

EVALUASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM KALIBRASI TERMOMETER DIGITAL MENGGUNAKAN PERSAMAAN REGRESI KALIBRASI

Icha Fatwasauri^{1,*}, Shantiana Tri Erawati², Margi Sasono², Rino Ferdian Surakusumah¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Elektromedis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Al Insyirah Pekanbaru

²Program Studi Fisika, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

*E-mail korespondensi: ichafatwasauri@gmail.com

ABSTRACT

Temperature measurement is one of the important parameters in guaranteeing the quality of a product. Thermometer accuracy quality assurance is very important and crucial in the production process. Thermometer accuracy requires traceability to international standard units of measurement through a routine calibration process. The method of calibration of the thermometer uses a temperature controlled chamber/bath and requires high temperature stability. Chambers/baths on the market are relatively expensive and the temperature calibration process takes a long time because at each set point stability must be waited. In this study, the thermometer calibration was carried out by comparing the readings of the calibrated thermometer with a standard thermometer and using a calibration regression equation to determine the value of the standard error of estimate (SEE). The regression equations use inverse and classical methods, each with linear equations, polynomial equations and power equations. From the research that has been done, the digital thermometer calibration can be done by using a temperature-controlled bath that is only by comparing the readings between a standard thermometer and a calibrated thermometer by recording any temperature increases. To evaluate the uncertainty of the digital thermometer calibration, the smallest SEE value is obtained in the power equation, namely 0.001. There were no significant differences in each type of regression and the combined standard uncertainty results were 0.16 at 37 °C using linear regression.

Keywords: Calibration, Regression Equation, Chamber/Bath, Digital Thermometer, Standard Error of Estimate.

ABSTRAK

Pengukuran suhu merupakan salah satu parameter penting dalam jaminan mutu suatu produk. Jaminan mutu akurasi termometer sangat penting dan krusial dalam proses produksi. Akurasi termometer memerlukan ketertelusuran ke satuan ukur standar internasional melalui proses kalibrasi rutin. Metode kalibrasi termometer yang ada menggunakan chamber/bath yang terkontrol suhu dan perlu stabilitas suhu tinggi. Chamber/bath di pasaran relatif mahal dan proses kalibrasi suhu memerlukan waktu yang lama karena pada setiap set point harus ditunggu stabilitasnya. Dalam penelitian ini kalibrasi termometer dilakukan dengan membandingkan pembacaan termometer yang dikalibrasi dengan termometer standar dan menggunakan persamaan regresi kalibrasi untuk menentukan nilai standar error of estimate (SEE). Persamaan regresi menggunakan metode invers dan klasik masing-masing dengan linear equation, polynomial equation dan power equation. Dari penelitian yang telah dilakukan kalibrasi termometer digital dapat dilakukan dengan menggunakan bath yang tidak terkontrol suhu yaitu hanya dengan melakukan komparasi pembacaan antara termometer standar dan termometer yang dikalibrasi dengan cara mencatat setiap kenaikan suhu yang ada. Untuk evaluasi ketidakpastian kalibrasi termometer digital diperoleh nilai SEE terkecil pada persamaan power yaitu 0,001. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam setiap jenis regresi dan hasil ketidakpastian baku gabungan 0,16 pada suhu 37 °C menggunakan regresi linear.

Kata kunci: Kalibrasi, Persamaan Regresi, Chamber/Bath, Termometer Digital, Standar Error of Estimate.

Diterima 21-05-2021 | Disetujui 25-06-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Pasar bebas Asia Tenggara atau Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) merupakan suatu bentuk integrasi kegiatan ekonomi perdagangan antera negara-negara Asia Tenggara. Produk-produk yang berasal dari negara Asia Tenggara dapat dengan bebas keluar masuk Indonesia, begitu pun sebaliknya. Berkenaan dengan hal tersebut, harus ada jaminan mutu produk yang terkait dengan proses standarisasi produksi.

