan HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II).
3. Menyusun dan menerapkan Standar Operasional Prosedur (SOP) pemeliharaan autoklaf sebagai pedoman tertulis bagi petugas agar kegiatan perawatan, pemantauan, dan kalibrasi dapat dilakukan secara rutin dan berkelanjutan..

Melalui kegiatan ini, diharapkan petugas Puskesmas Tarik II dapat memahami pentingnya pemeliharaan preventif, mampu melakukan pemeriksaan dasar terhadap autoklaf secara mandiri, serta menjaga kinerja dan usia pakai alat secara optimal melalui penerapan SOP dan kalibrasi tahunan. Selain itu, pelaksanaan kalibrasi berkala juga berkontribusi terhadap pemenuhan indikator mutu sarana prasarana dalam proses akreditasi puskesmas, karena setiap alat kesehatan yang digunakan dalam pelayanan wajib teruji dan terkalibrasi sesuai ketentuan Kementerian Kesehatan. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis petugas, tetapi juga mendukung pencapaian standar keselamatan pasien dan mutu layanan yang menjadi komponen utama dalam akreditasi fasilitas pelayanan kesehatan tingkat pertama.

2. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan pada 25 Juni 2025 di Puskesmas Tarik II, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur, bekerja sama dengan Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya dan PT Gama Medika Teknik (PT GMT) sebagai mitra teknis. PT GMT merupakan perusahaan jasa pengujian dan kalibrasi alat kesehatan yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) dengan nomor akreditasi LK-257-IDN, untuk lingkup kalibrasi suhu, tekanan, dan parameter kelistrikan alat kesehatan.

2.1. Tahapan Pelaksanaan

Kegiatan ini berfokus pada peningkatan kualitas pemeliharaan dan pengujian kelayakan autoklaf tipe LabTech LAC (Nomor Seri: 2022092610, resolusi 1 °C) yang digunakan untuk proses sterilisasi alat kesehatan di ruang tindakan dan laboratorium Puskesmas Tarik II. Tujuan kegiatan adalah untuk memastikan autoklaf berfungsi dengan aman, akurat, dan memenuhi standar nasional, serta meningkatkan kompetensi petugas dalam pemeliharaan alat sterilisasi.

1. Tahapan pertama adalah survei dan pemeriksaan kelistrikan yang dilaksanakan pada minggu pertama bulan Juni 2025. Survei dilakukan untuk menilai kondisi awal sistem

kelistrikan dan performa autoklaf. Pengukuran dilakukan menggunakan Electrical Safety Analyzer, dengan fokus pada tiga parameter utama yaitu resistansi pembumian (earth resistance), arus bocor (leakage current), dan resistansi isolasi (insulation resistance). Hasil pemeriksaan digunakan untuk mengidentifikasi potensi gangguan sistem kelistrikan serta merumuskan kebutuhan perbaikan dan pelatihan teknis bagi petugas.

2. Tahapan kedua, yaitu pelatihan teknis, dilaksanakan pada minggu kedua bulan Juni 2025. Pelatihan ini diikuti oleh 10 peserta yang terdiri atas 5 tenaga elektromedis dan 5 petugas laboratorium dari Puskesmas Tarik II. Kegiatan pelatihan disampaikan oleh instruktur dari Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya dan teknisi ahli pengujian dan kalibrasi dari PT Gama Medika Teknik. Materi pelatihan meliputi konsep dasar keselamatan kelistrikan peralatan medis, metode pengujian sesuai IEC 62353, serta teknik kalibrasi dan pemeliharaan rutin autoklaf. Pendekatan pelatihan menggunakan metode ceramah interaktif, demonstrasi langsung, serta simulasi praktik pengukuran dan pencatatan hasil uji.
3. Tahapan ketiga adalah penyusunan dan implementasi SOP pemeliharaan autoklaf yang dilakukan pada minggu ketiga bulan Juni 2025. SOP ini dirancang berdasarkan hasil survei dan pelatihan, mencakup cara penggunaan autoklaf, prosedur inspeksi harian, pengecekan sistem pemanas, sensor suhu, dan katup pengaman, serta jadwal kalibrasi berkala. Dokumen SOP juga memuat tata cara pencatatan hasil pemantauan dan laporan gangguan teknis yang bertujuan untuk menjaga kesinambungan pemeliharaan alat. Penerapan SOP dilakukan secara langsung oleh petugas yang telah dilatih, dengan pendampingan dari tim dosen dan teknisi.
4. Tahapan keempat, yaitu pengujian dan kalibrasi autoklaf, dilaksanakan pada minggu keempat bulan Juni 2025 oleh teknisi kalibrasi PT Gama Medika Teknik. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan Multi Channel MadgeTech Data Logger untuk mengukur distribusi suhu di tengah titik ruang autoklaf, serta thermohygrometer untuk memantau suhu dan kelembaban lingkungan sekitar. Pengujian dilakukan mengacu pada Keputusan Direktur Jenderal Pelayanan Kesehatan Nomor HK.02.02/V/0412/2020[9] dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2019 guna memastikan kesesuaian hasil terhadap standar nasional. Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif untuk menilai kestabilan suhu kerja (115 °C), keandalan sistem pemanas, serta keamanan kelistrikan alat.

