

Rancang Bangun Prototipe Pemantau Temperatur Ruang Penyimpanan Anak Timbangan Standar di Unit Metrologi Legal Kabupaten Bandung Barat

Vera Firmansyah*¹, Fanny Nuriska¹, Teddy Mulyana², Dudi Adi Firmansyah¹, Budi Yasri¹, Azis Muslim¹, Gianto¹, Nandang Gunawan T.W¹, Willi Sutanto¹

¹) Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²) Unit Metrologi Legal Kabupaten Bandung Barat

*Corresponding author

Vera Firmansyah

Email : verafirmansyah@akmet.ac.id

Abstrak

Unit Metrologi Legal (UML) merupakan unit yang melakukan kegiatan kemetrolagian di Kabupaten/Kota. UML memiliki peran penting dalam tercapainya pasar tertib ukur. Kegiatan kemetrolagian itu mencakup tera dan tera ulang termasuk kegiatan pengawasan kemetrolagian. Salah satu upaya UML untuk mendukung kegiatan itu dengan memelihara standar kerja yang dimiliki, dalam hal ini yaitu anak timbangan. Selain biaya yang dikeluarkan untuk pembelian alat ukur yang sudah ada dengan 4 sensor sekaligus sangat mahal, pembuatan prototipe menjadi pilihan utama karena dapat dilakukan pengembangan yang disesuaikan dengan kebutuhan. Pada penelitian ini membuat sebuah prototipe pemantau kondisi ruangan lemari penyimpanan anak timbangan. Prototipe ini menggunakan empat buah sensor yang diintegrasikan dengan mikrokontroler yang dapat mengukur temperatur secara bersamaan. Proses pengujian prototipe diawali dengan pengujian sensor suhu dengan termokopel standar dan *water bath*. Selanjutnya, pengujian prototipe dengan alat ukur standar termohyrometer. Hasil pengujian prototipe yaitu untuk akurasi memiliki rentang 94%-98%, presisi 97%-98%, dan kesalahan 2%-4%. Sedangkan, hasil ketidakpastian pengukuran prototipe untuk pagi hari sudah sesuai ketentuan pada rentang 0,37 °C – 0,46 °C dan pada sore hari tidak sesuai ketentuan, yaitu pada rentang 0,38 °C – 0,61 °C.

Kata kunci : Metrologi, Temperatur, Termokopel, Prorotipe

Abstract

The Legal Metrology Unit (UML) is a unit that carries out metrological activities in the Regency/City. UML has a vital role in achieving a well-measured market. These metrological activities include calibration and re-calibration and metrological supervision activities. One of UML's efforts to support these activities is to maintain the working standards it has, in this case, reference weights. In addition to purchasing existing measuring instruments with four sensors at once being very expensive, prototyping is the leading choice because it can be developed according to needs. This study created a prototype for monitoring the room conditions of the reference weight storage cabinet. This prototype uses four sensors integrated with a microcontroller to measure temperature simultaneously. The testing process for the prototype began with testing the temperature sensor with a standard thermocouple and water bath. Furthermore, the prototype will be tested with a standard thermohyrometer measuring instrument. The test results of the prototype for accuracy have a range of 94%-98%, precision of 97%-98%, and an error of 2%-4%. Meanwhile, the results of the measurement uncertainty of the prototype for the morning are by the provisions in the range of 0.37 °C-0.46 °C, and in the afternoon, they do not comply with the requirements, namely in the range of 0.38°C-0.61 °C.

