Jurnal Siber Multi Disiplin (JSMD)
E-ISSN: 2987-0380
P-ISSN: 2987-0402
+62 822 1012 3600 https://research.e-siber.org siberpublisher.info@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.38035/jsmd.v4i2
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Rancang Bangun Autoclave Berbasis ESP32 Dengan Spiral Heater Untuk Sterilisasi Instrumen Bedah Medis

Erliwati[1], Ija Darmana[2]
[1]Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan Siteba, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, erliwati.poltekes.siteba@gmail.com
[2]Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, ijadarmana.2012@gmail.com

Corresponding Author: erliwati.poltekes.siteba@gmail.com[1]

Abstract: *Sterilization of surgical instruments is essential to prevent the transmission of infections in healthcare facilities. This study aimed to design and develop an ESP32-based autoclave prototype using a spiral heater for sterilizing surgical instruments. The system integrates an ESP32 microcontroller, a thermocouple sensor for temperature detection, a spiral heater as the heating element, a TRIAC dimmer module for power regulation, an LCD for real-time information display, and a buzzer as an end-process indicator. The research employed a Research and Development (R&D) approach, including hardware and software design, system assembly, and performance testing. The prototype was tested at temperature setpoints of 40°C and 50°C, each repeated 3 times. The results showed that the system successfully achieved and maintained the predetermined temperatures with relatively small deviations compared to the reference measuring device. In addition, the ESP32 timer accurately controlled a 15-minute sterilization duration, and all system components functioned properly. Therefore, the ESP32-based autoclave prototype has the potential to serve as a stable, efficient, and user-friendly small-scale sterilization device.*

Keywords: *Sterilization, ESP32, Thermocouple, Spiral Heater, Autoclave.*

Abstrak: Sterilisasi instrumen bedah merupakan tahapan penting dalam mencegah penyebaran infeksi di fasilitas pelayanan kesehatan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan prototipe ruang pensterilan berbasis ESP32 yang mampu mengatur temperatur secara otomatis. Sistem terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor thermocouple sebagai pendeteksi suhu, spiral heater sebagai sumber panas, modul dimmer TRIAC untuk pengaturan daya, LCD sebagai media informasi, serta buzzer sebagai indikator akhir proses. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan sistem, serta pengujian kinerja berdasarkan kemampuan mencapai dan mempertahankan suhu yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada setpoint 40°C dan 50°C sebanyak tiga kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe mampu mencapai temperatur yang ditetapkan dengan penyimpangan pengukuran yang relatif kecil dibandingkan dengan alat ukur pembanding. Selain itu, sistem timer dapat mengatur durasi sterilisasi selama 15 menit secara akurat dan seluruh komponen bekerja sesuai fungsi yang dirancang. Dengan demikian, prototipe autoclave

berbasis ESP32 berpotensi menjadi alternatif alat sterilisasi skala kecil yang stabil, efisien, dan mudah dioperasikan.

Kata Kunci: Sterilisasi, ESP32, Thermocouple, Spiral Heater, Autoclave.

PENDAHULUAN

Sterilisasi instrumen medis merupakan prosedur yang tidak dapat dipisahkan dari upaya pencegahan infeksi di fasilitas pelayanan kesehatan. Instrumen yang digunakan secara berulang berpotensi menjadi media penularan mikroorganisme apabila tidak melalui proses sterilisasi yang sesuai standar (Menteri Kesehatan RI, 2017). Oleh karena itu, diperlukan sistem sterilisasi yang mampu menjaga parameter temperatur dan waktu secara konsisten agar proses dekontaminasi berlangsung efektif.

