

## Perancangan dan Implementasi Prototipe Sensor Termal Geomarine CTD 1.0 berbasis Arduino untuk Observasi *In-situ Lake Surface Water Temperature* (LSWT)

*Design and Implementation of Arduino-based Geomarine CTD 1.0 Thermal Sensor Prototype for In-situ Observation of Lake Surface Water Temperature (LSWT)*

Irena Hana Hariyanto\*<sup>1</sup>, Dinar Guruh Pratomo<sup>1</sup>, Khomsin Khomsin<sup>1</sup>, Muhammad Aldila Syariz<sup>1</sup>,  
Candida Aulia De Silva Nusantara<sup>1</sup>, Marga Putra Madani<sup>2</sup>, Muhammad Ardian Syah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Instrumentasi, FV-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: irena@its.ac.id

Diterima: 09012024; Diperbaiki: 07052024; Disetujui: 14052024; Dipublikasi: 10062024

**Abstrak:** Parameter suhu permukaan air danau atau *Lake Water Surface Temperature* (LSWT) merupakan salah satu indikator penting dalam pemantauan lingkungan perairan seperti sebagai parameter perubahan iklim dan kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia. Berbagai metode dalam penentuan LSWT telah diterapkan namun yang paling representatif adalah pengambilan secara *in-situ* menggunakan instrumen salah satunya *Conductivity, Temperature, Depth* (CTD). Faktor ketidakjangkauan harga dari alat tersebut secara komersil menjadi pertimbangan utama dalam penelitian ini. Prototipe yang dihasilkan terdiri atas sensor konduktivitas listrik (prinsip anoda-katoda) dan sensor temperatur dengan basis microcontroller Arduino Mega. Dengan mempertimbangkan studi kasus LSWT, maka penelitian ini dibatasi pada penggunaan sensor temperatur. Proses uji korelasi dan validasi juga telah dilakukan dengan mengacu pada instrumen CTD komersil yang telah diketahui tingkat akurasi. Pengambilan data lapangan tersebut dilaksanakan di Waduk Selorejo, Kabupaten Malang. Nilai temperatur antara prototipe dan CTD komersil memiliki rata-rata selisih absolut sebesar 0,12°C. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa tingkat hubungan bacaan protipe dengan data validasi berkorelasi kuat (95,9%). Selain itu pada uji validasi menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) menunjukkan bahwa hasil bacaan sensor temperatur pada prototipe memiliki penyimpangan sebesar 0,308°C sehingga dapat dikategorikan rendah. Oleh karena itu, prototipe ini dapat digunakan untuk aplikasi *in-situ* LSWT. Namun demikian, pengembangan produk dari prototipe ini tetap dibutuhkan untuk memaksimalkan potensi dan mengurangi ketergantungan terhadap instrumen lainnya.

Copyright © 2024 Geoid. All rights reserved.

**Abstract:** The *Lake Water Surface Temperature* (LSWT) parameter is an important indicator in monitoring the aquatic environment, such as a parameter for climate change and environmental damage due to human activities. Various methods for determining LSWT have been proposed, but the most representative is *in-situ* collection using instruments, one of which is *Conductivity, Temperature, Depth* (CTD). The commercial unaffordability of this tool is the main consideration in this research. The prototype version consists of an electrical conductivity sensor (anode-cathode principle) and a temperature sensor. By considering case studies, this research is limited to the use of temperature sensors. This research builds a CTD prototype system for the LSWT case study based on the Arduino Mega microcontroller. The correlation and validation test process has also been carried out with reference to commercial CTD instruments whose level of accuracy is known. Field data collection was carried out at the Selorejo Reservoir, Malang Regency. The temperature value between the prototype and commercial CTD has an average absolute difference of 0.12°C. The correlation test results show that the level of correlation between the prototype readings and the validation data is strongly correlated (95.9%). Apart from that, the validation test using *Root Mean Square Error* (RMSE) shows that the temperature sensor reading results have a deviation of 0.308°C which can be categorized as low. Therefore, this prototype can be used for *In-situ* LSWT applications. However, product development from this prototype is still needed to maximize potential and reduce dependence on other instruments.

Kata kunci: Prototipe; CTD; Arduino; *Lake Surface Water Temperature*

---

Hariyanto, I. H., Pratomo, D. G., dkk. (2024). Perancangan dan Implementasi Prototipe Sensor Termal Geomarine CTD 1.0 berbasis Arduino untuk Observasi In-situ Lake Surface Water Temperature (LSWT). *Geoid*, 19(2), 212-223.

---

## Pendahuluan

Temperatur permukaan air danau atau *Lake Surface Water Temperature* (LSWT) adalah suhu air pada lapisan teratas perairan danau yang utamanya diukur pada kedalaman 0-1 meter dari permukaan air (Sharm dkk., 2015; Zhu dkk., 2023). Parameter suhu permukaan air merupakan salah satu indikator penting dalam pemantauan lingkungan perairan. Fluktuasi sifat fisik perairan danau tersebut dapat mengindikasikan pengaruh perubahan iklim dan aktivitas manusia terhadap lingkungan secara temporal (Dokulil dkk., 2021; L. Wang dkk., 2022). Faktor tersebut juga dapat mempengaruhi ekologi perairan seperti: kualitas air (Lee, Lee, Cha, Min, & Park, 2023), ketahanan organisme perairan (Kazmi, Wang, Cai, & Wang, 2022), serta karakteristik kimia pada perairan (Gule, Lemma, & Hailu, 2023).