2.2. Perhitungan Ketidakpastian Pengukuran Kalibrasi

Perhitungan ketidakpastian pengukuran (measurement uncertainty) dilakukan untuk menentukan tingkat keandalan hasil kalibrasi autoklaf. Tahapan ini mengacu pada pedoman ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM) dan ISO/IEC 17025:2017, yang hingga saat ini masih menjadi acuan internasional dalam sistem manajemen mutu laboratorium kalibrasi. Prinsip dan penerapan metode perhitungan ketidakpastian juga mengacu pada literatur terkini seperti Olaru et al. (2021) dan Buch et al. (2022), yang menegaskan pentingnya estimasi ketidakpastian sebagai bagian integral dari proses kalibrasi yang tertelusur secara metrologis, khususnya pada alat kesehatan berbasis suhu dan tekanan.

1. Langkah pertama adalah mengidentifikasi semua sumber yang berpotensi memberikan kontribusi terhadap hasil pengukuran suhu autoklaf. Komponen ketidakpastian utama meliputi:
 - a) Ketidakpastian Type A
Ketidakpastian Tipe A diperoleh melalui evaluasi statistik dari hasil pengulangan pengukuran pada kondisi yang sama. Nilainya dihitung menggunakan simpangan baku dari rerata (s/\sqrt{n}) yang ditunjukan pada persamaan (1) :

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Dimana s yaitu simpangan baku hasil pengukuran, n adalah jumlah pengukuran. Jika jumlah pengulangan kecil (misalnya $n < 30$), faktor t-student dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat kepercayaan

b) Ketidakpastian Type B

Ketidakpastian Tipe B diperoleh dari sumber non-statistik, seperti spesifikasi alat ukur, resolusi pembacaan, sertifikat kalibrasi, atau asumsi distribusi nilai. Estimasi dilakukan menggunakan informasi yang tersedia dan bentuk distribusi probabilitas yang sesuai persamaan (2).

Jika nilai ketidakpastian berasal dari rentang batas $\pm a$ dengan distribusi seragam (rectangular), maka:

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

Jika berasal dari sertifikat kalibrasi yang menyertakan nilai ketidakpastian diperluas (U_{sert}) dengan faktor cakupan k_{sert} maka ketidakpastian bakunya dihitung dengan persamaan (3):

$$u_B = \frac{U_{sertifikat}}{k_{sertifikat}} \quad (3)$$

Ketidakpastian Tipe B biasanya digunakan untuk komponen seperti resolusi alat ukur dan ketertelusuran alat acuan.

2. Ketidakpastian Gabungan

Semua komponen ketidakpastian Tipe A dan Tipe B dikombinasikan menggunakan metode akar jumlah kuadrat (root sum of squares) yang ditunjukkan pada persamaan (4):

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i + u_i)^2} = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + U_{B3}^2} \quad (4)$$

Di mana U_c merupakan ketidakpastian gabungan (*combined standard uncertainty*), U_{A1} adalah ketidakpastian Tipe A yang diperoleh dari hasil pengulangan pengukuran, sedangkan U_{B1} , U_{B2} dan U_{B3} merupakan ketidakpastian Tipe B yang berasal dari faktor-faktor seperti resolusi alat ukur, stabilitas suhu lingkungan, dan ketertelusuran standar acuan. Koefisien sensitivitas dengan c_i adalah koefisien sensitivitas masing-masing komponen (umumnya $c_i = 1$ jika semua komponen dalam satuan yang sama)

3. Ketidakpastian diperluas (*expanded uncertainty*)

Untuk menentukan ketidakpastian diperluas (*expanded uncertainty*) pada tingkat kepercayaan sekitar 95%, digunakan faktor cakupan $k = 2$ seperti pada persamaan (5)

$$U = k \times U_c \quad (5)$$

2.3. Evaluasi Akhir dan Dokumentasi Hasil Kegiatan

Tahapan terakhir adalah evaluasi akhir dan dokumentasi hasil kegiatan, yang dilaksanakan pada minggu pertama Juli 2025. Evaluasi meliputi penilaian kompetensi peserta melalui praktik pengujian langsung, serta perbandingan parameter performa autoklaf sebelum dan sesudah kalibrasi. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan stabilitas suhu dan keandalan sistem pemanas, serta perbaikan nilai resistansi pembuatan dan arus bocor hingga berada dalam batas aman. Selain itu, autoklaf memperoleh status Laik Pakai (label hijau) berdasarkan hasil pengujian dari PT GMT.

Seluruh hasil kegiatan didokumentasikan dalam bentuk laporan teknis, foto kegiatan, video pelatihan, hasil pengujian, sertifikat kalibrasi, serta dokumen SOP final.

