

## Aplikasi Termokopel untuk Pengukuran Suhu Autoklaf

**Agatha Mahardika Anugrayuning Jiwatami<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Elektromedis, Universitas Sanata Dharma,  
Yogyakarta, Indonesia

E-mail: [agatha.mahardika@usd.ac.id](mailto:agatha.mahardika@usd.ac.id)

*Received 20 Januari 2022*

*Accepted for publication 22 Januari 2022*

*Published 11 Februari 2022*

### **Abstract**

Autoclave is a tool used to sterilize medical instruments such as surgical knives and scissors. The process of autoclave sterilization is to provide heat energy to the autoclave. Hot steam will rise into the closed chamber. The control system will monitor the temperature until the required temperature is reached (121-124 °C). Temperature measurement in the autoclave is done using a thermocouple sensor. Temperature testing is done by comparing temperature measurements using a thermocouple and a mercury thermometer. Testing with a thermocouple produces output that is linear and comparable to measurements using a mercury thermometer. The correlation coefficient value of the measurement results using a mercury thermometer is 0.99982 and a thermocouple is 0.99894. Furthermore, the test is carried out by looking at the change in the line on the indicator tape to the length of time for sterilization in the autoclave chamber. As a result, the longer the sterilization time, the change in the line on the indicator tape will look darker, which indicates the sterilization process is going well.

*Keywords: temperature measurement, autoclave, type K thermocouple, indicator tape*

### **Abstrak**

Autoclave adalah alat yang digunakan untuk mensterilkan peralatan medis seperti pisau bedah dan gunting. Proses sterilisasi autoklaf adalah dengan memberikan energi panas pada autoklaf. Uap panas akan naik ke ruang tertutup. Sistem kontrol akan memonitor suhu hingga suhu yang diinginkan tercapai (121-124 °C). Pengukuran suhu di dalam autoklaf dilakukan dengan menggunakan sensor termokopel. Pengujian suhu dilakukan dengan membandingkan pengukuran suhu menggunakan termokopel dan termometer air raksa. Pengujian dengan termokopel menghasilkan luaran yang linier dan sebanding dengan pengukuran menggunakan termometer air raksa. Nilai koefisien korelasi hasil pengukuran menggunakan termometer air raksa adalah 0,99982 dan termokopel adalah 0,99894. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan melihat perubahan garis pada pita indikator terhadap lamanya waktu sterilisasi di dalam ruang autoklaf. Akibatnya, semakin lama waktu sterilisasi, perubahan garis pada pita indikator akan terlihat lebih gelap, yang menandakan proses sterilisasi berjalan dengan baik.

*Kata-kata kunci: pengukuran suhu, autoklaf, termokopel tipe K, pita indikator*

## 1. Pendahuluan

Sterilisasi adalah proses membunuh mikroorganisme yang dapat membahayakan pasien. Proses sterilisasi dapat dilakukan dengan menggunakan panas (uap panas, membakar ataupun merebus) atau dengan menggunakan peralatan kimia [1]. Autoklaf menggunakan uap panas bertekanan tinggi dan sterilizer menggunakan air yang direbus dicampur bahan kimia untuk dapat membunuh mikroorganisme. Material yang akan disterilkan diletakkan di dalam unit autoklaf atau sterilizator dan disterilkan dalam waktu yang sudah ditentukan. Hasil sterilisasi alat medis menggunakan autoklaf lebih baik daripada hanya dengan merebus peralatan. Karena fungsinya ini, Autoklaf merupakan piranti pokok di Rumah Sakit, Puskesmas maupun Laboratorium Klinik. Peralatan-peralatan yang bisa disterilisasi menggunakan autoklaf diantaranya pisau operasi, gunting operasi, dan juga alat-alat yang susah dibersihkan namun mudah terkontaminasi seperti *handpiece* [2]