Observasi LSWT dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan: estimasi melalui model matematis, pengukuran menggunakan satelit penginderaan jauh, dan pengambilan data secara *in-situ*. Estimasi menggunakan model matematis memberikan kemudahan dalam menganalisis secara *time series* (baik dalam skala harian, bulanan, maupun tahunan). Metode ini kompatibel untuk *monitoring* perubahan lingkungan perairan danau secara berkelanjutan (Kayastha dkk., 2023; Piotrowski, Napiorkowski, & Zhu, 2023; Staples, Richardson, Neville, & Oosthuizen, 2023; Zwart dkk., 2023). Metode pengukuran menggunakan satelit penginderaan jauh (*satellite-derived surface water temperature*) sesuai untuk penelitian LSWT pada perairan danau yang luas (Javaheri, Babbar-Sebens, & Miller, 2016; Zeng dkk., 2023). Untuk menghindari kontaminasi dari pengaruh daratan, rekomendasi luasan danau diperkirakan  $10 \times 10$  km persegi (Sharma dkk., 2015). Baik metode model matematis maupun satelit penginderaan jauh, luaran yang dihasilkan tetap membutuhkan data LSWT *in-situ* untuk proses kalibrasi dan validasi. Observasi secara langsung di lapangan tersebut dapat menggunakan beberapa instrumen, salah satunya yakni instrumen *Conductivity, Temperature, Depth* (CTD).

CTD merupakan instrumen hidro-oseanografi hasil integrasi sensor-sensor konduktivitas, temperatur, dan kedalaman. Data observasi yang dihasilkan antara lain: kadar salinitas air dari pendekatan konduktivitas listrik, suhu atau temperatur, dan tekanan air yang direpresentasikan oleh bacaan pada sensor kedalaman (J. Wang dkk., 2023). Pada umumnya, pengambilan data tersebut dilakukan secara *downcast* melalui wahana apung dari permukaan air hingga pada kedalaman tertentu. Selain itu, CTD dapat menyesuaikan penambahan sesor yang diperlukan seperti sensor klorofil, pH, dan *dissolved oxygen*. Data salinitas, termperatur, dan tekanan hasil akuisisi CTD dapat menjadi input dari perhitungan cepat rambat gelombang akustik di dalam air. Instrumen ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena dapat merepresentasikan parameter fisik perairan secara langsung serta penggunaannya dalam berbagai aspek. Meskipun demikian, alat ini memiliki kekurangan seperti harganya yang mahal dan berukuran cukup besar (Chakravartula dkk., 2022).

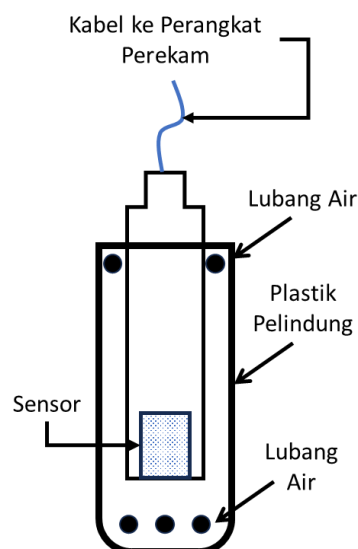
Pada penelitian terdahulu, instrumen serupa CTD pernah dibangun menggunakan komponen fiber optik (Duraibabu et al., 2017): *Extrinsic Fabry Perot interferometer* (EFPI) untuk sensor tekanan dan *Fibre Bragg Gratings* (FBG) untuk sensor temperatur. Komponen utama penyusun sensor-sensor tersebut adalah gelas sehingga tahan akan korosi terhadap air laut dan struktur sensor yang stabil. Meskipun demikian, pemeliharaan komponen cukup rumit. Apabila terjadi pembelokan (*bending*), maka transmisi sinyal akan terganggu. Selain itu, komponen fiber optik tidak dapat didapatkan secara komersil dengan mudah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun prototipe CTD berbasis ardurino yang diintegrasikan dengan sensor-sensor salinitas dan temperatur. Prototipe ini menggunakan pelindung berbasis plastik sehingga akan terhindar dari korosi dan cukup ringan untuk diaplikasikan pada observasi *in-situ Lake Surface Water Temperature* (LSWT).

## Data dan Metode

Penelitian ini terdiri atas penyusunan rancang bangun perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Selanjutnya prototipe CTD akan diuji parameter temperturnya berdasarkan aplikasi pada studi kasus *Lake Surface Water Temperature* (LSWT). Pengujian alat itu sendiri dilaksanakan di Waduk Selorejo, Kabupaten Malang, Jawa Timur dengan koordinat  $7^{\circ}52'04,49''$  -  $7^{\circ}52'35,57''$  LS dan  $112^{\circ}21'25,29''$  -  $112^{\circ}21'56,00''$  BT (Gambar 1). Pada pengujian validasi terhadap CTD Komersil, penelitian ini mengambil 23 titik sampel yang tersebar di lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Aplikasi Lake Surface Water Temperature (LSWT)