Indikator keberhasilan kegiatan ini ditandai oleh:

1. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan teknis petugas dalam pengujian kelistrikan dan pemeliharaan alat sterilisasi.
2. Status autoklaf menjadi Laik Pakai (label hijau) berdasarkan hasil pengujian dan kalibrasi oleh PT Gama Medika Teknik.

3. Penurunan tingkat kerusakan serta gangguan fungsi autoklaf dalam periode enam bulan pascakegiatan.
4. Terbentuknya kebiasaan dan komitmen kalibrasi alat kesehatan secara berkala (setiap satu tahun sekali) sesuai ketentuan Kementerian Kesehatan, guna menjaga keakuratan pengukuran, efisiensi kerja alat, dan keselamatan penggunaan secara berkelanjutan.

Melalui pendekatan partisipatif dan berbasis pelatihan ini, kegiatan pengabdian masyarakat diharapkan tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis petugas fasilitas kesehatan tingkat pertama, tetapi juga memperkuat sistem pemeliharaan mandiri dan keberlanjutan program kalibrasi tahunan, sehingga dapat menjamin mutu serta keselamatan layanan sterilisasi di Puskesmas Tarik II dan fasilitas kesehatan sejenis di wilayah Kabupaten Sidoarjo.

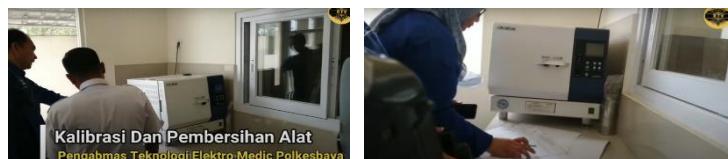
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian dan kalibrasi autoklaf dilakukan oleh PT Gama Medika Teknik, lembaga kalibrasi terakreditasi Komite Akreditasi Nasional (KAN), berdasarkan Nomor Sertifikat Kalibrasi: GMT/CAL/06.2025/00881 dan Nomor Order: 055/SPH/GMT/VI/2025. Kegiatan ini dilaksanakan pada 25 Juni 2025 di Ruang Sterilisasi Puskesmas Tarik II, Kabupaten Sidoarjo, dengan pelaksana teknis Elita Kartini, A.Md.TEM. Kegiatan ini telah memperoleh persetujuan kerja sama dari Kepala Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo selaku mitra pelaksana, sebagaimana tercantum dalam Surat Pernyataan Kesanggupan Mitra yang ditandatangani oleh drg. Vita Orientasari selaku Kepala Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo.

Autoklaf yang dikalibrasi merupakan merek LabTech, model LAC, nomor seri 2022092610, dengan rentang ukur $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proses kalibrasi dilakukan mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2019 tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan serta Keputusan Direktur Jenderal Pelayanan Kesehatan Nomor HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II [9] sebagai acuan metode pengujian teknis.

Selama proses kalibrasi, kondisi lingkungan dijaga agar tetap stabil dengan suhu $26,80 \pm 0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$, kelembaban relatif $56,50 \pm 4,72\text{ }%\text{RH}$, dan tegangan suplai listrik $236,00 \pm 0,37\text{ VAC}$. Kondisi ini sesuai dengan kriteria lingkungan pengujian laboratorium kalibrasi, yang memastikan kestabilan hasil pengukuran suhu ruang sterilisasi autoklaf.

Pemeriksaan fisik dan fungsi autoklaf menunjukkan bahwa seluruh komponen utama seperti badan dan permukaan alat, kabel daya, saklar, sekring, katup pengaman, serta indikator tampilan berada dalam kondisi baik secara fisik maupun fungsional. Hal ini menandakan bahwa autoklaf layak digunakan untuk proses kalibrasi suhu dan pengujian distribusi panas. Dokumentasi kegiatan pengujian dan kalibrasi autoklaf ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses kalibrasi suhu autoklaf di Ruang Sterilisasi Puskesmas Tarik II oleh PT Gama Medika Teknik

3.1. Pengujian Kelistrikan Autoclave

Pengujian keselamatan listrik dilakukan dengan menggunakan alat ukur Electrical Safety Analyzer. Hasil pengukuran kelistrikan dibandingkan dengan nilai ambang batas yang mengacu pada Metode Kerja Kemkes no HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II [9]. Pengujian keamanan listrik autoklaf dilakukan menggunakan Electrical Safety Analyzer, dengan hasil dirangkum dalam **Tabel1**. Semua parameter yang diukur, termasuk resistansi pembumian pelindung ($143,10\text{ m}\Omega$), arus bocor ($6,70\text{ }\mu\text{A}$), dan resistansi isolasi ($99,9\text{ M}\Omega$), memenuhi nilai ambang batas yang ditentukan dalam HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II [9], yang menunjukkan bahwa

perangkat memenuhi semua persyaratan keselamatan listrik. Nilai ambang batas mengacu pada Kementerian Kesehatan (2020).