Keywords: Metrology, Temperature, Thermocouple, Prototype

PENDAHULUAN

Unit Metrologi Legal (UML) merupakan salah satu unit teknis yang memiliki fungsi terlaksananya kegiatan kemetrologian di kabupaten/kota. Secara keseluruhan UML berada di bawah Unit Eselon 2 Dinas Perdagangan, Dinas Perindustrian dan Perdagangan, dan adapula yang di bawah Dinas Perindustrian, Perdagangan dan Koperasi. Kegiatan utama kemetrologian ini secara umum dibagi menjadi dua bagian, yaitu kegiatan Tera Tera Ulang Alat-alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya (UTTP) (Perdagangan, 2018) juga termasuk kegiatan pengawasan terhadap UTTP tersebut (Perdagangan, 2017). UML juga dapat memberikan kontribusi terhadap penerimaan kas daerah dalam bentuk retribusi, seperti yang dilakukan oleh UML Kabupaten Blitar seperti yang disampaikan hasil penelitian Indarriyanti dkk (Indarriyanti dkk., 2022). Peran lain yang sangat penting yaitu melalui pengawasan UTTP yang didalamnya termasuk Barang Dalam Keadaan Terbungkus (BDKT) sesuai dengan Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 71 Tahun 2014 (Perdagangan, 2014) dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan keberterimaan produk Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM). Seperti yang dilakukan oleh Nurti Lestar (A. M. S. Nurti Lestari, 2022) dalam penelitiannya di Kabupaten Semarang tentang seberapa pentingnya kegiatan pengawasan kemetrologian untuk meningkatkan pasar tertib ukur. Kegiatan pengawasan kemetrologian ini merupakan salah satu aspek perlindungan konsumen dari pemerintah melalui penegakan hukum bagi para pelaku usaha yang nakal ditulis oleh Megawati dkk (Megawati dkk., 2022).

Untuk meningkatkan kegiatan pelayanan tera dan tera ulang oleh UML, salah satu contohnya yang dilakukan Kabupaten Semarang, disampaikan melalui hasil penelitiannya (R. W. P. Nurti Lestari, 2020), salah satu upayanya yaitu dengan melengkapi dan memelihara standar dari UTTP yang dimiliki oleh UML tersebut. Alat ukur yang paling banyak digunakan oleh Masyarakat dalam kegiatan transaksi perdagangan yaitu alat ukur timbangan. Salah satu upaya menjaga kebenaran alat ukur timbangan ini dapat dilakukan dengan menyediakan alat ukur timbangan lain yang

disediakan oleh UML dengan kondisi hasil pengukuran dan ketertelusurannya yang sesuai dengan Batas Kesalahan yang Diijinkan (BKD) berdasarkan Syarat Teknis Anak Timbangan Ketelitian Biasa dan Khusus yang dikeluarkan oleh Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri Kementerian Perdagangan (Direktorat Metrologi, 2010). Timbangan ini disebut dengan timbangan pos ukur ulang. Sebagai contoh yang dilakukan oleh Kota Bogor di beberapa tempat yang memiliki transaksi perdagangan sangat besar dan disampaikan hasil penelitiannya oleh (Rosadi dkk., 2020).

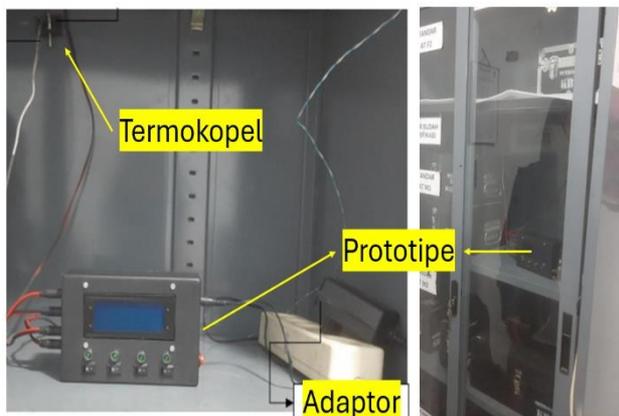
UML memiliki kewajiban untuk melakukan Tera dan Tera Ulang baik untuk timbangan yang dimiliki oleh pelaku usaha maupun timbangan pos ukur ulang tersebut. Kegiatan Tera dan Tera Ulang terhadap alat ukur timbangan menggunakan standar anak timbangan yang telah dijamin ketertelusurannya. Tidak semua UML memiliki fasilitas penyimpanan anak timbangan standar yang baik atau yang sesuai dengan ketentuan. Berdasarkan Syarat Teknis Anak Timbangan Ketelitian Biasa dan Khusus, untuk pengondisian ruangan berada pada suhu $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ dan kelembapan pada $(55 \pm 10) \%$ (Direktorat Metrologi, 2010). Dengan kondisi ruang penyimpanan yang disyaratkan pada ketentuan tersebut, maka dibutuhkan alat yang dapat memantau suhu dan kelembapan. Pada umumnya UML menggunakan lemari besi bertingkat untuk menyimpan anak timbangan standar ini. Selain itu, lemari tersebut diletakkan bersamaan dengan ruangan kerja, tidak dalam ruangan khusus yang dikondisikan, baik suhu maupun kelembapannya. Hal ini dikarenakan keterbatasan anggaran yang dimiliki oleh setiap UML. Untuk menjaga kondisi ruangan sesuai ketentuan di atas, dibutuhkan sebuah alat ukur yang dapat memantau seluruh kondisi ruangan penyimpanan anak timbangan standar tersebut.