Dalam prakteknya sebagian besar proses standarisasi produksi terkait dengan pengaturan dan pengukuran suhu secara terkontrol menggunakan alat thermometer. Misalnya, pengukuran suhu pada industri fabrikasi kaca dengan pemanfaatan *furnace* untuk memanaskan bahan kaca, kemudian melakukan pendinginan secara tepat. Proses pendinginan ini dilakukan dengan pengontrolan suhu *furnace* yang akurat menggunakan termometer. Selain dalam dunia industri, pengukuran suhu juga sangat penting dalam dunia kesehatan. Misalnya, saat seorang dokter akan melakukan *medical checkup* kepada pasien yaitu dengan memanfaatkan nilai suhu tubuh untuk mendiagnosa awal penyakit. Alat ukur yang digunakan disebut termometer klinis dengan rentang ukur antara 35,5 – 42 °C. Oleh karena itu, jaminan mutu akurasi thermometer sangat penting dan krusial dalam proses produksi/industri maupun kesehatan.

Akurasi termometer memerlukan ketertelusuran ke satuan ukur standar Internasional melalui proses kalibrasi rutin. Kalibrasi didefinisikan sebagai suatu kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat inspeksi, alat pengukuran atau alat pengujian [1,2]. Kalibrasi bertujuan untuk memastikan akurasi kebenaran nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur atau nilai-nilai yang tertera pada suatu bahan ukur. Kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan cara perbandingan secara langsung terhadap suatu standar ukur atau bahan acuan bersertifikat yang tertelusur ke standar Nasional atau Internasional [3-5]. Proses kalibrasi termometer menurut standar yang ada, dilakukan

menggunakan suatu *chamber/bath* dengan suhu yang terkontrol dan stabilitas tinggi. *Chamber/bath* di pasaran relatif mahal dan proses kalibrasi suhu memerlukan waktu yang lama karena pada setiap *set point* harus ditunggu stabilitasnya.

Berdasarkan hal tersebut diperlukannya metode alternatif yaitu poses kalibrasi termometer dilakukan dengan menggunakan sebuah *chamber/bath* yang suhunya tidak perlu dikontrol (tidak perlu diatur *set point*) dan waktu yang lebih singkat (tidak menunggu terjadinya stabilitas suhu). Metode ini dapat dilakukan dengan hanya membandingkan pembacaan termometer yang dikalibrasi dengan termometer standar pada suatu kondisi suhu *chamber/bath* tertentu. Sedangkan pengolahan data menggunakan persamaan regresi yang banyak digunakan dalam analisis kimia [6,7].

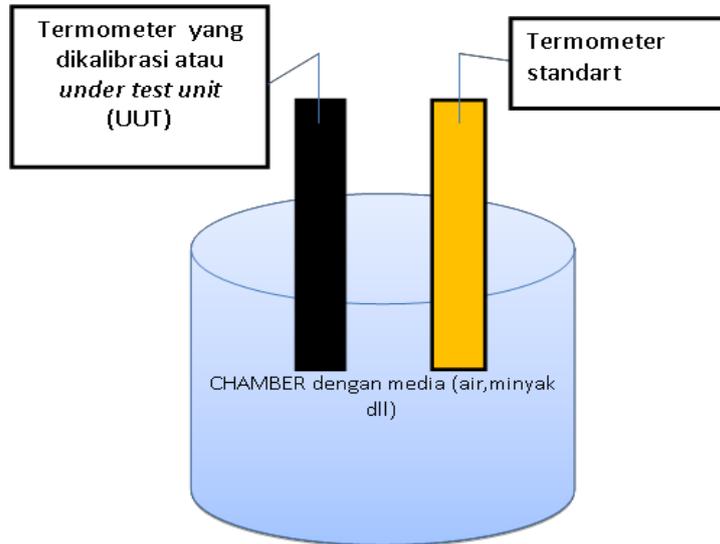
Persamaan regresi banyak digunakan pada bidang spektrofotometri. Dari data yang diperoleh, dihasilkan suatu hubungan linier antara nilai serapan standar larutan dengan pembacaan alat. Komparasi antara termometer standar dan termometer yang dikalibrasi dapat dikatakan memiliki hubungan linier seperti halnya dalam spektrofotometri. Persamaan regresi yang digunakan adalah regresi kalibrasi yaitu jika pada regresi biasa diberikan suhu aktual (x) kemudian ditentukan suhu observasi (y) yang bersesuaian, sedangkan bila terjadi sebaliknya suhu observasi (y) kemudian akan ditentukan suhu aktual (x) yang bersesuaian, masalah yang terjadi dikenal dengan masalah kalibrasi atau regresi kalibrasi [8-10]. Oleh karena itu sangat dimungkinkan penggunaan persamaan regresi untuk pengolahan data kalibrasi suhu tanpa *chamber/bath* yang terkontrol suhunya. Dengan demikian metode kalibrasi termometer lebih murah karena hanya perlu *chamber* sederhana, tanpa kontrol suhu. Selain itu waktunya lebih cepat, tanpa harus menunggu suhu *chamber* stabil.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan termometer digital DT03. Termometer digital ini memiliki