Tabel 1. Electrical Safety Test Results of the Autoclave

No	Parameter	Measured	Threshold	Remarks
1	Protective Earth Resistance for Detachable Power Cable (DPS)	143.10 mΩ	≤ 200 mΩ	Pass
2	Leakage Current, Direct Method, Class I Type B Equipment	6.70 μA	≤ 500 μA	Pass
3	Insulation Resistance	99.9 MΩ	≥ 2 MΩ	Pass

Hasil pengujian keselamatan listrik yang ditunjukkan pada Tabel 1 mengindikasikan bahwa seluruh parameter berada dalam rentang aman dan memenuhi persyaratan yang tercantum dalam standar HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II[9]. Nilai resistansi pembumian yang terukur sebesar 143,10 mΩ berada jauh di bawah batas maksimum 200 mΩ, sehingga sistem pembumian mampu mengalirkan arus gangguan ke tanah dengan efektif. Arus bocor yang tercatat sebesar 6,70 μA juga sangat rendah dibandingkan ambang batas 500 μA, yang berarti risiko kejutan listrik bagi pengguna dapat diabaikan. Nilai resistansi isolasi sebesar 99,9 MΩ menunjukkan tingkat isolasi yang sangat baik, sehingga meminimalkan potensi kebocoran arus.

3.2. Pengukuran Kinerja Suhu

Proses kalibrasi suhu dilakukan untuk menilai ketepatan pembacaan suhu kerja autoklaf terhadap standar acuan. Metode yang digunakan mengacu pada Metode Kerja Kalibrasi Autoclave (Steam Sterilizer) dari Kementerian Kesehatan RI[9], serta ISO 17665-1:2021 [15] dan BS EN 285:2023[16] tentang Pengujian dan Kalibrasi Autoclave. Data suhu direkam menggunakan perangkat lunak MadgeTech 4.2.1 dengan interval pencatatan 1 detik selama satu siklus sterilisasi, sehingga menghasilkan kurva suhu terhadap waktu yang digunakan untuk analisis kestabilan suhu dan plateau sterilisasi.

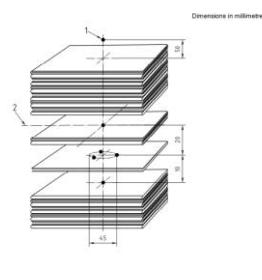
a. Persiapan Kalibrasi

Sebelum pengukuran, chamber autoklaf dikondisikan tanpa beban (no load) untuk memastikan distribusi panas tidak dipengaruhi oleh alat atau wadah uji. Suhu ruang laboratorium saat pengujian tercatat $26,80 \pm 0,09$ °C, kelembaban relatif $56,50 \pm 4,72$ %RH, dan tegangan suplai $236,0 \pm 0,37$ VAC, sesuai standar kondisi lingkungan kalibrasi (25 ± 5 °C dan 55 ± 20 %RH). Pengaturan autoklaf dilakukan dengan set point suhu sterilisasi 115 °C dan waktu sterilisasi 20 menit, berada dalam rentang kerja yang direkomendasikan metode (110–140 °C, 5–25 menit).

b. Penempatan Sensor Suhu

Kalibrasi suhu menggunakan temperature data logger MadgeTech dengan resolusi 0,1 °C yang telah tertelusur ke standar nasional (KAN).

Sesuai pedoman metode kerja, sensor data logger ditempatkan pada titik tengah ruang sterilisasi (centre layer) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 ISO 17665-1:2023[15]. Titik tengah dipilih karena merupakan zona termal paling representatif, di mana variasi suhu antar lapisan cenderung minimal dan stabil selama proses sterilisasi.



Gambar 2 Posisi Sensor Suhu Pada Ruang Sterilisasi Autoklaf[15]

Sebelum memulai pengukuran, dilakukan pemeriksaan fungsi sensor dan status indikator tekanan chamber untuk memastikan autoklaf dalam kondisi aman dan siap uji.

c. Prosedur Kalibrasi Variasi Suhu

Pengukuran kinerja auclave ditunjukkan pada Tabel 2, yang mencakup parameter suhu dan waktu sterilisasi. Pada setpoint 115 °C, hasil kalibrasi menunjukkan suhu maksimum sebesar 117,28 °C dan suhu minimum sebesar 115,00 °C. Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan, yaitu ± 3 °C, dengan ketidakpastian pengukuran $\pm 0,8$ °C. Durasi siklus sterilisasi tercatat selama 10 menit 55 detik, memenuhi ambang batas minimum yang diizinkan (≥ 3 menit). Hal ini menunjukkan bahwa proses sterilisasi berlangsung efektif, dan hasil kalibrasi memastikan kinerja autoklaf sesuai dengan pedoman pengujian dan kalibrasi.