Prototipe alat pemantauan kondisi ruangan yang dibuat diharapkan dapat menjadi solusi dari aspek biaya pembuatan dan kemungkinan pengembangan yang disesuaikan dengan kebutuhan, contohnya pemanfaatan IoT. Alat ukur yang dapat membaca 4 (empat) buah sensor sekaligus masih sangat mahal dan hampir sulit untuk dilakukan pengembangan. Alat ukur ini masih

dalam bentuk prototipe yang dibuat dengan mikrokontroler dan empat buah sensor suhu dengan masing-masing sensor suhu diletakkan di setiap tingkat dalam lemari besi tersebut. Telah ada penelitian sebelumnya untuk pencatatan otomatis hasil pengukuran sensor suhu (Efendi, Herlina, dkk., 2023; Efendi, Mesin, dkk., 2023) dengan hasil koreksi 0,5 °C, namun tidak dilengkapi dengan hasil ketidakpastian dan karakteristik pengukurannya, yaitu akurasi, presisi, dan kesalahan. Prototipe ini berhasil dibuat dengan rentang akurasi 96%-97%, rentang presisi 97%-98%, dan rentang kesalahan 3%-4%. Sedangkan untuk ketidakpastian bentangan prototipe memiliki rentang 0,37 °C – 0,46 °C pada pagi hari dengan temperatur 23,10 °C dan ketidakpastian bentangan pada sore hari dengan temperatur 25,8 °C pada rentang 0,38 °C – 0,61 °C. Prototipe ini dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan hasil penelitian yang disampaikan oleh (Firmansyah, 2018), agar dapat mengontrol kondisi ruangan sesuai masukan dari hasil pengamatan kondisi ruangan fasilitas penyimpanan anak timbangan standar tersebut. Namun, prototipe yang dihasilkan dari penelitian ini belum dapat berfungsi sebagai pengontrol otomatis.

METODOLOGI

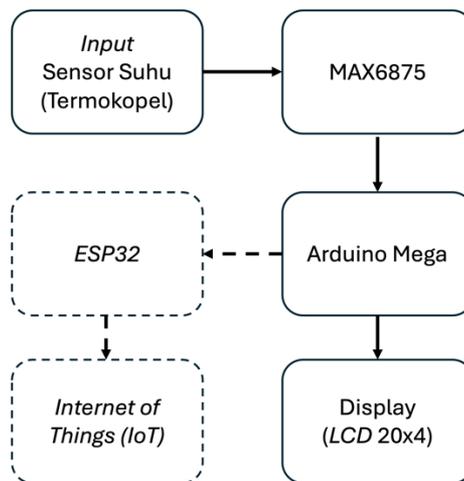
Prototipe ini digunakan untuk memantau kondisi lingkungan anak timbangan standar di lemari penyimpanan Unit Metrologi Legal Kabupaten Bandung Barat, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lemari penyimpanan anak timbangan standar di UML Kabupaten Bandung Barat