Autoclave merupakan salah satu metode sterilisasi yang banyak digunakan karena memanfaatkan uap panas bertekanan untuk membunuh bakteri, virus, jamur, dan spora (Algihfari, Olla dan Wahyud, 2024). Meskipun demikian, beberapa alat sterilisasi skala kecil masih memiliki keterbatasan dalam pengendalian suhu dan waktu, sehingga diperlukan pengembangan sistem yang lebih otomatis dan presisi optimal (Jiwatami, 2022) sterilisasi (Herta Meidya Nurhalita *et al.*, 2025). Penggunaan mikrokontroler ESP32 memungkinkan pengendalian temperatur secara real-time melalui integrasi sensor thermocouple, spiral heater, dan modul dimmer TRIAC.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan prototipe autoclave berbasis ESP32 dengan spiral heater sebagai sumber panas utama. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengatur temperatur dan waktu sterilisasi secara otomatis sehingga dapat meningkatkan stabilitas proses sterilisasi pada instrumen bedah medis.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan rancang bangun. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perakitan sistem, pengujian komponen, pengujian sistem terintegrasi, pengambilan data, dan analisis hasil.

Objek penelitian berupa prototipe autoclave berbasis ESP32 yang terdiri atas ESP32 sebagai pengendali utama, sensor thermocouple sebagai pendeteksi temperatur, spiral heater sebagai elemen pemanas, modul dimmer TRIAC sebagai pengatur daya, LCD sebagai media tampilan, dan buzzer sebagai indikator suara medis (Darmana, Erliwati dan Salvayer, 2025). Instrumen bedah medis berbahan logam seperti pinset, gunting bedah, dan klem hemostat digunakan sebagai media pengujian.

Pengujian dilakukan pada suhu 40°C dan 50°C dengan tiga kali pengulangan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi kestabilan temperatur, ketepatan waktu sterilisasi, serta kinerja setiap komponen dalam sistem autoclave. Melalui metode ini, peneliti dapat mengembangkan suatu produk berupa prototipe alat sterilisasi seperti pada Gambar 1 yang selanjutnya diuji kinerjanya berdasarkan parameter temperatur dan waktu sterilisasi.



Sumber : Hasil Pengembangan Peneliti

Gambar 1. Tampak Luar Sterilisator

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2026 di Laboratorium Dasar Elektrik dan Elektronika, Teknik Elektro Universitas Bung Hatta Padang. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perakitan sistem, pengujian setiap komponen, pengujian sistem secara terintegrasi, pengambilan data, dan penyusunan laporan penelitian. Instrumen penelitian yang digunakan meliputi sensor thermocouple untuk mengukur temperatur ruang sterilisasi, LCD untuk menampilkan informasi temperatur dan waktu secara real-time, buzzer sebagai indikator selesainya proses sterilisasi, serta alat ukur pendukung seperti multimeter dan stopwatch untuk membantu proses pengujian. Selain itu, digunakan laptop yang dilengkapi perangkat lunak Arduino IDE untuk pemrograman dan pengunggahan program ke mikrokontroler ESP32.



Sumber : Hasil Pengembangan Peneliti

Gambar 2. Tampak Dalam Sterilisator

Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif kuantitatif. Data hasil pengujian temperatur dan waktu sterilisasi dianalisis dengan cara membandingkan nilai pembacaan sensor dengan parameter yang telah ditetapkan pada sistem. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan temperatur, ketepatan waktu sterilisasi, serta kinerja setiap komponen dalam sistem autoclave berbasis ESP32. Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada suhu 40°C dan suhu 50°C

Prosedur penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur yang berkaitan dengan sistem sterilisasi medis, autoclave, ESP32, thermocouple, dan spiral heater. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan prototipe, serta pengujian masing-masing komponen untuk memastikan seluruh rangkaian bekerja dengan baik. Setelah itu, dilakukan pengujian sistem secara terintegrasi dengan mengatur parameter temperatur dan waktu sterilisasi. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kinerja dan kelayakan prototipe autoclave yang telah dikembangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe autoclave berbasis ESP32 berhasil dirancang dan dibangun sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Sistem terdiri atas ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor t*hermocouple* sebagai pendeteksi temperatur, spiral heater sebagai elemen pemanas, modul dimmer TRIAC sebagai pengatur daya heater, LCD sebagai media tampilan informasi, dan buzzer sebagai indikator selesainya proses sterilisasi. Secara fisik, prototipe memiliki ruang sterilisasi yang dirancang untuk menempatkan instrumen bedah medis berukuran kecil hingga sedang, seperti pinset, gunting bedah, dan klem hemostat. Seluruh komponen telah terhubung dengan baik dan dapat beroperasi secara otomatis berdasarkan program yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32.