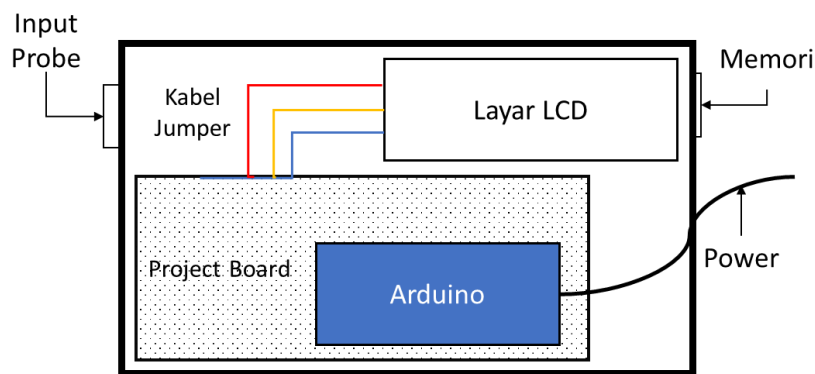


Gambar 2. Desain Probe: Sensor Konduktivitas dan Sensor Temperatur

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian: *probe* dan perangkat perekam. Untuk prototipe ini sensor utama yang digunakan yakni sensor konduktivitas dengan prinsip anoda – katoda serta sensor temperatur DS18B20. Prinsip kerja sensor konduktivitas yang selanjutnya dikonversi menjadi parameter salinitas berprinsip pada *Electro Conductivity* (EC) fluida dengan satuan part per mil (ppm). Sensor

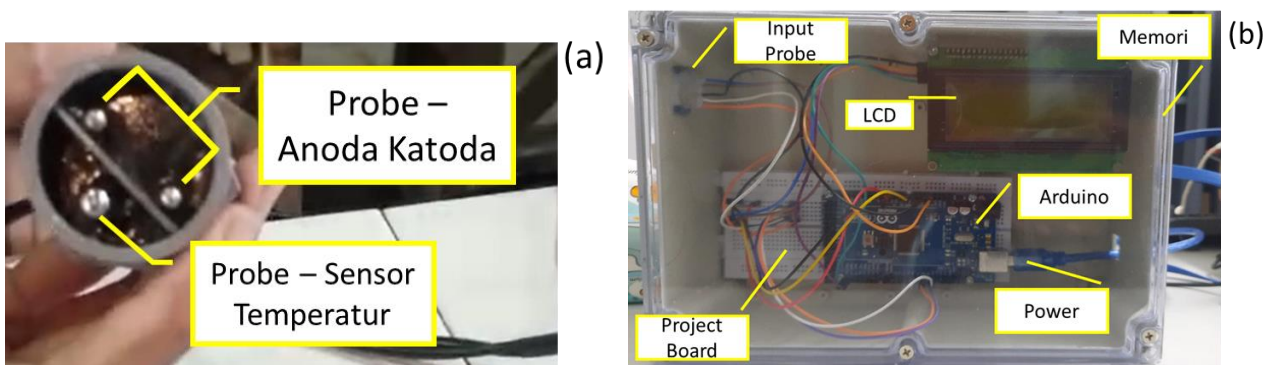
temperatur yang digunakan dalam panelitian ini bersifat tahan air (*waterproof*) dan cukup terjangkau secara komersil. Satuan untuk temperatur air yang terbaca yakni derajat Celsius. Desain probe dapat dilihat pada Gambar 2 dimana pelindung sensor terbuat dari bahan plastik yang tahan korosi. Selain itu, terdapat lubang air bagian atas dan bawah agar memiliki sirkulasi air pada sensor. Pada bagian atas sensor, terdapat kabel yang terlindungi untuk menghubungkan probe ke perangkat perekam.

Perangkat keras selanjutnya yakni perangkat perekam (*recording unit*). Perangkat ini bertujuan untuk menerima sinyal hasil bacaan *probe*, menampilkan pada layar, serta menyimpan hasil bacaan pada memori. Oleh karena itu, perangkat ini memerlukan modul dan kartu SD-Card. Pemilihan SD-Card dirasa cukup untuk prototipe ini namun tidak menutup kemungkinan selanjutnya dapat dikembangkan menggunakan modul telemetri. *Power* atau energi listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan perangkat ini beserta *probe* cukup rendah yakni 5 Volt tegangan listrik dan 2 Ampere arus listrik. *Power* tersebut dapat didapatkan menggunakan kabel USB yang didesain terhubung dengan prototipe.



Gambar 3. Desain Perangkat Perekam

Perangkat dirancang menggunakan pengendali mikro berupa Arduino Mega 2560 Pro. Terdapat beberapa jenis Arduino: Arduino Uno, Arduino Due, Arduino Mega, dan Arduino Nano. Jenis *open source microcontroller* yang digunakan pada perangkat ini memiliki perbedaan dengan jenis lainnya yakni utamanya memiliki storage yang cukup yakni ROM sebesar 256 KB, RAM sebesar 8 KB, dan EEPROM sebesar 4 KB (Kondaveeti, Kumaravelu, Vanambathina, Mathe, & Vappangi, 2021). Seperti terlihat pada Gambar 3, Arduino terhubung pada *project board* yang mengintegrasikan antara sensor konduktivitas dan temperatur. Selain itu, Arduino juga terhubung pada layar LCD untuk menampilkan hasil bacaan saat perekaman data. Hubungan antara Arduino dengan kedua sensor tersebut membutuhkan resistor untuk dapat mengendalikan arus. Hubungan *microcontroller* dengan sensor konduktivitas membutuhkan resistor sebesar 1k ohm sedangkan untuk sensor temperatur membutuhkan 4,7k ohm.