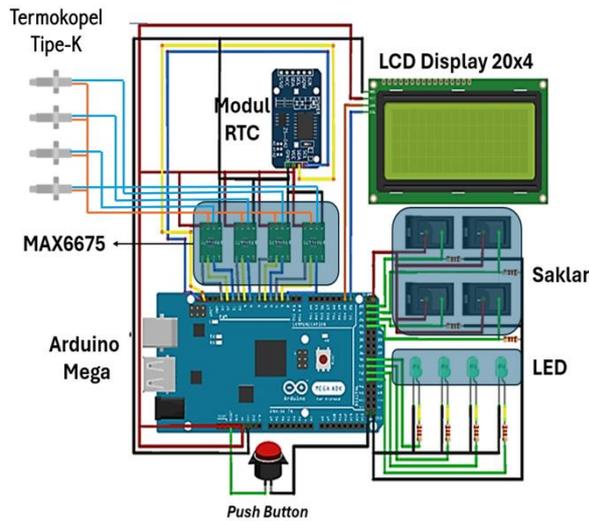
Desain Prototipe

Skema rancangan prinsip kerja dari prototipe digambarkan dalam diagram blok seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Prototipe

Sensor suhu termokopel tipe k menggunakan MAX6675 sebagai komponen pengubah sinyal termokopel menjadi digital dengan masukan data 12-bit ADC, ketika Arduino tersebut mendapat catu daya DC 12 V. Mikrokontroler tersebut berintegrasi untuk mengolah data dan mengalirkan arus pada komponen. Setelah diolah, akan ditampilkan pada LCD 20x4 dot-matrix untuk memudahkan petugas dalam memantau secara langsung hasil pembacaannya. Alat ini juga akan terhubung dengan Internet of Things dengan modul ESP32 untuk memudahkan petugas memantau temperatur secara jarak jauh (Pereira dkk., 2023). Namun, pada makalah ini tidak membahas pemanfaatan IoT karena masih dalam pengembangan. Skema rangkaian prototipe ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema rangkaian prototipe

Pengujian Prototipe

Sebelum dilakukan pengujian terhadap prototipe, Langkah awal yaitu menguji setiap sensor untuk mendapatkan koreksinya. Setelah didapatkan koreksinya, selanjutnya akan dimasukkan ke dalam mikrokontroler agar setiap pembacaan berikutnya merupakan nilai benar hasil koreksi. Dapat dilihat pada Gambar 4 untuk kondisi pengujian sensor yang dilakukan di Laboratorium Suhu Pusat Pembinaan Jabatan Fungsional Perdagangan.

Hasil pengujian prototipe ini dibandingkan dengan alat ukur yang sudah ada, yaitu *termohyrometer* dengan rentang suhu -20 °C – 70 °C dan rentang kelembapan 0–100 %. Pencatatan dilakukan pada kondisi pagi dan sore hari.

Karakteristik Pengukuran

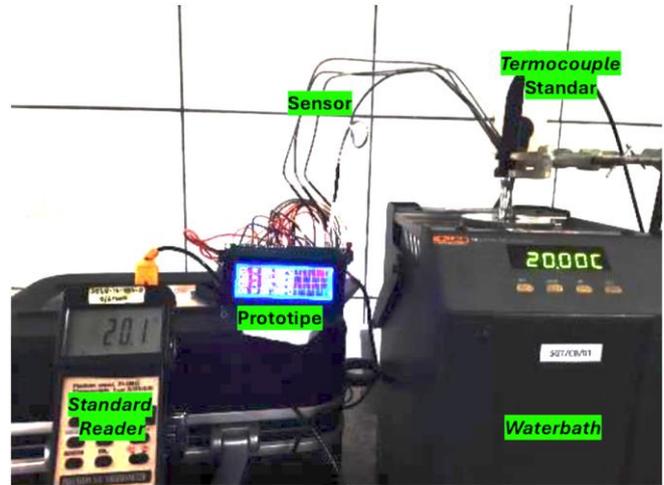
Karakteristik pengukuran (statis) yang akan dihitung yaitu : bias, akurasi, presisi dan kesalahan (A. Skoog dkk., 2017)

- a. Bias disebut juga dengan kesalahan sistematis yang diakibatkan oleh kesalahan dalam aspek metodologi
 $Bias = (Termohyrometer - Prototipe)$ (1)
- b. Akurasi mengacu pada kedekatan nilai yang diukur dengan nilai yang sebenarnya
 $Akurasi = \left(\frac{1-(Bias+3\sigma)}{Termohyrometer}\right) \times 100\%$ (2)
- c. Presisi menunjukkan kesesuaian beberapa data hasil pengukuran dengan input sama yang dilakukan secara berulang

$$Presisi = \left(\frac{1-3\sigma}{Termohyrometer}\right) \times 100\% \quad (3)$$