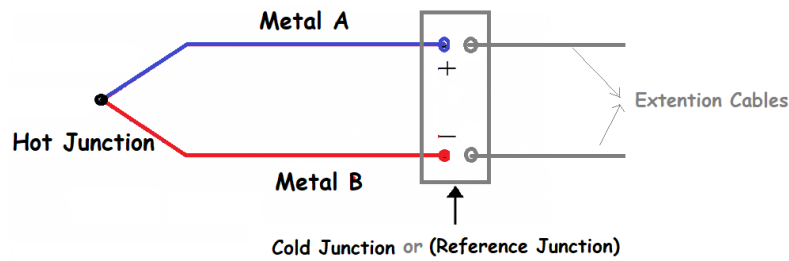
Proses kerja autoklaf adalah dengan mensterilkan alat medis menggunakan uap panas (121-124 °C) bertekanan tinggi (200 kPa) selama sekitar 10-12 menit [3]. Energi panas ditransfer ke air baik melalui listrik ataupun dengan memanaskan menggunakan api. Energi panas ini akan menaikkan temperatur dalam *chamber*. Temperatur yang meningkat akan menaikkan tekanan dalam *chamber*. Pada autoklaf faktor kontrol tekanan dan suhu berperan sangat penting untuk memastikan autoklaf berfungsi dengan aman dan akurat [4]. Autoklaf dilengkapi dengan *valve* untuk kontrol tekanan dan *valve* pengaman untuk menjaga agar tekanan tidak berlebih dan autoklaf dapat berfungsi dengan aman. Selain itu untuk menggunakan autoklaf perlu diperhatikan seberapa lama peralatan perlu disterilkan dan dipastikan temperature tercapai [1].

Temperature dari sebuah obyek secara kualitatif ditentukan dari sensasi panas atau dingin yang dirasakan dengan menyentuh obyek. Secara teknis, temperatur adalah pengukuran energi kinetik rata-rata partikel dari sebuah sampel materi, diukur dalam satuan derajat Celcius atau dalam Kelvin [5]. Termokopel merupakan salah satu sensor yang umum digunakan untuk mengukur temperatur. Beberapa keuntungan menggunakan termokopel diantaranya memiliki struktur bentuk yang sederhana, mudah digunakan, akurat, inersia panas kecil, stabil dan mampu mengukur temperatur dalam jangkauan yang lebar [6, 7]. Berbagai penelitian dilakukan untuk mempelajari karakteristik termokopel [8-12]

Termokopel merupakan sensor suhu yang dibentuk dari 2 jenis logam yang berbeda dan ujung dari 2 logam tersebut direkatkan bersamaan. Pada termokopel dikenal istilah *hot-junction* dan *cold-junction*. *Hot-junction* berfungsi sebagai titik pengukuran, sedangkan *cold-junction* berfungsi sebagai titik referensi. *Cold-junction* dapat dihubungkan dengan sumber panas dengan suhu 0°C atau dihubungkan dengan rangkaian elektronika untuk mengkompensasi suhu 0°C tersebut. Apabila pada sambungan termokopel terkena panas, maka akan timbul tegangan Seebeck yang merupakan fungsi hubungan antara suhu dan komposisi kedua logam [13]. Apabila terdapat sedikit perubahan suhu diantara kedua logam, tegangan Seebeck akan berbanding linear dengan temperature [14]:

$$V = \int_{T_{ref}}^{T_1} S_A(T) dT - \int_{T_{ref}}^{T_1} S_B(T) dT = \int_{T_{ref}}^{T_1} S_{AB}(T) dT \quad (1)$$

Dimana  $S_A(T)$ ,  $S_B(T)$  dan  $S_{AB}(T)$  merupakan koefisien Seebeck (juga disebut sensitifitas daya termoelektrik) untuk konduktor A dan B, dan termokopel AB. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel merupakan pengukuran perbedaan temperatur diantara kedua sambungan [15]. Prinsip kerjanya diberikan seperti pada Gambar 1.