Pengujian sistem pengendalian temperatur dilakukan dengan mengatur setpoint suhu sebesar 40°C dan 50°C. Data hasil pengujian temperatur dilakukan sebanyak tiga kali, hasilnya ditampilkan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Thermocouple Pada Suhu 40°C

No.	Thermocouple (°C)	Tampilan LCD (°C)	IR Thermometer (°C)
1	40	40	40,5
2	40	40	40,5
3	40	40	40,5

Sumber: Hasil Riset

$$t_{selisih\ rata-rata} = \frac{0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}5}{3} = 0{,}5\ ℃$$

Tabel 2. Hasil Pengujian Thermocouple Pada Suhu 50°C

No.	Thermocouple (°C)	Tampilan LCD (°C)	IR Thermometer (°C)
1	50	50	51,4
2	50	50	51,4
3	50	50	51,4

Sumber: Hasil Riset

$$t_{selisih\ rata-rata} = \frac{1{,}4 + 1{,}4 + 1{,}4}{3} = 1{,}4\ ℃$$

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, hasil pembacaan sensor thermocouple memiliki perbedaan yang relatif kecil dibandingkan dengan alat ukur pembanding. Selisih yang terjadi masih berada dalam batas toleransi pengukuran sehingga tidak memengaruhi proses

pengendalian temperatur pada ruang sterilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor thermocouple mampu memberikan data temperatur yang cukup akurat sebagai masukan bagi mikrokontroler dalam mengendalikan heater.

Selain pengujian temperatur, dilakukan pula pengujian ketepatan waktu sterilisasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem timer pada ESP32 mampu menghitung durasi sterilisasi selama 15 menit dengan akurat. Setelah waktu yang ditentukan tercapai, buzzer aktif secara otomatis sebagai indikator bahwa proses sterilisasi telah selesai.

Pengujian unjuk kerja komponen dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen pada prototipe dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Hasil pengujian komponen ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Unjuk Kerja Komponen

Komponen	Hasil Pengujian	Keterangan
ESP32	Berfungsi	Mampu mengendalikan seluruh sistem
Thermocouple	Berfungsi	Mampu membaca temperatur secara kontinu
Spiral Heater	Berfungsi	Mampu menghasilkan panas sesuai kebutuhan
Dimmer TRIAC	Berfungsi	Mampu mengatur daya heater
LCD	Berfungsi	Menampilkan informasi secara real-time
Buzzer	Berfungsi	Memberikan indikator suara

Sumber: Hasil Riset

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. ESP32 mampu mengoordinasikan pembacaan sensor, pengendalian heater, pengaturan waktu, serta pengoperasian LCD dan buzzer secara terintegrasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prototipe autoclave berbasis ESP32 mampu menjawab rumusan masalah pertama, yaitu merancang dan membangun prototipe ruang sterilisasi alat medis yang bekerja secara otomatis berdasarkan parameter temperatur dan waktu. Integrasi antara ESP32, thermocouple, spiral heater, dan modul dimmer TRIAC menghasilkan sistem yang mampu mengendalikan proses sterilisasi tanpa intervensi manual yang berlebihan.

Pada rumusan masalah kedua, yaitu kinerja sistem pengendalian temperatur dan waktu, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai setpoint 40°C dan 50°C serta bekerja sesuai batas waktu yang ditentukan. Waktu kerja pensterilisasi sangat penting dalam proses sterilisasi karena waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan peralatan medis akan rusak. Hasil ini menyatakan bahwa penggunaan *thermocoupl*e memiliki tingkat akurasi yang baik dalam pengukuran suhu *autoclave* dan waktu kerja.

