Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 21, Nomor 1, Februari 2024
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Alat Ukur Parameter Iklim Mikro (Temperatur, Kelembapan, dan Intensitas Cahaya Matahari) untuk Daerah Pesisir Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Ahmad Zarkasi*), Kholis Nurhanafi, Syahrir

Laboratorium Elektronika dan Instrumenasi, Prodi Fisika, Jurursan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Email korespodensi : ahmad.zarkasi@fmipa.unmul.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v21i1.17929
Submitted: 3rd December, 2023; *Accepted*: 12nd February, 2024

ABSTRAK- Parameter iklim seperti temperatur, kelembapan udara, dan intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi berbagai hal pada lingkungan dan komponen-komponennya seperti vegetasi, hewan, dan manusia. Pada penelitian ini, telah dibuat sebuah alat ukur parameter iklim berbasis *Internet of Things* (IoT). Penggunaan sistem IoT menawarkan fleksibilitas dan kemudahan akses bagi pengamat untuk melakukan pemantauan. Alat ukur yang dirancang telah diuji dan dibandingkan dengan alat ukur terstandar yaitu Mastech MS6300 Environment Multitester. Hasil pengujian menunjukkan nilai akurasi sebesar 97,1%, 95,1%, dan 87,2% berturut-turut untuk pengukuran temperatur, kelembapan udara, dan intensitas cahaya matahari. Hasil perancangan alat ukur diimplementasikan pada daerah pesisir (pantai). Dari hasil yang didapatkan, ketiga parameter yang diukur cenderung stabil pada pagi hari, sore hari, dan malam hari. Sedangkan, pada siang hari parameter iklim yang diukur cukup fluktuatif. Secara umum, alat ukur yang didesain telah dapat bekerja dengan baik dan layak untuk diterapkan secara langsung.

KATA KUNCI: iklim mikro, IoT, kelembapan, intensitas cahaya, temperatur.

ABSTRACT− Climate parameters such as temperature, humidity, and solar light intensity can affect various things in the environment and its components such as vegetation, animals, and humans. In this research, an internet of things (IoT)-based climate parameter measurement tool has been created. The use of IoT systems offers flexibility and ease of access for observers to conduct monitoring. The designed measuring instrument has been tested and compared with a standardized measuring instrument, namely the Mastech MS6300 Environment Multitester. The test results show accuracy values of 97.1%, 95.1%, and 87.2% for temperature, humidity, and sunlight intensity measurements, respectively. The results of the measuring instrument design are implemented in coastal areas (beaches). From the results obtained, the three parameters measured tend to be stable in the morning, afternoon, and evening. Meanwhile, during the afternoon the measured climate parameters are quite fluctuating. In general, the designed measuring instrument has been able to work well and is feasible to be implemented directly.

KEYWORDS: micro-climate, IoT, humidity, light intensity, temperature.

PENDAHULUAN

Teknologi alat ukur berkembang sangat pesat, bermula dari mekanisme analog sampai dengan mekanisme elektronik dengan sistem-sistem sensor. Hal ini juga didukung dengan kemunculan internet yang memungkinkan untuk melakukan atau melihat hasil pengukuran secara *remote.* Suhu, kelembapan, tekanan atmosfer, dan radiasi matahari merupakan besaran-besaran fisis yang dapat diukur menggunakan sistem sensor yang ada pada pasaran saat ini. Besaran-besaran fisis tersebut hadir dalam kehidupan manusia dan berafiliasi sebagai parameter iklim (P. Kumar et al., 2021; Rutty & Scott, 2014).

Parameter iklim dapat mempengaruhi

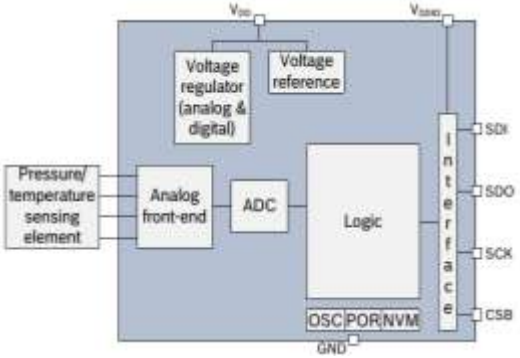
banyak hal pada sebuah lingkungan dan komponen-komponennya terutama makhluk hidup (Kamsurya et al., 2023). Sebagai contoh kasus, pada daerah pesisir, perubahan parameter iklim akan berpengaruh pada ekosistem yang ada di sana, seperti vegetasi, hewan, dan manusia. Melalui pengukuran dan pemantauan parameter iklim akan didapatkan data acuan untuk strategi pengelolaan daerah pesisir secara tepat.