Gambar 4. (a) Realisasi Prototipe Probe Sensor; (b) Realisasi Prototipe Perangkat Perekam

Aktivasi *microcontroller* Arduino Mega memerlukan pemrograman pada aplikasi Arduino IDE. *Library* yang diperlukan antara lain: OneWire dan DallasTemperature (Ratcliffe, 2015). Kedua *library* diperlukan untuk

aktivasi sensor temperatur serta mengkonversi hasil bacaan konduktivitas (berasal dari sensor anoda-katoda) menjadi salinitas dengan satuan ppm.

Meningkatnya temperatur dapat mengurangi tingkat viskositas air dan dapat meningkatkan pergerakan ion yang disebabkan oleh penguraian molekul (Barron & Ashton, 2005). Karena nilai konduktivitas berkaitan erat dengan faktor tersebut, maka dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan konduktivitas yang berarti kadar salinitas juga akan meningkat. Oleh karena itu, perlu ditentukan koefisien temperatur pada jenis perairan tertentu yang didasarkan pada komponen kimia. Pada umumnya, penelitian mengenai konduktivitas air dilaksanakan pada temperatur air sebesar 25°C (Tabel 1).

Tabel 1. Variasi Koefisien Temperatur (Barron & Ashton, 2005)

Kandungan dalam Air	Variasi Koefisien Temperatur pada Suhu 25°C (%/°C)
Air sangat jernih	5,5
NaOH 5%	2,01
NaOH 30%	4,50
HCl 5%	1,58
HCl 30%	1,52
KCl 5%	2,01
KCl 20%	1,68
Air Tawar	~2,0

Pada *library* yang digunakan, parameter variasi koefisien temperatur yang tercatat tersebut dianggap linear dengan perubahan nilai konduktivitas air. Nilai tersebut bereferensi pada suhu 25°C dan temperatur di kedalaman perairan yang diukur. Secara matematis, perbandingan tersebut ditampilkan pada Persamaan 1.

$$\alpha_{\theta,25} = \frac{\kappa_{\theta} - \kappa_{25} \times 100}{\kappa_{25}(\theta - 25)} \quad (1)$$

Dimana  $\theta$  dan 25°C merupakan temperatur saat konduktivitas  $\kappa_{\theta}$  dan  $\kappa_{25}$  diukur pada kedalaman tertentu. Perlu dipastikan bahwa *library* tersebut hanya dapat menghasilkan nilai yang tepat apabila besar sumber listrik yang digunakan dalam prototipe sesuai dengan spesifikasi.

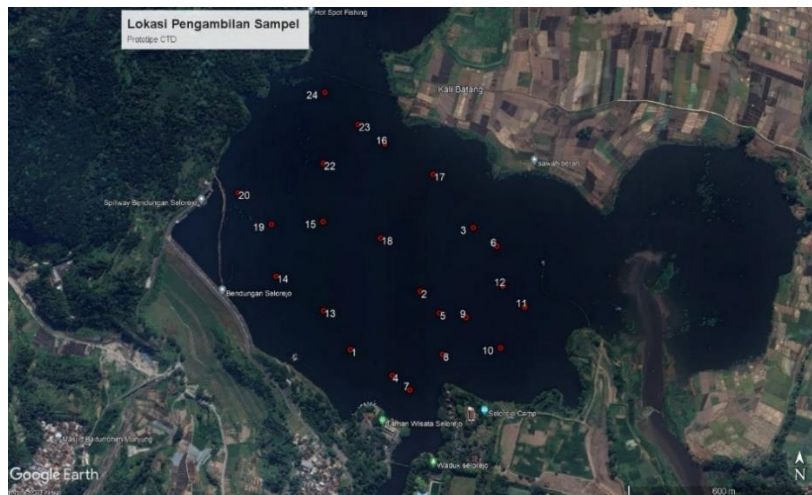


Gambar 5. Pengambilan Data di Lapangan

Pengambilan sampel temperatur dilaksanakan pada 23 titik di area penelitian (Gambar 6 dan Gambar 7). Titik sampel tersebut tersebar di area penelitian secara merata berdasarkan lajur survei kapal. Temperatur yang

diukur memiliki kedalaman kurang lebih 50 cm dari permukaan air yang mana tetap memenuhi kriteria LSWT (layer permukaan). Hal tersebut dapat dipastikan pada kedalaman yang sama pada setiap titik sampelnya mengikuti penanda yang telah diberikan. Nilai sampel titik tersebut merepresentasikan nilai rata-rata pengambilan data pada 7-15 data rekaman.

Pada saat yang sama, diambil pula sampel temperatur yang diambil menggunakan instrumen CTD komersil yang kemudian akan digunakan sebagai data validasi. Meskipun terdapat dua sensor pada prototipe (konduktivitas dan temperatur), pada penelitian ini berfokus pada hasil bacaan temperatur di area layer permukaan. Hal tersebut dikarenakan tujuan penelitian yang berfokus pada studi kasus *Lake Surface Water Temperature (LSWT)*.