resolusi suhu 0,1 °C. Sedangkan akurasi suhu 1 °C untuk rentang suhu 0 – 80 °C dan 5 – 10 °C. Termometer dikalibrasi dengan membandingkan termometer standar

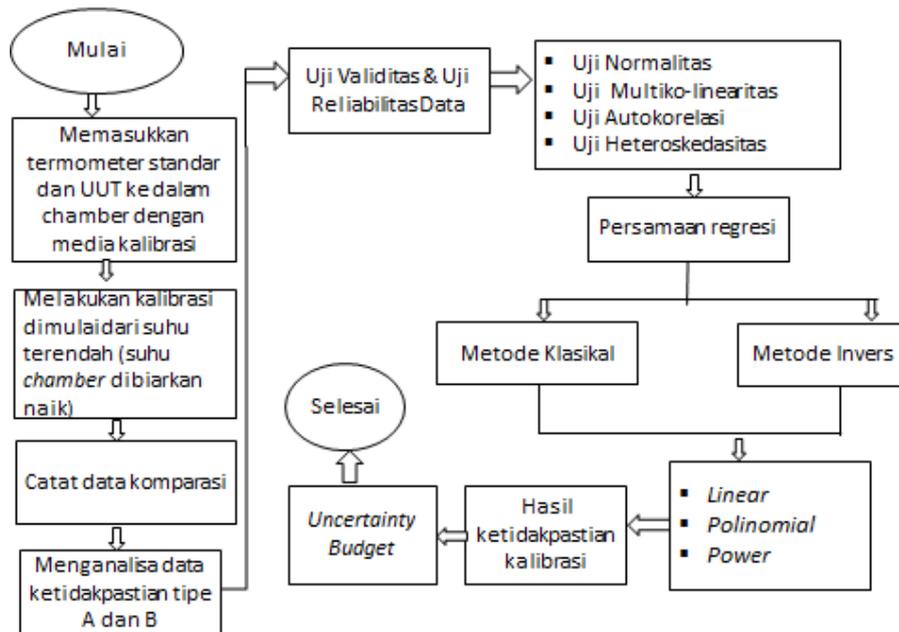
menggunakan suatu *chamber* dan hasil nilai ketidakpastian diolah menggunakan persamaan regresi. Metode kalibrasi yang digunakan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode kalibrasi termometer.

Pengolahan data kalibrasi termometer menggunakan persamaan kalibrasi dibagi menjadi 2 metode, yaitu metode klasik dan metode invers dengan masing-masing metode

dianalisis menggunakan persamaan linier, polinomial, dan daya [4]. Rancangan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan penelitian.