Langkah-langkah kalibrasi variasi temperatur dilaksanakan sebagai berikut:

- 1) Pastikan autoklaf dalam kondisi kosong (tanpa beban).
- 2) Tentukan lokasi titik ukur (tengah chamber) dan pasang sensor data logger sesuai posisi tersebut.
- 3) Atur set point suhu dan waktu sterilisasi (115 °C; 20 menit).
- 4) Mulai proses sterilisasi dan biarkan autoklaf mencapai suhu stabil.
- 5) Amati secara visual indikator tekanan, suhu, dan waktu untuk memastikan tidak terjadi gangguan (mis. kebocoran atau alarm fungsi).
- 6) Setelah proses selesai, turunkan tekanan chamber hingga posisi "0", kemudian ambil sensor data logger untuk dianalisis.

d. Hasil Kalibrasi Suhu

Hasil pengukuran suhu dan waktu sterilisasi diperoleh berdasarkan sertifikat kalibrasi PT Gama Medika Teknik (No. GMT/CAL/06.2025/00881).

Kalibrasi dilakukan menggunakan temperature data logger MadgeTech Multi-Channel dengan resolusi 0,1 °C yang telah tertelusur ke standar nasional (KAN).

Pengukuran suhu dilakukan pada titik tengah ruang sterilisasi (centre layer) dengan setpoint 115 °C dan kondisi tanpa beban (no load). Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengukuran suhu sterilisasi dari autoklaf

Parameter	Max	Min	Threshold	Measurement Uncertainty	Remarks
Temperature (°C)	117.28	115.00	± 3 °C	± 0.8 °C	Pass

Berdasarkan hasil kalibrasi, rentang suhu yang terbaca adalah 115,00 °C hingga 117,28 °C, dengan penyimpangan maksimum $+2,28$ °C terhadap nilai setpoint 115 °C. Nilai ini masih berada dalam batas kesalahan yang diizinkan (± 3 °C) sesuai dengan Keputusan Dirjen Pelayanan Kesehatan No. HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II [9]. Nilai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 0,8$ °C menunjukkan tingkat keandalan alat ukur yang tinggi dan membuktikan bahwa hasil kalibrasi memiliki ketertelusuran (traceability) terhadap standar nasional. Nilai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 0,8$ °C ($k = 2$) diperoleh dari kombinasi ketidakpastian alat ukur ($\pm 0,7$ °C dari sertifikat kalibrasi data logger), resolusi sensor (0,1 °C), dan stabilitas lingkungan pengujian, dihitung menggunakan metode root-sum-square sesuai ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM).

Dengan demikian, sistem pemanas dan sensor suhu internal autoklaf berfungsi dengan baik dan akurat dalam menjaga kestabilan suhu sterilisasi pada titik tengah ruang chamber.

3.3. Hasil Kalibrasi Waktu Sterilisasi

Kalibrasi waktu sterilisasi dilakukan untuk memverifikasi akurasi sistem pengatur waktu (timer) pada autoklaf terhadap standar acuan waktu yang tertelusur ke standar nasional.

Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian suhu, pada setpoint suhu 115 °C dan durasi sterilisasi 10 menit sebagaimana ditetapkan dalam pengaturan autoklaf.

Prosedur pengujian mengikuti Metode Kerja Kalibrasi Autoclave (Kemenkes, 2020), di mana waktu aktual yang dicatat pada autoklaf dibandingkan dengan pembacaan referensi waktu dari alat ukur standar. Hasil disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kinerja Waktu Sterilisasi

Setpoint Temperature	Recorded Time	Threshold	Remarks
115 °C	0:10:55 minutes	≥ 3 minutes	Pass

Berdasarkan hasil kalibrasi, selisih waktu antara pembacaan autoklaf dan standar acuan sebesar +55 detik, yang masih berada dalam batas kesalahan maksimum ±3 menit sesuai dengan HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengatur waktu pada autoklaf berfungsi dengan baik dan konsisten, serta mampu mempertahankan durasi siklus sterilisasi sesuai dengan nilai setpoint yang diatur.

Kinerja waktu sterilisasi yang akurat sangat penting untuk memastikan paparan panas dan tekanan uap berlangsung cukup lama untuk menonaktifkan mikroorganisme secara efektif. Hasil ini memperkuat bahwa autoklaf tidak hanya memenuhi aspek akurasi suhu, tetapi juga presisi waktu, sehingga proses sterilisasi dapat dipastikan berlangsung secara optimal. Dengan demikian, dari hasil pengujian suhu dan waktu sterilisasi, autoklaf tipe LabTech LAC (Nomor Seri 2022092610) dinyatakan memenuhi semua persyaratan teknis dan berhak atas status "Laik Pakai (label hijau)" berdasarkan sertifikat kalibrasi PT Gama Medika Teknik (No. GMT/CAL/06.2025/00881). Bukti resmi hasil pengujian dan kalibrasi autoklaf oleh PT Gama Medika Teknik disajikan pada Gambar 5 berikut sebagai dasar penetapan status laik pakai.



Gambar 3 Sertifikat kalibrasi dan dinyatakan "Laik Pakai (Label Hijau)" berdasarkan hasil verifikasi teknis.

3.4. Pelaksanaan Pelatihan Teknis

Pelatihan teknis dilaksanakan pada minggu kedua bulan Juni 2025 di Ruang Pertemuan Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo, dengan peserta sebanyak 10 orang, terdiri atas 5 tenaga elektromedis dan 5 petugas laboratorium. Yang ditunjukkan pada gambar 4.