- d. Kesalahan menunjukkan perbedaan dengan nilai antara hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya

$$Error = \left(\frac{3\sigma+Bias}{Termohyrometer}\right) \times 100\% \quad (4)$$



Gambar 4. Kalibrasi sensor menggunakan termocouple standar

Di mana σ adalah standar deviasi. Sedangkan untuk perhitungan *budget* ketidakpastiannya menggunakan persamaan di bawah ini :

- a. *Repeatability*
 $U_{rep} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (5)

n adalah jumlah data

- b. Regresi
 $U_{reg} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}$ (6)

SSR adalah *Sum of Square Resgression*

- c. Resolusi
 $U_{res} = \frac{0,5 \times resolusi}{\sqrt{3}}$ (7)

- d. Standar
 $U_{std} = \frac{U_{sertifikat}}{k}$ (8)

- e. Ketidakpastian Gabungan
 $U_c = \sqrt{U_{rep}^2 + U_{reg}^2 + U_{res}^2 + U_{std}^2}$ (9)

- f. Derajat Bebas Efektif
 $V_{eff} = \frac{U_c^4}{\frac{U_{rep}^2}{9} + \frac{U_{reg}^2}{60} + \frac{U_{res}^2}{60} + \frac{U_{std}^2}{60}}$ (10)

- g. Ketidakpastian Bentangan
 $U_{95} = k \times V_{eff}$ (11)

k (faktor cakupan) ditentukan nilainya dengan V_{eff} dan table *t-student*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang akan disampaikan yaitu data hasil pengujian sensor termasuk *budget* ketidakpastiannya dan data pengujian prototipe yang dibandingkan dengan *termohyrometer* untuk kondisi pagi dan sore selama bulan Agustus Tahun 2023 serta karakteristik pengukurannya.

Hasil Pengujian Sensor

Data pengujian sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil koreksi sensor dengan standar

Nominal (°C)	Koreksi (°C)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
15	0,10	-0,88	-0,93	-1,30
16	0,05	-1,13	-0,93	-1,30
18	-0,20	-1,15	-0,90	-1,38
19	0,05	-0,98	-0,83	-1,21
20	-0,50	-1,00	-0,97	-1,35
23	0,52	-0,91	-0,48	-1,03
30	0,18	-0,40	-0,80	-0,95
40	-0,25	0,25	-0,60	-0,28
Rerata	-0,01	-0,77	-0,81	-1,10

Pada Tabel 1, hasil koreksi empat buah sensor (T₁, T₂, T₃, T₄) menggunakan termokopel standar dengan *water bath* sebagai pengondisian nominal temperaturnya. Rentang nominal dari 15 °C sampai 40 °C merupakan rentang temperatur yang dapat merepresentasikan kondisi lemari penyimpanan anak timbangan di UML Kabupaten Bandung Barat. Didapatkan rerata hasil koreksi untuk tiap sensor dengan nilai koreksi terendah -0,01 °C dan tertinggi -1,10 °C yang dapat dilihat pada Tabel 1. Adapun hasil perhitungan ketidakpastian (KP) bentangan untuk setiap sensor dapat dilihat pada Tabel 2..

Tabel 2. Ketidakpastian tiap sensor pada rentang nominal temperatur

Nominal (°C)	U ₉₅ (°C)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
15	0,53394	0,35243	0,56132	0,54498
16	0,52038	0,43195	0,43195	0,41351

18	0,62963	0,62963	0,83244	0,54754
19	0,69312	0,43195	0,40197	0,45650
20	0,36547	0,77073	0,93530	0,71149
23	0,61271	0,41717	0,66408	0,55908
30	0,53608	0,48378	0,38207	0,52147
40	0,93895	0,48378	0,68801	0,89621

Untuk sensor pertama (T₁) memiliki nilai KP terendah 0,52038 °C dan tertinggi 0,93895 °C. Untuk sensor kedua (T₂) memiliki nilai KP terendah 0,35243°C dan tertinggi 0,77073 °C. Untuk sensor ketiga (T₃) memiliki nilai KP terendah 0,38207 °C dan tertinggi 0,93530 °C. Untuk sensor keempat (T₄) memiliki nilai KP terendah 0,41351 °C dan tertinggi 0,89621 °C.