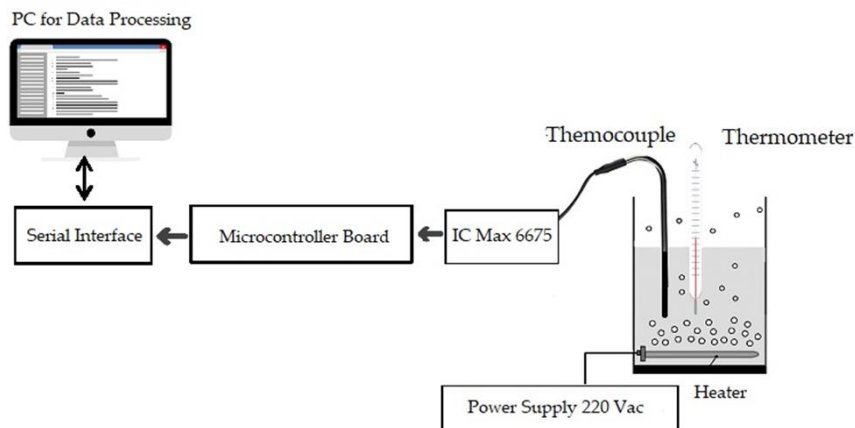
**Gambar 1.** Pengukuran suhu menggunakan termokopel [16]

Ada beberapa jenis termokopel yang diklasifikasikan menurut bahan metal yang menyusunnya dan lebar jangkauan temperatur yang dapat dideteksi. Salah satu contoh tipe termokopel adalah tipe K yang dibentuk dari bahan Chromel dan Alumel dengan lebar jangkauan suhu yang dapat dideteksi adalah  $-200^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $1200^{\circ}\text{C}$  [16, 17].

**2. Metode Penelitian**

Pengukuran suhu autoklaf dilakukan menggunakan sensor termokopel tipe K yang memiliki jangkauan pembacaan suhu antara  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $+1200^{\circ}\text{C}$ . Pengujian sensor termokopel dilakukan pada *heater* (pemanas air) dan dibandingkan dengan termometer raksa. Termokopel adalah sensor suhu yang bekerja menghasilkan tegangan. Pembacaan suhu yang terdeteksi pada sensor ini kemudian dikonversi menjadi keluaran berupa tegangan. Tegangan yang keluar dari sensor termokopel sangat kecil yaitu mikrovolt. Oleh karena itu untuk memperkuat tegangan yang keluar sehingga dapat terbaca oleh mikrokontroler dibutuhkan sebuah rangkaian pengkondisi sinyal termokopel. Rangkaian yang digunakan adalah IC MAX 6675.

IC MAX 6675 digunakan untuk melakukan kompensasi sambungan dingin pada termokopel tipe K dan untuk melakukan amplifikasi, konversi AD dan pemrosesan digital terhadap sinyal input dari ujung T- dan T+ termokopel tipe-K. IC ini sangat praktis, tidak membutuhkan rangkaian lain sehingga mengurangi komponen dan koneksi I/O dalam rangkaian. Rangkaian pengkondisi sinyal ini membentuk sistem pengukuran suhu secara digital dan menguatkan gaya elektromotif termokopel [18]. Sistem pengkondisi sinyal dihubungkan dengan sebuah mikrokontrol sebagai kontrol unit. ATmega328 digunakan sebagai rangkaian eksternal sistem pengontrol. Pemrograman sensor suhu selanjutnya diupload ke dalam mikrokontroler. Hasil pengukuran suhu ditampilkan dalam *serial interface microcontroller*. Set-up eksperimen pengujian termokopel diberikan seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram Proses Pengukuran

Pada penelitian dilakukan tiga pengujian pengukuran suhu menggunakan termokopel. Pengujian pertama dilakukan pengukuran suhu air menggunakan termokopel dibandingkan dengan thermometer raksa. Pengujian kedua dilakukan pengujian dua buah termokopel untuk pengukuran temperature air dari suhu ruang hingga mendidih. Pengujian ketiga dilakukan pengukuran temperature uap di dalam autoklaf menggunakan dua buah termokopel dengan variasi posisi. Pengujian proses sterilisasi dilakukan menggunakan *indicator tape* untuk melihat apakah proses sterilisasi sudah sesuai.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian penguat sinyal suhu Termokopel menggunakan penguat yang menggunakan IC MAX6675. Driver ini membaca perubahan suhu dalam tegangan yang dikonversi menjadi nilai suhu. Terdapat lima pin yang digunakan yaitu DO,CS, CLK, VCC, GND. Untuk proses pembacaan suhu serta proses pengimplementasian rangkaian IC MAX6675 dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Uji coba sensor Termokopel dengan menggunakan IC MAX6675