Setelah dilakukan kalibrasi termometer digital, data diolah dengan menganalisa ketidakpastian tipe A dan B. Hasil analisa data ketidakpastian tipe A dan B di evaluasi

menggunakan *software statistical product and service solution* (SPSS) dan dilakukan uji validitas, reliabilitas, normalitas, multiko-linearitas, autokorelasi dan heteroskedastisitas

sehingga didapatkan persamaan regresi. Persamaan regresi di analisa dengan metode klasik dan invers. Masing-masing metode terdapat persamaan linier, polinomial, dan daya. Dari ketiga data tersebut, nilai terkecil akan dijadikan nilai *standar estimate of error* (SEE). Nilai SEE yang diperoleh akan di masukkan ke dalam salah satu sumber ketidakpastian dalam kalibrasi termometer digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu yang digunakan dalam penelitian ini dalam rentang 37 – 41 °C. Data hasil pengukuran berdasarkan Tabel 1, UUT merupakan termometer yang dikalibrasi dan standar adalah acuan dari termometer yang dikalibrasi. Hasil menunjukkan nilai koreksi

atau selisih perbedaan antara UUT dan standar tidak mencapai 2 °C. Hal ini diakibatkan termometer yang dikalibrasi masih baru. Dapat diketahui bahwa nilai koreksi dari hasil pengukuran suhu standar dengan UUT pada penelitian ini semua di bawah 2 °C.

Nilai koreksi terbesar pada data pengukuran suhu 37 °C, yang terkecil pada data pengukuran suhu 41 °C. Setiap tingkatan suhu, didapatkan nilai koreksi yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan perubahan secara fluktuasi pengukuran yang ditunjukkan oleh termometer digital tersebut. Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi kalibrasi menggunakan program statistik SPSS. Regresi kalibrasi pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu metode klasik dan invers.

Tabel 1. Hasil pengukuran termometer standar dan UUT.

Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)
37,02	36,00	1,02	38,02	37,20	0,82	39,06	38,40	0,66	40,01	39,60	0,41	41,15	40,90	0,25
37,07	36,10	0,97	38,09	37,30	0,79	39,16	38,50	0,66	40,16	39,70	0,46	41,28	41,00	0,28
37,17	36,20	0,97	38,21	37,40	0,81	39,23	38,60	0,63	40,20	39,80	0,40	41,45	41,10	0,35
37,20	36,30	0,90	38,28	37,50	0,78	39,31	38,70	0,61	40,34	39,90	0,44	41,51	41,20	0,31
37,47	36,40	1,07	38,34	37,60	0,74	39,41	38,80	0,61	40,49	40,00	0,49	41,55	41,30	0,25
37,52	36,50	1,02	38,44	37,70	0,74	39,43	38,90	0,53	40,59	40,10	0,49	41,57	41,40	0,17
37,62	36,60	1,02	38,53	37,80	0,73	39,54	39,00	0,54	40,62	40,20	0,42	41,59	41,50	0,09
37,68	36,70	0,98	38,60	37,90	0,70	39,72	39,10	0,62	40,71	40,30	0,41	41,56	41,60	-0,04
37,74	36,80	0,94	38,75	38,00	0,75	39,80	39,20	0,60	40,80	40,40	0,40	41,55	41,70	-0,15
37,78	36,90	0,88	38,82	38,10	0,72	39,88	39,30	0,58	40,85	40,50	0,35	41,59	41,80	-0,21

Hasil-hasil pengolahan data yang disajikan dianggap merupakan hasil estimasi terbaik karena dapat memenuhi kriteria teori kalibrasi maupun statistik. Nilai SEE dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan persamaan linier, polinomial, dan daya. Untuk memperoleh nilai SEE maka terlebih dahulu dilakukan pengujian validitas data, reliabilitas data, dan uji asumsi klasik.

Uji Validitas Data

Suatu data dikatakan valid apabila nilai *corrected item-total correlation* di atas atau sama dengan 0,2. Tabel 2 menunjukkan variabel standar dan variabel UUT, memiliki nilai koreksi korelasi lebih dari 0,2 dan variabel dinyatakan valid.