Wilayah pesisir tidak lepas dari dampak parameter iklim dan perubahannya. Parameter iklim tersebut tentunya mempengaruhi banyak hal. Parameter iklim seperti temperatur dan kelembapan merupakan faktor yang berperan penting terhadap kenyamanan pada suatu tempat, yang biasa disebut dengan *Temperature Humidity Index* (THI) (Ouellet et al., 2021; Prihandrijanti & Azzizi, 2023; Rusdayanti et al., 2021). Hal ini tentu penting bagi wilayah yang ingin dikembangkan menjadi tujuan wisata. Demikian juga, komponen biotik maupun abiotik yang ada pada wilayah pesisir juga akan berpengaruh terhadap parameter-parameter iklim. Beberapa penelitian menunjukkan bahwasanya beberapa vegetasi akan mempengaruhi temperatur, kelembapan, serta intensitas cahaya matahari pada daerah pesisir (Harjadi, 2017). Hal inilah menjadi salah satu sebab pengukuran dan pemantauan parameter iklim pada wilayah pesisir menjadi sangat penting.

Penelitian ini telah mendesain dan membangun sebuah alat ukur parameter iklim mikro, yaitu temperatur, kelembapan, dan intensitas cahaya matahari. Alat ukur yang dibuat memanfaatkan sensor temperatur dan tekanan udara tipe BMP-280, sensor kelembapan tipe DHT-22 dan sensor radiasi matahari tipe BH-1750. Alat ukur yang didesain didukung oleh modul *Internet of Things* (IoT) sehingga pengukuran dan pemantauan dapat dilakukan secara *remote*. Selain itu, data hasil pengukuran juga dapat tersimpan pada server (*cloud*) sehingga mudah diakses. Sensor-sensor dengan tipe yang dipilih mudah ditemukan, dan memiliki resolusi yang cukup baik untuk pengukuran parameter iklim mikro.

DHT22 merupakan sensor temperatur dan kelembapan udara. Sensor ini juga dikenal dengan nama sensor AM2302. Sensor ini memiliki empat pin kaki dengan konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Sensor ini memiliki *range error* 2% s.d. 5% untuk pengukuran kelembapan dan 5% utuk pengukuran temperatur (Fatimatuzzahra et al., 2020). Nilai tersebut bisa dibilang cukup bagus mengingat harganya yang terjangkau dan ukurannya yang minimalis. DHT22 terdiri atas kapasitor dan thermistor yang sensitif terhadap kelembapan dan temperatur udara di sekitarnya. Modul sensor ini sangat mudah diaplikasikan pada perangkat mikrokontroler ataupun modul IoT dengan tegangan kerja 3.3 V hingga 6 V arus searah(Azhari et al., 2023; Wardani et al., 2023).

Gambar 1. Konfigurasi Pin Kaki Sensor DHT22 (Desnanjaya et al., 2022)



Gambar 2. Blok Diagram BMP280 (Bosh Sensortec, 2015).

BMP280 adalah modul yang merupakan integrasi dari sensor temperatur dan tekanan udara (Fahim et al., 2023; M. K. Kumar et al., 2023). Sensor ini memiliki tegangan kerja pada 1,71-3,6 V DC (Sari et al., 2023). BMP280 dapat mengukur tekanan pada rentang 300-1100 hPa

atau ekivalen dengan +900 s.d -500 meter di atas atau di bawah permukaan laut. Sensor ini mudah ditemui dipasaran dengan harga yang murah, selain itu sensor ini juga memilki akurasi yang cukup baik yaitu ±1 hPa. Keunggulan lain dari sensor tipe BMP280 adalah sudah adanya ADC (*Analog to Digital Converter*) dan regulator tegangan. Hal tersebut membuat sensor ini mudah diaplikasikan pada modul IoT maupun mikrokontroler yang memiliki keterbatasan pin ADC (Ibrahim et al., 2023). Secara umum konstruksi BMP280 ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 3. Konfigurasi Pin Kaki Sensor BH1750 (Zin Naing et al., 2020)**.**