Hasil Pengujian Prototipe

Proses pengujian prototipe dilakukan pengambilan data pada bulan Agustus tahun 2023. Untuk pagi hari pengujian berada pada temperatur 23,10 °C dan pada sore hari temperatur di 25,80 °C. Kedua nilai temperatur ini tidak terdapat pada *set point* pengujian sensor menggunakan *water bath*. Sehingga, nilai koreksi yang digunakan merupakan nilai rata-rata koreksi untuk tiap termokopel hasil pengujian dengan standar pada Tabel 1. Hasil pengujian prototipe untuk kondisi pagi hari setiap pukul 7.40 dan karakteristik pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian prototipe di kondisi pagi hari

Tanggal	Termohyrometer	Prototipe (°C)			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	23,10	23,24	22,48	22,44	22,15
2	23,10	23,24	22,48	22,44	22,40
3	23,10	23,24	22,23	22,44	22,40
4	23,10	22,99	22,48	22,44	22,40
7	23,10	23,24	22,73	22,69	22,65
8	23,10	23,24	22,73	22,69	22,65
9	23,10	22,99	22,48	22,44	22,40
10	23,10	22,99	22,48	22,44	22,40
11	23,10	23,49	23,23	23,19	23,15
14	23,10	23,24	22,48	22,44	22,15
15	23,10	22,99	22,48	22,44	22,40

16	23,10	23,24	22,73	22,69	22,65
18	23,10	22,99	22,48	22,44	22,40
21	23,10	23,24	22,48	22,44	22,15
Rerata (°C)	23,10	23,16	22,58	22,56	22,48
Standar Deviasi (°C)	0,00	0,16	0,24	0,22	0,26
Bias (°C)		-0,06	0,52	0,54	0,62
Akurasi (%)		98	95	95	94
Presi (%)		98	97	97	97
Kesalahan (%)		2	5	5	6

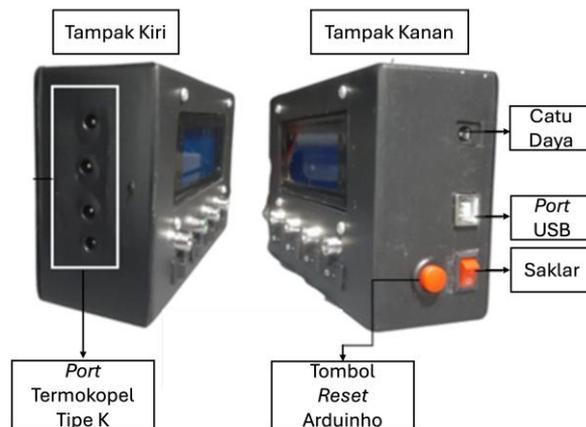
Sedangkan waktu pengambilan data kondisi sore hari pada pukul 15.30. Hasil pengujian prototipe pada sore hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian prototipe di kondisi sore hari

Tang gal	Term ohygr omet er	Prototipe (°C)			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	25,80	25,99	25,73	25,69	25,65
2	25,80	25,74	25,48	25,44	25,40
3	25,80	25,99	25,98	25,94	25,90
4	25,80	25,99	25,73	25,69	25,65
7	25,80	25,74	25,48	25,44	25,40
8	25,80	26,24	25,48	25,44	25,15
9	25,80	25,99	25,48	25,44	25,15
10	25,80	25,99	25,73	25,69	25,65
11	25,80	26,24	25,48	25,44	25,15
14	25,80	25,99	25,73	25,69	25,40
15	25,80	25,74	25,48	25,44	25,40
16	25,80	25,99	25,73	25,69	25,65
18	25,80	25,74	25,73	25,44	25,90
21	25,80	25,99	25,73	25,69	25,65
Rerata (°C)	25,80	25,95	25,63	25,57	25,50
Stand ar Devias i (°C)	0,00	0,17	0,16	0,17	0,26
Bias (°C)		-0,15	0,17	0,23	0,30
Akurasi (%)		97	97	97	96

Presi (%)	98	98	98	97
Kesalahan (%)	3	3	3	4

Hasil akhir bentuk prototipe pemantau temperatur ruang penyimpanan anak timbangan standar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk prototipe

Untuk perhitungan ketidakpastian prototipe pada saat pengukuran di pagi hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 5. Dengan budget ketidakpastian, yaitu: *repeatability*, regresi, resolusi, dan standar. Untuk nilai faktor cakupan (*k*) menggunakan hasil perhitungan derajat bebas efektif (V_{eff}).