Tabel 2. Hasil uji validitas.

Variabel	Corrected Item	Correlation
37	Standar	0,981
	UUT	0,981
38	Standar	0,997
	UUT	0,997
39	Standar	0,991
	UUT	0,991
40	Standar	0,991
	UUT	0,991
41	Standar	0,826
	UUT	0,826

Uji Reliabilitas Data

Data dikatakan reliabel apabila nilai $\alpha > 0,60$. Pada Tabel 3 nilai reliabilitas diperoleh 0,795 artinya ini telah memenuhi persyaratan.

Tabel 3. Hasil uji reliabilitas data.

N of Items	Cronbach's Alpha
2	0.795

Uji Normalitas

Tabel 4. Hasil uji normalitas data.

Variabel	P Value	α
Standar	0,287	0,05
UUT	0,988	0,05

Hasil uji normalitas pada Tabel 4 baik variabel standar dan UUT memiliki nilai ($p\text{ value}$) > α (0,05).

Uji Autokorelasi

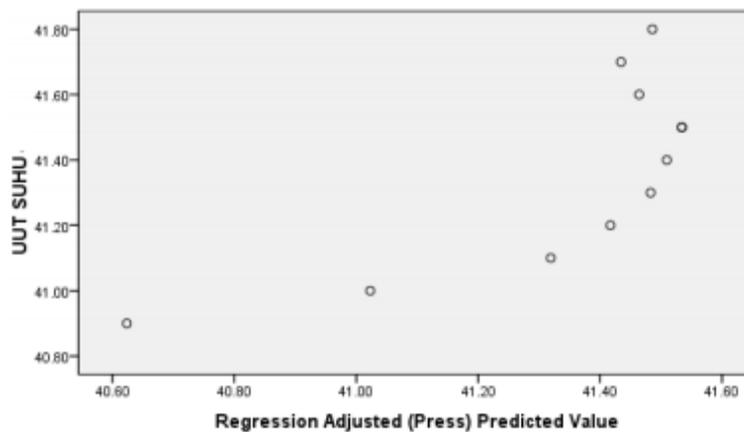
Tabel 5. Hasil uji autokorelasi.

Model	R	R square	Durbin-Watson
1	0.826	0.681	1.735

Data hasil uji autokorelasi pada Tabel 5 diperoleh nilai Durbin-Watson (DW) sebesar 1,735. Syarat data tidak terjadi autokorelasi adalah $1 < DW < 1,735$

Uji Heteroskedastisitas

Suatu data dinyatakan heteroskedastisitas jika terdapat pola tertentu pada grafik *scatterplot*. Berdasarkan Gambar 3 tidak terdapat pola yang jelas, serta titik-titik menyebar di atas dan di bawah angka 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data pada penelitian ini tidak terjadi heteroskedastisitas.



Gambar 3. Grafik hasil uji heteroskedastisitas.

Hasil Uji Regresi Kalibrasi

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan program SPSS 17 semua data

yang telah melewati tiga pengujian di atas dikatakan valid sehingga diperoleh nilai SEE persamaan regresi kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai SEE persamaan regresi kalibrasi.

Metode Kalibrasi	Regresi	Suhu				
		37 °C	38 °C	39 °C	40 °C	41 °C
Klasik	Linier	0,058	0,020	0,038	0,040	0,086
	Polinomial	0,058	0,020	0,038	0,040	0,086
	Daya	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Invers	Linier	0,060	0,023	0,042	0,042	0,173
	Polinomial	0,060	0,023	0,042	0,041	0,173
	Daya	0,002	0,001	0,001	0,001	0,004

Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai SEE pada masing-masing suhu memiliki nilai yang berbeda. Nilai SEE setiap suhu yang diujikan baik pada metode klasik maupun invers hasil nilai regresi linear dan polynomial sama. Sedangkan pada regresi power baik

menggunakan metode klasik maupun invers disetiap suhunya memiliki nilai yang sama, kecuali pada suhu 41 °C. Nilai SEE regresi power menggunakan metode klasik pada suhu 41 °C yaitu 0,002, sedang pada metode invers lebih tinggi yaitu 0,004. Hasil pengujian regresi

kalibrasi menggunakan metode klasik dan invers (dengan regresi linier, polinomial, dan daya) semakin kecil nilai SEE menunjukkan bahwa kalibrasi termometer digital tersebut semakin baik. Estimasi erornya semakin kecil, maka pembacaan data suhu pada sebuah termometer digital lebih akurat. Nilai SEE yang paling kecil terdapat pada jenis regresi power.

KESIMPULAN

Kalibrasi termometer digital dapat dilakukan dengan menggunakan *bath* yang tidak terkontrol suhu yaitu hanya dengan melakukan komparasi pembacaan antara termometer standar dan termometer yang dikalibrasi dengan cara mencatat setiap kenaikan suhu yang ada. Waktu dalam mengkalibrasi juga lebih singkat dibandingkan metode biasa (menggunakan *set point*). Evaluasi ketidakpastian kalibrasi termometer digital menggunakan persamaan regresi kalibrasi dapat digunakan karena berdasarkan perbandingan nilai SEE menggunakan metode klasik dan metode invers, nilai terkecil diperoleh pada hasil pengujian dengan regresi daya yaitu 0,001, sedangkan hasil pengujian pada regresi linier dengan polinomial sama. Hasil regresi kalibrasi menggunakan metode klasik dengan metode invers tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil regresi pada penelitian ini diperoleh 0,001 dan untuk nilai ketidakpastian bentangan pada *uncertainty budget* yaitu 0,16.

UCAPAN TERIMA KASIH

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Al Insyirah Pekanbaru

REFERENSI

1. Morris, A. S. (2001). Measurement and instrumentation principles. *IOP Science*.
2. Kardianto, K., Kristanti, K. H., Tiswati, K. A., & Dwihapsari, Y. (2019). Analisis Nilai Ketidakpastian dan Faktor Kalibrasi

pada Alat Ukur Radiasi di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya. *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, **15**(2), 56–61.

3. Howarth, P. & Redgrave. F. (2008). Metrology. Istanbul: UMS.
4. Mulyana, M. R., Budiman, H., Zuas, O., & Darmayanti, N. T. E. (2018). Ketidakpastian Pengukuran: Evaluasi, Sumber-Sumber dan Kontribusinya dalam Pembuatan Bahan Acuan Campuran Gas (N₂O dalam Matriks N₂) Secara Gravimetri. *Jurnal Standardisasi*, **20**(1), 19–32.
5. Sinaga, T. A. & Umar, L. (2017). Pengukuran oksigen terlarut dari fotosintesis alga chlorella vulgaris dengan biochip-G. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **14**(2), 1103–1108.
6. Gandjar, I. G. & Rohman, A. (2007). Kimia farmasi analisis. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
7. Adli, D. N., & Sjoftjan, O. (2020). Estimasi dan validasi kandungan energi bekatul sebagai pakan unggas dari komposisi kimia pakan. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, **3**(2), 90–96.
8. Chen, C. (2006). Evaluation of measurement uncertainty for thermometers with calibration equations. *Accreditation and quality assurance*, **11**(1), 75–82.
9. Hairil, T. W., Islamiyati, A., & Raupong, R. (2018). Penaksiran Parameter Model Kalibrasi Linier yang Berdistribusi Skew-Normal dengan Algoritma-EM. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, **12**(1), 36–47.
10. Emrinaldi, T., Sugianto, S., & Ginting, M. (2017). Selisih temperatur ozon permukaan berdasarkan metode IPCC dan instrumen AWS di Bukit Kototabang. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **14**(2), 1088–1094.



Artikel ini menggunakan lisensi [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)