Gambar 6. Sebaran Lokasi Pengambilan Titik Sampel oleh Prototipe CTD



Gambar 7. Sebaran Lokasi Pengambilan Titik Sampel oleh CTD Komersil

Uji statistik yang digunakan pada penelitian ini yakni antara lain: regresi linear untuk mengetahui model *line of best-fit* antara kedua data yang diambil, uji determinasi dan korelasi untuk mengetahui tingkat hubungan, serta uji akurasi menggunakan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Persamaan untuk mengetahui garis regresi secara sederhana melalui Persamaan 2 di bawah ini (Harlan, 2018).

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x = (\bar{y} - b_1 \cdot \bar{x}) + \left(\frac{S_{xy}}{S_x^2}\right) \cdot x \tag{2}$$

Dimana  $\hat{y}$  adalah nilai model / prediksi,  $x$  adalah nilai variabel independent,  $\bar{x}$  nilai rata-rata variabel independent,  $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata variabel dependen,  $S_{xy}$  adalah nilai kovarians, dan  $S_x^2$  merupakan nilai variansi variabel independent. Variable dalam menentukan *line of best-fit* tersebut juga berkaitan dengan penentuan nilai variabel determinasi dan korelasi. Korelasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Koefisien Korelasi Pearson yang persamaannya dapat dilihat pada Persamaan (3) berikut (Sarwono, 2006).

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \times \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{N}}} \quad (3)$$

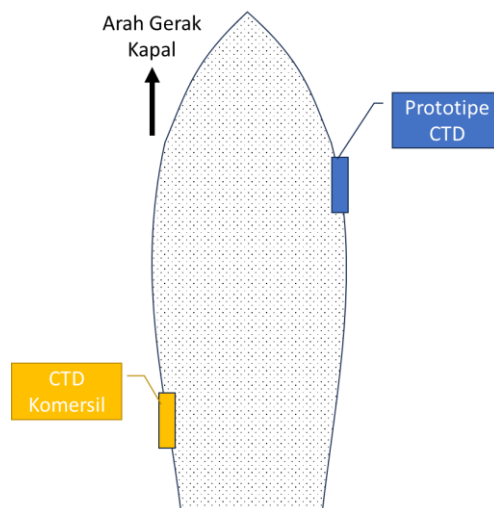
Variabel N yang adalah jumlah data atau jumlah titik observasi. Sedangkan variabel determinasi merupakan hasil kuadrat dari nilai koefisien korelasi tersebut. Uji selanjutnya yang diaplikasikan pada penelitian ini yakni *RMS Error* yang menggunakan nilai-nilai hasil bacaan CTD Komersil sebagai nilai acuan yang dianggap benar. Persamaan *RMS Error* dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$RMS\ Error = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{N}} \quad (4)$$

Pada Persamaan 4 tersebut,  $y$  yang dimaksud adalah nilai prediksi yang mana berarti nilai temperatur hasil bacaan prototipe CTD. Sedangkan  $\hat{y}$  adalah nilai acuan dimana pada penelitian ini merupakan nilai CTD Komersil.

## Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data temperatur menggunakan prototipe dan CTD komersil dilaksanakan secara bersamaan pada wahana perahu yang sama. Peletakan kedua sensor dapat dilihat pada sketsa Gambar 7 berdasarkan kolom ID. Hal tersebut bertujuan agar hasil data yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi yang sama pada waktu yang sama pula. Untuk menuju lokasi yang diinginkan, desain lokasi pengambilan data telah ditampilkan pada aplikasi spasial dengan mengkombinasikan dengan penggunaan *Global Navigation Satellite System* (GNSS).



Gambar 7. Sketsa Posisi Prototipe CTD dan CTD Komersil Pada Wahana Apung

Hasil bacaan survei menggunakan prototipe CTD ditampilkan pada Tabel 2 di bawah ini. Koordinat yang ditampilkan merupakan koordinat proyeksi menggunakan UTM Zona 49S dengan sistem datum WGS 84. Data temperatur yang ditampilkan merupakan hasil rata-rata dari pengambilan 7-15 data pengukuran pada satu titik/lokasi. Tercatat bahwa terdapat 23 titik pada lokasi penelitian dengan rata-rata temperatur air permukaan pada lokasi penelitian sebesar 25,38°C.

Tabel 2. Hasil Bacaan Prototipe CTD

ID	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	Temperatur (°C)
1	649951,84	9129234,27	25,35
2	650171,54	9129419,34	25,16
3	650336,68	9129622,54	25,35
4	650084,74	9129155,85	25,09
5	650231,60	9129352,23	25,13
6	650411,75	9129564,63	25,29
7	650140,57	9129110,84	25,09
8	650243,29	9129223,20	25,04
9	650316,18	9129339,39	25,03
10	650425,79	9129245,60	25,01
11	650501,43	9129374,77	25,15
12	650432,16	9129439,72	25,21
13	649865,08	9129355,19	25,45
14	649713,31	9129461,93	25,61
15	649858,92	9129636,42	25,48
16	650051,81	9129885,56	25,66
17	650207,51	9129790,16	25,52
18	650042,84	9129585,76	25,29
19	649694,70	9129625,43	25,71
20	649585,81	9129725,10	25,96
22	649857,14	9129821,51	25,61
23	649966,29	9129946,97	25,68
24	649857,67	9130048,87	25,96

Hasil bacaan CTD komersil ditampilkan pada Tabel. Perlu diketahui bahwa pada CTD komersil yang digunakan sebagai data validasi berikut memiliki tingkat akurasi sebesar  $0,05^{\circ}\text{C}$  dengan resolusi bacaan sebesar  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Dengan akurasi demikian, maka dianggap alat ini dapat digunakan sebagai data validasi bacaan temperatur prototipe CTD. Koordinat hasil bacaan pada CTD komersil telah diproyeksi dengan sistem proyeksi yang sama seperti bacaan prototipe. Hasil bacaan temperatur pada keseluruhan titik sampel memiliki rata-rata sebesar  $25,29^{\circ}\text{C}$  dengan total titik survei sebanyak 23 titik.