Tabel 5. Ketidakpastian prototipe di pagi hari pada temperatur 23,10 °C

Budget Ketidak pastian	Prototipe (°C)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
U_{rep}	0,0076	0,0104	0,0097	0,0107
U_{reg}	0,1582	0,1957	0,1790	0,2092
U_{res}	0,0722	0,0722	0,0722	0,0722
U_{std}	0,0605	0,0604	0,0604	0,0604
U_c	0,1843	0,2174	0,2025	0,2296
V_{eff}	103,72	88,93	94,51	85,31
<i>K</i>	1,9833	1,9873	1,9855	1,9883

U_{95}	0,3655	0,4320	0,4020	0,4565
----------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Sedangkan untuk perhitungan ketidakpastian pada saat pengukuran di sore hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Ketidakpastian prototipe di sore hari pada temperatur 25,80 °C

Budget Ketidakpastian	Prototipe (°C)			
	T_1	T_2	T_3	T_4
U_{rep}	0,0284	0,0152	0,0094	0,0107
U_{reg}	0,2913	0,1872	0,1677	0,1854
U_{res}	0,0722	0,0722	0,0722	0,0722
U_{std}	0,0602	0,0604	0,0605	0,0604
U_c	0,3074	0,2100	0,1926	0,2082
V_{eff}	73,95	92,11	99,19	92,25
K	1,9930	1,9861	1,9842	1,9861
U_{95}	0,6127	0,4172	0,3821	0,4135

Pada pagi hari dengan temperatur 23,10 °C mendapatkan hasil ketidakpastian dengan rentang 0,37 °C – 0,45 °C. Sedangkan untuk kondisi sore hari dengan temperatur 25,80 °C mendapatkan hasil ketidakpastian dengan rentang 0,38 °C – 0,61 °C. Dengan melihat persyaratan pada syarat teknis yang berlaku, hasil ketidakpastian prototipe pada kondisi pagi hari sudah memenuhi syarat teknis. Sedangkan hasil ketidakpastian pada sore hari terdapat 1 (satu) buah termokopel yang nilainya melebihi ketentuan. Hal ini disebabkan terbatasnya ruangan yang dimiliki oleh UML KBB untuk posisi peletakan lemari penyimpanan anak timbangan standar. Pada pagi hari lemari penyimpanan tidak terkena sinar matahari, sedangkan pada sore hari ada beberapa bagian lemari yang terkena sinar matahari secara langsung. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada sore hari, perlu dilakukan perubahan peletakan lemari penyimpanan anak timbangan tersebut.

Prototipe hanya dapat digunakan sebagai alat pantau suhu ruang penyimpanan anak timbangan standar. Sedangkan untuk kelembapannya belum dapat menggunakan prototipe ini.

KESIMPULAN

Prototipe pemantau temperatur ruang penyimpanan anak timbangan standar berhasil dibuat dan digunakan oleh UML Kabupaten Bandung Barat. Nilai karakteristik pengukuran prototipe untuk akurasi memiliki rentang 94%-98%, presisi 97%-98%, dan kesalahan 2%-4%. Ketidakpastian bentangan prototipe memiliki rentang 0,37 °C – 0,46 °C pada pagi hari dengan temperatur 23,10 °C dan ketidakpastian bentangan memiliki rentang 0,38 °C – 0,61 °C pada sore hari dengan temperatur 25,8 °C. Hasil ini belum sepenuhnya memenuhi kriteria berdasarkan ketentuan syarat teknis yang berlaku karena selain prototipe hanya menggunakan sensor suhu nilai ketidakpastian prototipe yang sesuai syarat teknis hanya pada kondisi pagi hari. Pada ketentuan syarat teknis selain besaran temperatur juga diatur besaran kelembapannya. Syarat teknis mengatur nilai ketidakpastiannya pada rentang $\pm 0,5$ °C, hasil prototipe pada sore hari terdapat 1 (satu) buah termokopel yang nilainya melebihi ketentuan tersebut, yaitu sebesar 0,6127 °C.