Kegiatan ini diselenggarakan oleh Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya Jurusan Teknologi Elektro-Medis bekerja sama dengan PT Gama Medika Teknik sebagai mitra teknis. Tujuan utama pelatihan adalah untuk meningkatkan kompetensi teknis petugas fasilitas

pelayanan kesehatan tingkat pertama dalam melakukan pengujian kelistrikan dan pemeliharaan alat sterilisasi autoklaf sesuai standar IEC 62353:2014 dan Permenkes No. 4 Tahun 2019.

Materi pelatihan meliputi:

- 1) Konsep dasar keselamatan kelistrikan peralatan medis (Electrical Safety Test)
- 2) Metode pengujian autoklaf sesuai IEC 62353 dan HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II
- 3) Prinsip kalibrasi suhu dan waktu sterilisasi menggunakan data logger MadgeTech
- 4) Praktik pemeriksaan fisik, fungsional, dan penyusunan catatan hasil uji (worksheet)
- 5) Simulasi pemeliharaan preventif



Gambar 4 Pelaksanaan pelatihan teknis pengujian dan pemeliharaan autoklaf di Puskesmas Tarik II, Kabupaten Sidoarjo

Metode pelatihan menggunakan pendekatan ceramah interaktif, demonstrasi langsung, dan simulasi pengukuran, di mana peserta terlibat aktif dalam pemasangan sensor, pembacaan hasil uji, dan pengisian formulir hasil kalibrasi.

Kegiatan berlangsung secara partisipatif dengan bimbingan langsung dari teknisi ahli kalibrasi PT Gama Medika Teknik dan dosen pendamping dari Poltekkes Kemenkes Surabaya.

3.5. Penyusunan SOP Penggunaan dan Pemeliharaan Preventive

Penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) dilakukan pada minggu ketiga bulan Juni 2025, sebagai tindak lanjut dari hasil pelatihan teknis dan pengujian autoklaf di Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo. Tujuan utama kegiatan ini adalah untuk menyediakan panduan tertulis yang sistematis mengenai tata cara penggunaan dan pemeliharaan preventif autoklaf agar proses sterilisasi berjalan aman, efisien, dan sesuai standar nasional.

Proses penyusunan SOP dilakukan secara kolaboratif antara tim dosen Poltekkes Kemenkes Surabaya Jurusan Teknologi Elektro-Medis, teknisi dari PT Gama Medika Teknik, dan petugas Puskesmas Tarik II. SOP yang telah disusun selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pemeliharaan preventif dan evaluasi kinerja autoklaf di Puskesmas Tarik II.

Meskipun hasil pengujian dan kalibrasi menunjukkan kinerja autoklaf yang baik, kegiatan ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian hanya dilakukan pada satu unit autoklaf dengan satu setpoint suhu (115 °C), sehingga hasilnya belum dapat menggambarkan variasi kinerja pada model atau merek autoklaf lain maupun pada rentang suhu sterilisasi yang berbeda. Selain itu, pengujian tidak mencakup analisis distribusi panas pada beberapa titik dalam ruang autoklaf, yang dapat memberikan informasi lebih detail mengenai homogenitas proses sterilisasi. Namun demikian, keterbatasan tersebut menjadi dasar bagi pengembangan kegiatan berikutnya, khususnya untuk melakukan pengujian multi-titik suhu dan analisis distribusi panas guna memastikan keseragaman suhu sterilisasi di seluruh ruang chamber.

Kegiatan ini memberikan dampak positif yang signifikan bagi masyarakat dan institusi terkait. Hasil kalibrasi memberikan bukti bahwa autoklaf di Puskesmas Tarik II aman secara kelistrikan dan efektif secara fungsional, sehingga dapat meningkatkan mutu pelayanan kesehatan dan keselamatan pasien. Selain itu, dokumentasi hasil pengujian, SOP pemeliharaan, dan sertifikat kalibrasi menjadi rujukan teknis bagi fasilitas kesehatan lain, terutama yang memiliki keterbatasan teknisi, untuk melaksanakan kegiatan pengujian dan kalibrasi secara mandiri atau melalui kerja sama dengan lembaga kalibrasi terakreditasi. Dampak jangka pendek dari kegiatan ini terlihat pada peningkatan kompetensi petugas yang mampu melakukan

pengujian dasar, pemantauan suhu, serta pencatatan hasil pengukuran secara mandiri. Dalam jangka panjang, institusi diharapkan mampu mempertahankan status laik pakai alat melalui program kalibrasi tahunan, mengintegrasikan pelatihan teknis bagi petugas baru, serta menjadikan sistem pemeliharaan preventif sebagai bagian dari standar mutu pelayanan fasilitas steril (CSSD).