Gambar 4. Mastech MS6300 *Environment Multitester*

BH1750 merupakan sensor intensitas cahaya. Modul ini sudah dilengkapi dengan 16-bit ADC (*Analog to Digital Converter*) yang dapat langsung memberikan output berupa sinyal digital. Sama halnya dengan dua sensor lainnya, ADC membuatnya menjadi mudah diaplikasikan pada modul mikrokontroler dan modul IoT (Astutik et al., 2019). Sensor ini dapat mengukur intensitas cahaya dengan rentang yang cukup lebar, yaitu 1 s.d. 65535 Lx (Zin Naing et al., 2020). Sensor ini umum digunakan untuk mengukur intensitas yang bersifat *ambient* karena sensor ini tidak bergantung terhadap adanya sumber cahaya tertentu. Keuntungan lain dari sensor tipe BH1750 adalah sensor dapat bekerja pada arus rendah. Gambar 3 menunjukkan konfigurasi pin kaki dari sensor BH1750. Selanjutnya, hasil pengukuran alat monitoring yang telah dibuat, dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan alat ukur standar yang umum digunakan untuk mengukur parameter lingkungan. Dalam hal ini mengguna alat Mastech MS6300 *Environment Multitester* (Gambar 4). Alat ini dapat mengukur suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan kecepatan angin lingkungan. Melalui tahapan ini didapatkan selisih pembacaan dan akurasi dari pembacaan alat monitoring yang telah didesain.

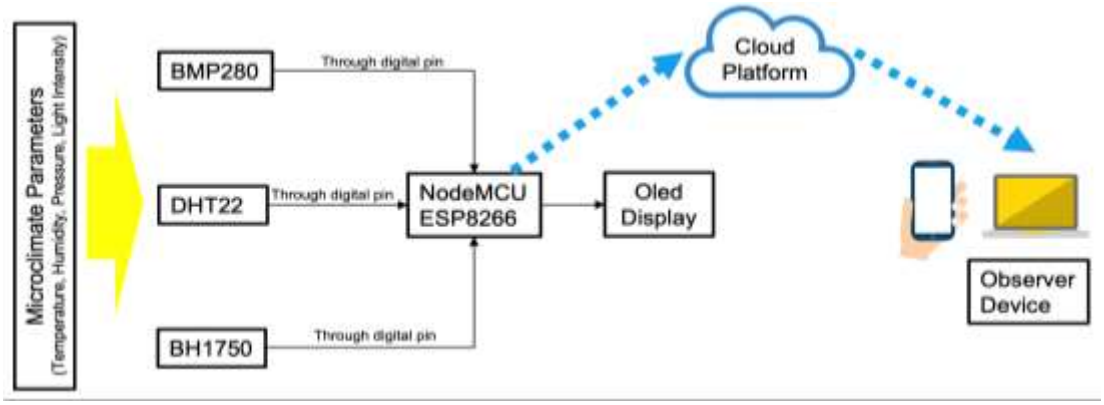
METODE PENELITIAN

Desain alat ukur parameter iklim mikro

Alat ukur dirancang dengan mengaplikasikan sensor BME280, DHT22, dan BH1750 ke dalam mikrokontoler. Mikrokontroler yang dipakai dalam penelitian ini adalah NodeMCU ESP8266. Modul ini memiliki ukuran yang kecil, sehingga mudah diaplikasikan dan juga sudah dilengkapi koneksi Wi-Fi yang mendukung penerapan IoT. Mikrokontroler diprogram agar dapat melakukan pembacaan nilai suhu, kelembapan, tekanan, dan intensitas matahari setiap 1 menit dan mengirimkannya ke *cloud server*. Nilai bacaan selanjutnya ditampilkan melalui LCD yang tertempel pada alat dan dapat dibaca pula oleh *observer* melalui perangkat *mobile* maupun halaman web. Skema rancang bangun alat ditunjukkan oleh Gambar 5.