REFERENSI

- A. Skoog, D., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.). Cengage Learning.
- Direktorat Metrologi. (2010). *Syarat Teknik Anak Timbangan Ketelitian Biasa dan Khusus*.
- Efendi, R., Herlina, H., Tando, A., Padang, W. L., Darwin, D., Mustafid, M. A., Rustami, E., Jayanegara, S., Irwansyah, I., & Harmiansyah, H. (2023). Alat Monitoring Suhu Berbiaya Rendah Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Menggunakan Sensor Adafruit MAX31856. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 9(1), 261–266. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v9i1.7627>
- Efendi, R., Mesin, J. T., Teknik, F., Cenderawasih, U., Mesin, J. T., Teknik, F., & Tenggara, U. S. (2023). Pengembangan Sistem Pembacaan Otomatis Berbasis Arduino Mega untuk Pengukuran Suhu dalam Praktikum Pindah Panas. *Jurnal*

- Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi, 9(2), 30–36.
- Firmansyah, V. (2018). Aplikasi kalman filter pada pembacaan sensor suhu untuk pemantauan kondisi ruangan laboratorium vera firmansyah†. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 08(01), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/jmie.v8i01.16624>
- Indarriyanti, H., Katrisna, N. W., Mustofa, I. A., Sistem, K., Kas, P., & Tera, R. (2022). Sistem Penerimaan Kas Retribusi Tera Atau Tera Ulang Pada Bidang Metrologi Dinas Perindustrian Dan Perdagangan Kabupaten Blitar. *Akuntabilitas: Jurnal Ilmu-Ilmu Ekonomi*, 14(2), 84–101.
- Megawati, W., Rochmani, R., & Khasanah, D. R. A. U. (2022). Aspek Perlindungan Masyarakat Sebagai Sarana Keefektifan Sanksi Pidana Bagi Pelaku Usaha Di Bidang Metrologi Legal. *Masalah-Masalah Hukum*, 51(3), 325–335. <https://doi.org/10.14710/mmh.51.3.2022.325-335>
- Nurti Lestari, A. M. S. (2022). Urgensi Pengawasan Metrologi Legal Dalam Mewujudkan Kabupaten Semarang yang Tertib Ukur. *Media Informasi Penelitian Kabupaten Semarang (SINOV)*, 4(1), 55–66.
- Nurti Lestari, R. W. P. (2020). Analisis Efisiensi, Efektifitas, dan Capaian Pelayanan UPTD Metrologi Legal Kabupaten Semarang. *Media Informasi Penelitian Kabupaten Semarang (SINOV)*, 3(1), 1–12.
- Perdagangan, K. (2014). Pengawasan Alat-alat Ukur Takar, Timbang, dan Perlengkapannya, Barang Dalam Keadaan Terbungkus, dan Satuan Ukuran. Dalam *Nomnor 71 Tahun 2014* (Nomor 1566).
- Perdagangan, K. (2017). Pengawasan Metrologi Legal. Dalam *Nomor 26 Tahun 2017*.
- Perdagangan, K. (2018). Tera dan Tera Ulang Alat-alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya. Dalam *Nomor 68 Tahun 2018*.
- Pereira, G. P., Chaari, M. Z., & Daroge, F. (2023). IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32. *Internet of Things*, 4(3), 221–243. <https://doi.org/10.3390/iot4030012>
- Rosadi, R., Akhmad Munjin, R., Goris Seran, G., & Studi Administrasi Publik, P. (2020). Kualitas Pelayanan Metrologi Legal Alat Timbang Pada Sektor Publik Service Quality of Legal Metrology of Weight Equipment in Public Sector. *Jurnal GOVERNANSI*, 6(2), 81–91.