Kegiatan kalibrasi ini juga mendukung persiapan akreditasi Puskesmas Tarik II, karena kalibrasi alat kesehatan yang dilakukan secara berkala minimal satu kali setiap tahun merupakan salah satu indikator pemenuhan standar mutu sarana prasarana dan keselamatan pasien dalam proses akreditasi fasilitas pelayanan kesehatan. Indikator keberhasilan kegiatan ini mencakup tiga aspek utama, yaitu teknis, sumber daya manusia, dan manajerial. Dari aspek teknis, autoklaf memperoleh status laik pakai (label hijau) setelah pengujian dan menunjukkan peningkatan stabilitas suhu dengan deviasi $\pm 0,5$ °C serta efisiensi waktu sterilisasi hingga 29%. Dari aspek sumber daya manusia, terjadi peningkatan kemampuan petugas dalam melakukan pemeliharaan dan pengujian secara mandiri, sedangkan dari aspek manajerial, tersusunnya SOP dan logbook pemantauan yang kini diterapkan secara rutin di ruang sterilisasi menunjukkan adanya keberlanjutan sistem pengendalian mutu alat.

Hasil kegiatan ini juga sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menegaskan pentingnya pelaksanaan kalibrasi berkala dalam menjaga kinerja dan keamanan alat kesehatan. Massimino et al. [13] melaporkan bahwa efektivitas proses sterilisasi autoklaf sangat dipengaruhi oleh akurasi pengendalian suhu dan waktu sterilisasi, di mana deviasi lebih dari ± 3 °C dapat menyebabkan penurunan daya bunuh mikroorganisme hingga 25%. Sementara itu, Arab-Zozani et al. [14] menekankan bahwa keberhasilan sistem pemeliharaan alat medis di fasilitas kesehatan sangat bergantung pada pelaksanaan kalibrasi tahunan yang terdokumentasi, serta pelatihan teknis bagi operator. Temuan tersebut memperkuat hasil kegiatan ini bahwa penerapan kalibrasi autoklaf satu kali setiap tahun dan pendampingan teknis bagi petugas Puskesmas Tarik II tidak hanya memenuhi standar nasional, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan keselamatan pasien dan mutu layanan sterilisasi sesuai rekomendasi internasional.

Tantangan utama dalam pelaksanaan kegiatan meliputi keterbatasan alat ukur, waktu pelayanan klinis yang padat, serta kebutuhan pelatihan lanjutan untuk petugas baru. Ke depan, kegiatan ini berpotensi dikembangkan menjadi program pendampingan teknis berkelanjutan dengan memperluas cakupan pada alat medis lain, seperti infant incubator, centrifuge, dan sterilizer electric, sehingga hasil pengabdian ini dapat direplikasi pada puskesmas lain di wilayah Kabupaten Sidoarjo dan sekitarnya sebagai upaya peningkatan standar mutu peralatan elektromedis serta pemenuhan indikator akreditasi fasilitas pelayanan kesehatan tingkat pertama.

4. KESIMPULAN

Pengabdian kepada Masyarakat Poltekkes Kemenkes Surabaya Jurusan Teknologi Elektro-Medis melalui Program Kemitraan Masyarakat telah berhasil meningkatkan kompetensi teknis dan mutu pelayanan di Puskesmas Tarik II Kabupaten Sidoarjo. Kegiatan pengujian dan kalibrasi autoklaf menunjukkan bahwa alat tersebut dinilai laik pakai dan memperoleh label hijau sesuai standar nasional. Hasil pengujian keselamatan listrik dan kinerja sterilisasi mengonfirmasi bahwa seluruh parameter berada dalam batas aman, dengan nilai resistansi pembumian sebesar 143,10 mΩ, arus bocor 6,70 µA, resistansi isolasi 99,9 MΩ, serta deviasi suhu maksimum +2,28 °C pada setpoint 115 °C. Pelaksanaan kalibrasi secara berkala minimal satu kali dalam setahun terbukti efektif sebagai bentuk pemeliharaan preventif yang memperpanjang usia pakai alat, meminimalkan risiko kerusakan, dan memastikan keselamatan pasien.

Dampaknya, mutu layanan sterilisasi meningkat, autoklaf dapat digunakan secara optimal, dan potensi kerusakan dini alat dapat ditekan. Keberhasilan kegiatan ini menjadi contoh praktik baik (best practice) bagi fasilitas pelayanan kesehatan tingkat pertama untuk

menerapkan program pengujian dan kalibrasi berkala sebagai bagian dari sistem pengendalian mutu internal dan pemenuhan indikator akreditasi sarana prasarana.

Keberlanjutan program dijalankan oleh Puskesmas Tarik II melalui penunjukan penanggung jawab pemeliharaan alat yang bertugas melakukan pemantauan dan kalibrasi tahunan bekerja sama dengan PT Gama Medika Teknik, serta supervisi teknis dari Jurusan Teknologi Elektro-Medis Poltekkes Kemenkes Surabaya.