Pada rumusan masalah ketiga, yaitu hasil pengujian seluruh komponen dan unjuk kerja sistem setelah diintegrasikan, seluruh komponen menunjukkan kinerja yang baik. LCD mampu menampilkan informasi temperatur, waktu, dan status proses secara real-time, sedangkan buzzer memberikan notifikasi suara ketika proses sterilisasi selesai. Dengan demikian, prototipe dapat beroperasi secara otomatis, stabil, dan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil dan pembahasan tersebut, hipotesis teknis penelitian dapat diterima, yaitu prototipe *autoclave* berbasis ESP32 mampu bekerja sesuai dengan parameter temperatur dan waktu yang telah ditentukan. Sistem mampu mengintegrasikan sensor thermocouple, spiral heater, modul dimmer TRIAC, LCD, dan buzzer sehingga proses sterilisasi dapat berlangsung secara otomatis dan terintegrasi.

Temuan penelitian (*novelty*) dari penelitian ini adalah pengembangan prototipe autoclave berbasis ESP32 yang mengintegrasikan pengendalian temperatur dan waktu secara otomatis menggunakan spiral heater sebagai sumber panas utama, sensor thermocouple untuk pemantauan suhu secara real-time, serta modul dimmer TRIAC untuk pengaturan daya

pemanas. Kombinasi komponen tersebut menghasilkan sistem sterilisasi yang lebih stabil, efisien, dan mudah dioperasikan dibandingkan dengan sistem sterilisasi sederhana yang masih menggunakan pengendalian manual, sehingga dapat menjadi dasar pengembangan alat sterilisasi medis yang lebih optimal di fasilitas pelayanan kesehatan skala kecil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe autoclave berbasis ESP32 menggunakan spiral heater sebagai pemanas untuk instrumen bedah medis berhasil dirancang dan dibangun sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor *thermocouple*, spiral heater, modul dimmer TRIAC, LCD, dan buzzer dalam satu rangkaian yang bekerja secara otomatis untuk mengendalikan proses sterilisasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengendalian temperatur dan waktu pada prototipe autoclave dapat bekerja dengan baik. Sensor thermocouple mampu membaca perubahan temperatur secara kontinu, sedangkan modul dimmer TRIAC dapat mengatur daya spiral heater sehingga temperatur ruang sterilisasi dapat dipertahankan pada rentang yang stabil sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan. Selain itu, sistem timer pada ESP32 mampu mengatur durasi sterilisasi secara akurat, dan buzzer berfungsi sebagai indikator selesainya proses sterilisasi.

Pengujian seluruh komponen secara terintegrasi menunjukkan bahwa prototipe autoclave dapat beroperasi secara otomatis, stabil, dan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Dengan demikian, rumusan masalah dan tujuan penelitian telah terjawab, yaitu merancang dan membangun prototipe autoclave berbasis ESP32, menguji kinerja sistem pengendalian temperatur dan waktu, serta mengevaluasi unjuk kerja seluruh komponen setelah diintegrasikan.

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bidang teknik elektromedik dan otomasi dengan menghadirkan sistem sterilisasi medis yang lebih efisien, terkontrol, dan mudah dioperasikan. Penggunaan ESP32 sebagai pusat kendali serta spiral heater sebagai sumber panas utama menjadi alternatif pengembangan *autoclave* sederhana yang dapat diterapkan pada fasilitas pelayanan kesehatan skala kecil maupun sebagai media pembelajaran dalam pengembangan teknologi sterilisasi medis.

Keterbatasan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

Pertama, penelitian ini hanya difokuskan pada perancangan dan pengujian prototipe *autoclave* berbasis ESP32 untuk instrumen bedah medis berukuran kecil hingga sedang, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan untuk seluruh jenis alat medis maupun fasilitas pelayanan kesehatan dengan kapasitas sterilisasi yang lebih besar.