Hasil plot lokasi kedua alat ditampilkan pada Gambar 8. Selisih perbedaan lokasi perekaman tetap terdeteksi. Hal tersebut dapat dikarenakan oleh pergerakan perahu yang disebabkan oleh angin. Saat pengambilan data, perlu diketahui bahwa kondisi cuaca di lapangan berawan dan berangin. Pada akhir waktu pengambilan data terjadi hujan intensitas ringan. Tujuan dari koordinat yang diambil menggunakan koordinat hasil sistem proyeksi dengan satuan meter adalah untuk memudahkan dalam analisis perbedaan koordinat antara prototipe CTD dengan CTD komersil. Hal tersebut perlu dilakukan karena untuk meninjau tingkat perwakilan temperatur terhadap lokasi yang diambil mengingat media yang diukur adalah air yang bersifat dinamis. Dari hasil analisis, rata-rata perbedaan koordinat bacaan antara kedua alat adalah sekitar 17 meter.

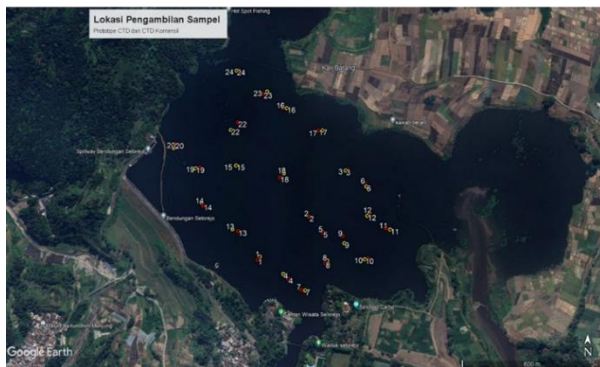
Pada analisis perbedaan temperatur layer permukaan (LSWT) kedua alat memiliki selisih nilai (Tabel 4). Rata-rata selisih absolut pada keseluruhan titik yang diambil tersebut adalah sebesar  $0,12^{\circ}\text{C}$  dengan selisih terbesar di Titik ID 6 dan ID 12 dengan selisih sebesar  $0,29^{\circ}\text{C}$ . Uji akurasi pada penelitian ini termasuk: regresi, uji determinasi dan korelasi, dan uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Kedua jenis data yang dihasilkan merupakan data temperatur yang memiliki bobot sama karena parameter waktu dan lokasi pengambilan data dilakukan bersamaan. Sehingga, untuk mengetahui model *line of best-fit* menggunakan regresi linear dan didapatkan hasil persamaan modelnya yakni  $y = 1,1513x - 3,937$ . Pada model tersebut, didapatkan nilai



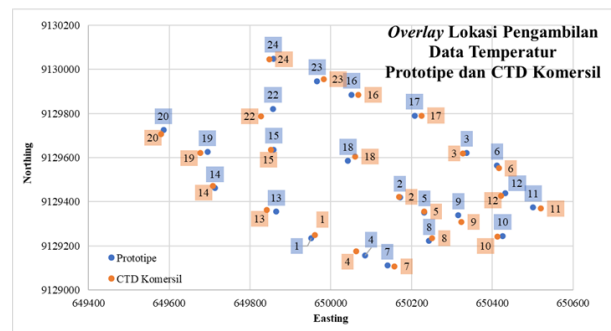
variabel determinasi ( $R^2$ ) adalah sebesar 0,920 dan nilai korelasinya ( $R$ ) sebesar 0,959. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Jaya, 2010), nilai korelasi yang dihasilkan dapat diklasifikasikan pada kelas korelasi hubungan sangat erat atau sangat kuat.

Tabel 3. Hasil Bacaan CTD Komersil

ID	Easting (m)	Northing (m)	Temperatur (°C)
1	649961,02	9129248,27	25,30
2	650169,60	9129422,26	25,08
3	650326,96	9129618,94	25,30
4	650063,10	9129176,12	24,99
5	650231,43	9129356,10	24,92
6	650416,59	9129551,62	25,00
7	650157,97	9129107,78	24,86
8	650250,96	9129234,91	24,86
9	650323,95	9129309,07	24,88
10	650412,23	9129241,97	24,94
11	650520,53	9129369,10	25,13
12	650421,65	9129426,78	24,92
13	649841,24	9129363,45	25,48
14	649708,01	9129471,70	25,51
15	649852,34	9129635,46	25,45
16	650068,45	9129885,27	25,54
17	650224,28	9129790,90	25,42
18	650060,52	9129604,93	25,26
19	649677,48	9129621,58	25,81
20	649580,33	9129707,63	26,07
22	649827,36	9129788,12	25,48
23	649982,12	9129956,56	25,69
24	649847,69	9130046,18	25,75



(a)