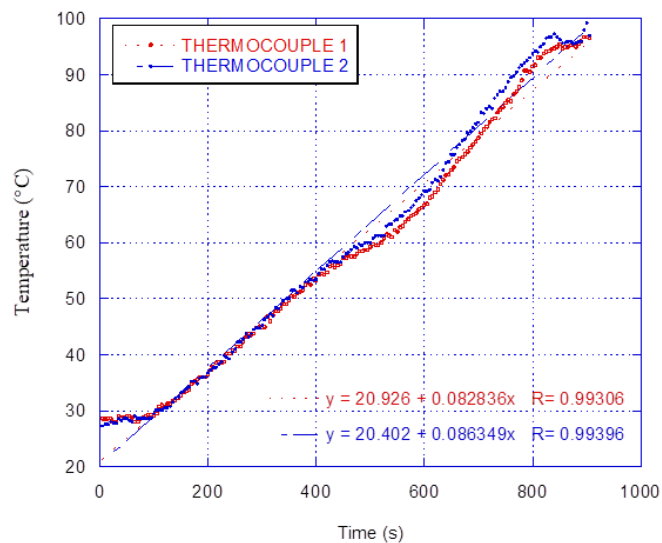
Pengujian dilakukan dengan mengukur temperatur air dari suhu ruang hingga air mendidih setiap kenaikan 5°C pada thermometer raksa. Data hasil pengujian sensor diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian suhu menggunakan thermometer raksa dan termokopel

Termometer Raksa (°C)	Temperatur Termokopel (°C)				Deviasi (°C)
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata	
28.00	29.00	29.00	29.00	29.00	1
33.00	33.00	33.00	32.25	32.75	0.25
38.00	38.25	37.50	37.50	37.75	0.25
43.00	43.00	43.50	44.00	43.50	0.5
48.00	48.00	48.00	47.00	47.67	0.33
53.00	53.00	53.50	52.50	53.00	0
58.00	58.00	58.00	57.50	57.83	0.17
63.00	63.50	63.25	62.75	63.17	0.17
68.00	68.75	68.00	67.25	68.00	0
73.00	73.25	73.50	73.00	73.25	0.25
78.00	78.50	79.75	78.00	78.75	0.75
83.00	84.00	83.50	83.00	83.50	0.5
88.00	89.00	89.25	88.25	88.83	0.83
93.00	94.00	93.00	94.00	93.67	0.67
98.00	99.50	98.75	99.25	99.17	1.17
101.00	100.00	99.00	99.00	99.33	1.67

Pengujian sensor termokopel terhadap kenaikan suhu air akibat pemanasan *heater* menghasilkan keluaran yang linear dan sebanding dengan pengukuran menggunakan thermometer raksa. Dari Tabel dapat dilihat nilai penyimpangan hasil pembacaan menggunakan termokopel berkisar antara 0.17 °C - 1.67 °C. Penyimpangan paling besar terlihat pada saat thermometer raksa menunjuk nilai 101 °C. Nilai koefisien korelasi hasil pengukuran menggunakan thermometer raksa dan termokopel mendekati 1 ( $R = 0.99982$  untuk thermometer raksa dan  $R = 0.99894$  untuk termokopel).