Kedua, pengujian penelitian dibatasi pada parameter temperatur, waktu sterilisasi, dan fungsi setiap komponen sistem, sehingga faktor lain seperti tekanan uap, distribusi panas secara menyeluruh, serta efisiensi energi belum dianalisis secara mendalam.

Ketiga, penelitian ini belum mencakup uji efektivitas sterilisasi secara mikrobiologis terhadap mikroorganisme patogen, sehingga kemampuan prototipe dalam membunuh bakteri, virus, jamur, dan spora belum dapat dibuktikan di laboratorium. Keempat, pendekatan penelitian yang digunakan belum sepenuhnya menangkap dinamika perubahan kinerja alat dalam jangka panjang, seperti ketahanan komponen, stabilitas sistem setelah penggunaan berulang, dan pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa prototipe. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu diinterpretasikan sesuai dengan ruang lingkup penelitian dan dapat menjadi

dasar bagi penelitian selanjutnya untuk melakukan pengembangan serta pengujian yang lebih komprehensif.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan objek penelitian dengan menguji prototipe *autoclave* pada berbagai jenis instrumen medis yang memiliki karakteristik material dan ukuran yang berbeda. Selain itu, jumlah sampel pengujian perlu ditambah agar diperoleh data yang lebih representatif mengenai kinerja sistem sterilisasi pada berbagai kondisi penggunaan.

Penelitian berikutnya juga disarankan menggunakan periode observasi yang lebih panjang untuk mengetahui stabilitas kinerja prototipe dalam penggunaan berulang, termasuk ketahanan komponen, efisiensi energi, dan konsistensi pengendalian temperatur serta waktu sterilisasi. Variabel-variabel lain yang relevan, seperti tekanan uap, distribusi panas di dalam ruang sterilisasi, kelembapan, dan efektivitas sterilisasi secara mikrobiologis, perlu dimasukkan agar diperoleh model penelitian yang lebih komprehensif.

Kontribusi Author

Ketua dan anggota penulis berkontribusi secara signifikan terhadap penelitian ini. Kontribusi meliputi konseptualisasi penelitian, penyusunan kerangka teori, pengumpulan data, analisis data, interpretasi hasil, penulisan naskah, revisi ilmiah, serta persetujuan akhir terhadap naskah yang akan dipublikasikan. Seluruh penulis menyatakan telah membaca dan menyetujui versi final artikel.

REFERENSI

Algihfari, R.R., Olla, P.K. dan Wahyud, B. (2024) "Design and Construction of an Autoclave for the Sterilization of Medical Equipment (Indonesian Language)," *Journal of Health Technology and Public Health*, 1(2), hal. 33. Tersedia pada: https://ejournal.stikessemarang.ac.id/index.php/JHTPH/article/view/4.

Darmana, I., Erliwati dan Salvayer, A.R. (2025) "Rancang Bangun Perangkat Pendeteksi Detak Jantung (PPDJ) Secara Portabel," *Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 4(5), hal. 3036–3041. Tersedia pada: https://doi.org/10.38035/jim.v4i5.1491.

Espressif Systems. ESP32 series datasheet. https://www.espressif.com/en/products/ socs/esp32

Herta Meidya Nurhalita *et al.* (2025) "Review Artikel: Evaluasi Efektivitas Berbagai Macam Metode Sterilisasi," *OBAT: Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, 3(1), hal. 241–253. Tersedia pada: https://doi.org/10.61132/obat.v3i1.1029.

Jiwatami, A.M.A. (2022) "Aplikasi Termokopel untuk Pengukuran Suhu Autoklaf," *Lontar Physics Today*, 1(1), hal. 38–44. Tersedia pada: https://doi.org/10.26877/lpt.v1i1.10695.

Menteri Kesehatan RI (2017) *PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA Nomor 27 Tahun 2017 tentang Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Infeksi di Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. Tersedia pada: https://peraturan.bpk.go.id/Details/112075/permenkes-no-27-tahun-2017.

World Health Organization. (2016). Decontamination and reprocessing of medical devices for health-care facilities. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549851

&&&