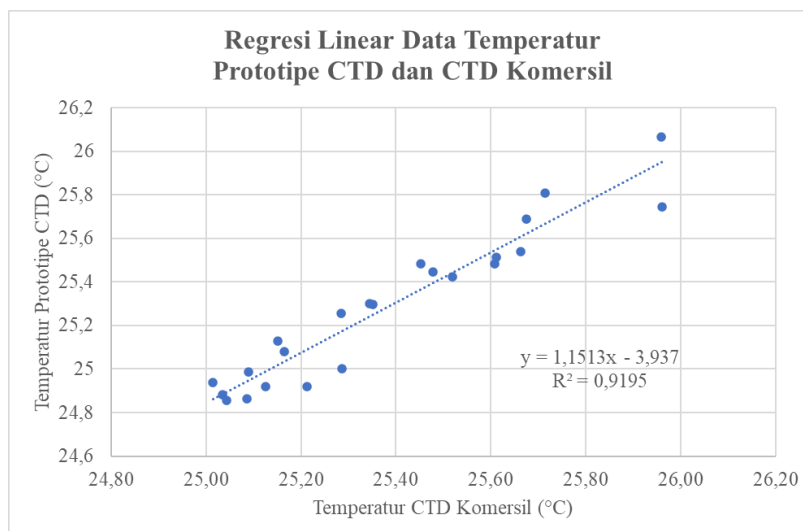


(b)

Gambar 8. Perbedaan Lokasi Pengambilan Data Temperatur Prototipe CTD dan CTD Komersil: (a) Dengan *Basemap* Citra, (b) Berdasarkan Plot Koordinat

Tabel 4. Perbandingan Data Temperature antara Prototipe CTD dengan CTD Komersil pada LSWT

ID	Temperatur Prototipe CTD (°C)	Temperatur CTD Komersil (°C)	Selisih (°C)
1	25,35	25,30	0,05
2	25,16	25,08	0,08
3	25,35	25,30	0,05
4	25,09	24,99	0,10
5	25,13	24,92	0,21
6	25,29	25,00	0,29
7	25,09	24,86	0,23
8	25,04	24,86	0,18
9	25,03	24,88	0,15
10	25,01	24,94	0,07
11	25,15	25,13	0,02
12	25,21	24,92	0,29
13	25,45	25,48	-0,03
14	25,61	25,51	0,10
15	25,48	25,45	0,03
16	25,66	25,54	0,12
17	25,52	25,42	0,10
18	25,29	25,26	0,03
19	25,71	25,81	-0,10
20	25,96	26,07	-0,11
22	25,61	25,48	0,13
23	25,68	25,69	-0,01
24	25,96	25,75	0,21



Gambar 9. Plot Regresi Linear Data Temperatur Prototipe CTD dan CTD Komersil

Uji akurasi menggunakan RMSE menghasilkan nilai sebesar 0,308°C. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai penyimpangan cukup kecil karena mendekati nilai nol (0). Oleh karena itu, alat prototipe ini dapat dikatakan sesuai untuk observasi *Lake Surface Water Temperature* (LSWT).

## Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk membangun suatu prototipe CTD yang diaplikasikan pada studi kasus *Lake Surface Water Temperature* (LSWT). Sistem prototipe berbasis Arduino dengan memanfaatkan sensor temperatur dan konduktivitas listrik untuk merepresentasikan nilai salinitas. Proses pengujian prototipe

dilaksanakan dengan cara melakukan uji akurasi terhadap CTD komersil yang telah diketahui tingkat akurasinya. Proses pengujian ini yakni dengan mengambil data temperatur perairan pada kedalaman sekitar 0,5 meter (*surface layer*) di perairan Waduk Selorejo, Kabupaten Malang. Penentuan posisi horizontal selama pengambilan data telah sesuai dengan desain dengan menggunakan peralatan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) pada wahana survei. Hasil analisis koordinat menunjukkan bahwa terdapat perbedaan koordinat antara prototipe CTD dengan CTD komersil adalah sekitar 17 meter. Hal tersebut dikarenakan faktor cuaca yang berangin saat pengambilan data. Pada hasil observasi temperatur permukaan air, diketahui bahwa rata-rata selisih absolut antara kedua alat yakni sebesar 0,12°C. Hasil akurasi menunjukkan bahwa prototipe memiliki tingkat korelasi yang erat dengan nilai validasi. Selain itu, parameter RMSE antara kedua alat menunjukkan nilai sebesar 0,308°C yang dapat dikategorikan rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa prototipe ini sesuai untuk diaplikasikan pada studi kasus mengenai *Lake Surface Water Temperature* (LSWT). Selain itu, beberapa pengembangan tetap dapat dilakukan untuk meningkatkan fungsi prototipe seperti peningkatan kualitas transfer data secara telemetri dan penambahan fitur deteksi lokasi agar memposisikan titik secara mandiri.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengapresiasi dan mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Inovasi dan Kawasan Sains Teknologi (DIKST) Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah membantu dalam proses penerbitan hak cipta prototipe ini kepada DJKI Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia dengan judul Geomarine CTD 1.0: Alat Pengukur Cepat Rambat Gelombang Akustik di Air Dangkal Berbasis Parameter Salinitas dan Temperatur. Dengan pengembangan lebih lanjut ke depan, prototipe ini berpotensi menjadi instrumen yang lebih bermanfaat. Selain itu, rasa terimakasih juga kami sampaikan kepada Perum Jasa Tirta 1 atas perizinan dan fasilitas yang diberikan saat pengambilan data di Waduk Selorejo, Kabupaten Malang.