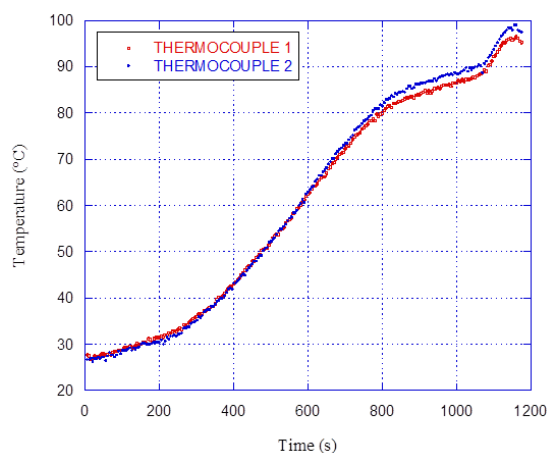
Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan dua buah termokopel. Sebelumnya perlu diuji pembacaan kedua termokopel. Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu pemanasan air di dalam *heater*/pemanas air dari suhu ruang hingga air mendidih. Hasil pengujian diberikan seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pengujian suhu air menggunakan dua buah termokopel

Hasil pengujian pada Gambar 4 menunjukkan koefisien linearitas menggunakan dua buah termokopel mendekati 1 ( $R_1 = 0.99306$  dan  $R_2 = 0.99396$ ). Kedua termokopel menghasilkan keluaran yang serupa dan hampir berimpit.

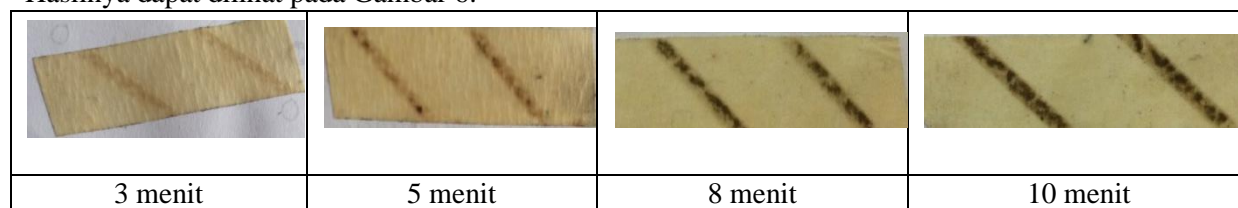
Pengujian ketiga dilakukan pengukuran suhu di dalam Autoklaf. Pada pengujian ketiga ini diatur dua keadaan untuk melihat variasi posisi termokopel. Termokopel 1 diatur masuk seluruhnya pada chamber autoklaf, sedangkan termokopel 2 sebagian masuk chamber, sebagian di luar chamber. Hasil pengujian diberikan seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Pengukuran suhu uap air di dalam chamber autoklaf

Gambar 5 menunjukkan pembacaan nilai pengukuran suhu uap air dengan variasi posisi sensor termokopel. Dari gambar terlihat hasil pengukuran berimpit. Hasil pembacaan menunjukkan variasi posisi termokopel tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil pembacaan suhu. Dari hasil pengujian-pengujian ini, termokopel bisa digunakan sebagai sensor untuk pengukuran temperature di dalam autoklaf.

Pengujian juga dilakukan menggunakan *indicator tape*, yaitu pita yang digunakan untuk menguji apakah proses sterilisasi berjalan dengan baik. Proses sterilisasi dimulai apabila suhu autoklaf sudah mencapai 121°C. Pengujian sterilisasi dilakukan selama 3 menit, 5 menit, 8 menit dan 10 menit. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pengujian proses sterilisasi menggunakan *indicator tape*

Hasil pengujian menggunakan *indicator tape* menunjukkan pada proses sterilisasi selama 3 menit, terlihat garis samar pada *indicator tape* dan semakin lama proses sterilisasi, garis terlihat semakin gelap dan tegas. Pada proses sterilisasi 10 menit, garis pada *indicator tape* terlihat berwarna hitam. Ini menunjukkan proses sterilisasi berjalan dengan baik.

#### 4. Penutup

Pengujian suhu dengan termokopel menghasilkan keluaran yang linear dan sebanding dengan pengukuran menggunakan termometer raksa. Nilai koefisien korelasi hasil pengukuran menggunakan thermometer raksa 0,99982 dan termokopel 0,99894. Variasi posisi termokopel tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pembacaan suhu pada aplikasi pengukuran suhu autoklaf. Termokopel bisa dijadikan pilihan sebagai sensor suhu pada autoklaf karena selain murah dan mudah ditemukan di pasaran, tingkat akurasinya baik.