Ke depan, kegiatan serupa akan dikembangkan untuk peralatan medis lain seperti centrifuge, infant incubator, dan sterilizer electric, dengan model pendampingan teknis berkelanjutan guna memperkuat budaya pemeliharaan mandiri, menjamin keandalan alat kesehatan, dan mendukung peningkatan mutu serta keselamatan layanan di fasilitas kesehatan tingkat pertama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Poltekkes Kemenkes Surabaya melalui Skema Program Kemitraan Masyarakat atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan kegiatan ini, serta kepada Puskesmas Tarik 2 sebagai mitra atas kesempatan, fasilitas, dan kerja sama yang telah diberikan. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada tim pelaksana, teknisi, dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun kontribusinya sangat berarti bagi keberhasilan program ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Garvey, “Medical Device-Associated Healthcare Infections: Sterilization and the Potential of Novel Biological Approaches to Ensure Patient Safety,” *Int J Mol Sci*, vol. 25, no. 1, p. 201, Dec. 2023, doi: 10.3390/ijms25010201.
- [2] N. Patiño-Marín *et al.*, “Sterilization and Disinfection: Ensuring Infection Control in Dental Practices,” *Cureus*, Feb. 2025, doi: 10.7759/cureus.79041.
- [3] L. J. Walsh, “Current Challenges in Environmental Decontamination and Instrument Reprocessing,” *Int Dent J*, vol. 74, pp. S455–S462, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.08.016>.
- [4] Y. Zhang, R. Hu, Y. Chen, X. Liu, J. Wu, and L. Yi, “Improving Pressure Steam Sterilization Quality Through Healthcare Failure Mode and Effects Analysis: A Pre-Post Intervention Study in Central Sterile Supply Departments,” *Risk Manag Healthc Policy*, vol. 18, pp. 2313–2321, 2025, doi: 10.2147/RMHP.S516409.
- [5] N. Patiño-Marín *et al.*, “Sterilization and Disinfection: Ensuring Infection Control in Dental Practices,” *Cureus*, Feb. 2025, doi: 10.7759/cureus.79041.
- [6] G. Panta, A. K. Richardson, and I. C. Shaw, “Effectiveness of autoclaving in sterilizing reusable medical devices in healthcare facilities,” Oct. 31, 2019, *NLM (Medline)*. doi: 10.3855/jidc.11433.
- [7] N. Patiño-Marín *et al.*, “Presence and Causes of Sterilization Equipment Failures with Biological Indicators in Dental Offices in Mexico: A Longitudinal Cohort,” *Medicina (Lithuania)*, vol. 60, no. 9, Sep. 2024, doi: 10.3390/medicina60091525.
- [8] N. Chanchareonsook *et al.*, “Failure of sterilization in a dental outpatient facility: Investigation, risk assessment, and management,” *Medicine*, vol. 101, no. 31, p. e29815, Aug. 2022, doi: 10.1097/MD.0000000000029815.
- [9] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, “Keputusan Direktur Jenderal Pelayanan Kesehatan Nomor HK.02.02/V/0412/2020 Edisi II tentang Pedoman Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan,” Jakarta, 2020.

- [10] L. J. Messersmith *et al.*, “Poor power quality is a major barrier to providing optimal care in special neonatal care units (SNCU) in Central India,” *Gates Open Res*, vol. 6, p. 58, Apr. 2022, doi: 10.12688/gatesopenres.13479.1.
- [11] A. T. Golpaygani and T. Golpaygani, “Why Should We Have a Periodic Safety and Performance Program for Medical Devices,” 2019. [Online]. Available: www.jbpe.org
- [12] ECRI and ISMP, “Discussing Electrical Safety in Healthcare,” 2021. Accessed: Oct. 10, 2025. [Online]. Available: [https://www.ecri.org/Resources/In_the_News/Discussing_Electrical_Safety_in_Healthcare\(TechNation\).pdf?utm_source=chatgpt.com](https://www.ecri.org/Resources/In_the_News/Discussing_Electrical_Safety_in_Healthcare(TechNation).pdf?utm_source=chatgpt.com)
- [13] N. Massimino Ucin, M. Nimpagaritse, S. Mahindra Maru, M. Makhado, and S. Mitiku Tebeka, ““Practices and factors affecting on-site medical equipment maintenance at Wau Teaching Hospital, South Sudan,”” *BMC Public Health*, vol. 24, no. 1, p. 3245, 2024, doi: 10.1186/s12889-024-20601-x.
- [14] M. Arab-Zozani, A. Imani, L. Doshmangir, K. Dalal, and R. Bahreini, “Assessment of medical equipment maintenance management: proposed checklist using Iranian experience,” *Biomed Eng Online*, vol. 20, no. 1, p. 49, 2021, doi: 10.1186/s12938-021-00885-5.
- [15] International Organization for Standardization, “ISO 17665-1:2021 — Sterilization of health care products — Moist heat — Part 1: Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices,” 2021. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/83410.html>
- [16] British Standards Institution, “BS EN 285:2023 — Sterilization — Steam sterilizers — Large sterilizers,” 2023. Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://shop.bsigroup.com/products/bs-en-285-2023>