### Daftar Pustaka

- Barron, J. J., & Ashton, C. (2005). The effect of temperature on conductivity measurement. *A Reagecon Technical Paper*, 7(3), 1-5.
- Chakravartula, V., Nandini, P., Narayanamorthi, R., Dooly, G., Duraibabu, D. B., & Dhanalakshmi, S. (2022, 21-24 Feb. 2022). Employing the Reflected Amplitude of a Fibre Bragg Grating Sensor for High Resolution Salinity and Depth Measurement. *Paper presented at the OCEANS 2022 - Chennai*.
- Dokulil, M. T., de Eyto, E., Maberly, S. C., May, L., Weyhenmeyer, G. A., & Woolway, R. I. (2021). Increasing maximum lake surface temperature under climate change. *Climatic Change*, 165(3), 56. doi:10.1007/s10584-021-03085-1
- Duraibabu, D. B., Leen, G., Toal, D., Newe, T., Lewis, E., & Dooly, G. (2017). Underwater Depth and Temperature Sensing Based on Fiber Optic Technology for Marine and Fresh Water Applications. *Sensors*, 17(6). doi:10.3390/s17061228
- Gule, T. T., Lemma, B., & Hailu, B. T. (2023). Evaluation of the physical, chemical, and biological characteristics of surface water in urban settings and its applicability to SDG 6: The case of Addis Ababa, Ethiopia. *Scientific African*, 21, e01744. doi:https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01744
- Harlan, J. (2018). Analisis regresi linear. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1-19.
- Javaheri, A., Babbar-Sebens, M., & Miller, R. N. (2016). From skin to bulk: An adjustment technique for assimilation of satellite-derived temperature observations in numerical models of small inland water bodies. *Advances in Water Resources*, 92, 284-298. doi:https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.03.012
- Jaya, I. G., Mindra. (2010). *Modul Praktikum Analisis Regresi Statistika*. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Kayastha, M. B., Liu, T., Titze, D., Havens, T. C., Huang, C., & Xue, P. (2023). Reconstructing 42 Years (1979&ndash;2020) of Great Lakes Surface Temperature through a Deep Learning Approach. *Remote Sensing*, 15(17). doi:10.3390/rs15174253
- Kazmi, S. S. U. H., Wang, Y. Y. L., Cai, Y.-E., & Wang, Z. (2022). Temperature effects in single or combined with chemicals to the aquatic organisms: An overview of thermo-chemical stress. *Ecological Indicators*, 143. doi:10.1016/j.ecolind.2022.109354

- Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364>
- Lee, D.-Y., Lee, D.-S., Cha, Y., Min, J.-H., & Park, Y.-S. (2023). Data-driven models for predicting community changes in freshwater ecosystems: A review. *Ecological Informatics*, 77, 102163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102163>
- Piotrowski, A. P., Napiorkowski, J. J., & Zhu, S. (2023). Novel Air2water Model Variant for Lake Surface Temperature Modeling With Detailed Analysis of Calibration Methods. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 553-569. doi:10.1109/JSTARS.2022.3226516
- Ratcliffe, M. (2015). Hacking the Way to Growing Food: Three Dollar EC - PPM Meter [Arduino]. *The Free Software Foundation*
- Sarwono, J. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sharma, S., Gray, D. K., Read, J. S., O'Reilly, C. M., Schneider, P., Quadrat, A., . . . Woo, K. H. (2015). A global database of lake surface temperatures collected by in situ and satellite methods from 1985–2009. *Scientific Data*, 2(1), 150008. doi:10.1038/sdata.2015.8
- Staples, K., Richardson, S., Neville, P. J., & Oosthuizen, J. (2023). An Improved Shallow Water Temperature Model for An Australian Tidal Wetland Environment Using Publicly Available Data. *Water*, 15(12). doi:10.3390/w15122221
- Wang, J., Zhou, X., Miao, Y., Jiang, G., Tong, L., Tao, P., . . . Peng, W. (2023). Integrated and compact fiber-optic conductivity-temperature-depth (CTD) sensor for marine detection. *Optics & Laser Technology*, 164, 109523. doi:<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.109523>
- Wang, L., Xu, B., Zhang, C., Fu, G., Chen, X., Zheng, Y., & Zhang, J. (2022). Surface water temperature prediction in large-deep reservoirs using a long short-term memory model. *Ecological Indicators*, 134. doi:10.1016/j.ecolind.2021.108491
- Zeng, F., Song, C., Cao, Z., Xue, K., Lu, S., Chen, T., & Liu, K. (2023). Monitoring inland water via Sentinel satellite constellation: A review and perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 204, 340-361. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.09.011>
- Zhu, S., Ptak, M., Sojka, M., Piotrowski, A. P., & Luo, W. (2023). A simple approach to estimate lake surface water temperatures in Polish lowland lakes. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 48. doi:10.1016/j.ejrh.2023.101468
- Zwart, J. A., Diaz, J., Hamshaw, S., Oliver, S., Ross, J. C., Sleckman, M., . . . White, E. (2023). Evaluating deep learning architecture and data assimilation for improving water temperature forecasts at unmonitored locations. *Frontiers in Water*, 5. doi:10.3389/frwa.2023.1184992



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).