#### Acknowledgements

Terima kasih kepada Biro Penelitian dan Abdimas Politeknik Mekatronika Sanata Dharma yang telah mendanai penelitian ini dan kepada rekan-rekan Program Studi Teknologi Elektromedis atas diskusi dan masukan yang mendukung penelitian ini.

#### References

- [1]. Ministry of Health and Family Welfare New Delhi. 2010. Medical Equipment Maintenance Manual A First Line Maintenance Guide for End Users.
- [2]. [A] Sasaki, Jun-Ichi and Imazato, Satoshi. 2020. Autoclave Sterilization of Dental Handpieces: A Literature Review. *Journal of Prosthodontic Research*. Japan Prosthodontic Society pp 239-242. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.013>
- [3]. Safety EL. 2013. *Autoclaves*. (20): 2–3.
- [4]. Qin, He and Yin, Chen. 2018. Study of Temperature and Pressure Control of Autoclave Based on FPGA. 3rd International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering. DOI 10.1109/ICMCCE.2018.00023
- [5]. National Instrument. 2011. *Temperature Measurements with Thermocouples : How-To Guide*. 1–6.

- [6]. Omega. 2000. *Using Termokopels. Technical Reference Section: Z21-32*. Available from: <http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z021-032.pdf>.
- [7]. Han, Yanhui, Yue Feng, Haozhe Lou XZ. 2018. Termokopel-Based Temperature Sensing System for Chemical Cell Inside Micro UAV Device. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 986*. DOI:10.1088/1742-6596/986/1/012012.
- [8]. Iгореvich, Fedosov Ivan. 2020. Thermocouple Condition Monitoring Using Thermocouple Resistance. Experimental Study. Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). Russia.
- [9]. Straubinger, D., Illes, B., Berenyi, R., and Geczy, A. 2020. Simulation of Relow-based Heat Transfer on Different Thermocouple CONstructions. 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE).
- [10]. Shaker, H. H., Saleh, A.A., Ali, A. H., and Elaziz, M. A. 2016. Self-Calibrating Enabled Low COst, Two Channel Type K Thermocouple Interface for Microcontrollers. Cairo, Egypt.
- [11]. Mofei, W., Zhigang, C., Yuzhao, H., and Deming, L. 2017. Design of Intelligent Temperature Controller for Thermocouple Automatic Calibrating Furnace. International CONference on Industrila Informatics.
- [12]. Popong Effendrik, Gatot Joelianto, Hari Sucipto. 2014. Karakterisasi Thermocouple Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Matlab – Simulink. *Jurnal Eltek*, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 133-145
- [13]. Noriega M, et al. 2015. Termokopels Calibration and Analysis of the Influence of the Length of the Sensor Coating. *Journal of Physics: Conference Series 582(1)*. DOI:10.1088/1742-6596/582/1/012029.
- [14]. Martin J. 2013. Protocols for the High-Temperature Measurement of the Seebeck Coefficient in Thermoelectric Materials. *Measurement Science and Technology*. 24(8). DOI:10.1088/0957-0233/24/8/085601.
- [15]. Recktenwald G. 2010. Conversion of Termokopel Voltage to Temperature. 1–23.
- [16]. PSS Bapu Rao. 2020. Thermocouple: Principle, Construction, Characteristics, Advantages, and Limitations. Available from: <https://instrumentationapplication.com/2020/12/06/thermocouple-principle-construction-characteristics-advantages-and-disadvantages/>
- [17]. Fontes J. *Sensor Technology Handbook*. USA: Elsevier.Inc; 2005. DOI:10.1016/B978-075067729-5/50054-9.
- [18]. Jiayue W, et al. 2016. The Engine Temperature Real-Time Monitoring Instrument Based on Microcontroller. *Proceedings of the 2016 2nd Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (Wartia)*: 1257–1261.