Perbandingan dengan alat ukur standar

Pengujian keakuratan hasil pengkuran dari alat ukur yang telah dibuat dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu Mastech MS6300 *Environment Multitester*, untuk parameter temperatur, kelembapan, dan intensitas cahaya matahari. Pengujian dilakukan dengan membandingkan 20 data pengukuran yang dilakukan secara *ambient* terhadap ketiga parameter tersebut, karena tidak memungkinkan untuk dilakukan pengkondisian pada parameter-parameter



Gambar 5 Skema alat ukur parameter iklim mikro berbasis IoT

tersebut sebagai variabel yang bernilai tetap. Adapun posisi instrumen hasil desain dan Mastech MS600 diperlihatkan pada Gambar 6.

Gambar 6. Skema uji perbandingan hasil ukur

Error dan akurasi hasil ukur dihintung dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2.

$$E(\%) = \left|\frac{X_s - X}{X_s}\right| \times 100\% \quad (1)$$

$$A(\%) = 100\%\text{-E} \quad (2)$$

E merupakan persen *error* hasil pengukuran, X_s adalah hasil bacaan alat ukur standar (Mastech MS6300), X adalah hasil bacaan alat ukur yang telah dirancang, dan A adalah akurasi dari alat ukur yang telah dirancang. Tahapan ini penting untuk mengenali tipe atau karakteristik *error* yang terjadi, dimana hasil ini menjadi pertimbangan untuk melakukan koreksi hasil ukur.

Uji pengukuran pada daerah pesisir

Pada tahapan ini dilakukan uji monitoring parameter iklim mikro menggunakan alat yang telah dirancang pada daerah pesisir. Pengujian dilakukan di Kawasan Pantai di Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara (0,2108543 LS dan 117,4363402 BT). Pengambilan data dilakukan pada tanggal 7 Oktober 2023 dengan melakukan *sampling* monitoring selama 30 menit pada pagi, siang, sore, dan malam hari.

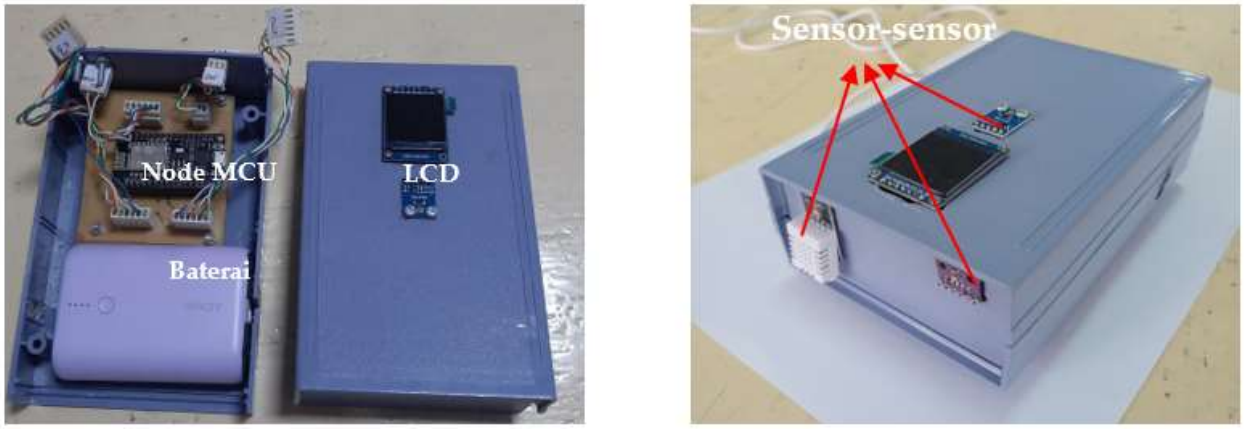
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan perangkat keras

Alat ukur parameter iklim yang dirancang secara garis besar terdiri atas beberapa bagian penting yaitu sensor-sensor, LCD, baterai, serta sebuah papan IoT bertipe NodeMCU ESP8266. Semua bagian tersebut dikemas dalam sebuah box berukuran 20x12x7 cm sehingga menjadi sangat praktis dan *portable*. Alat ukur yang telah didesain seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

Perancangan sistem IoT dan antarmuka

Output dari sensor-sensor yang digunakan sudah berupa data digital, namun sebelum ditransmisikan ke *cloud* data masih perlu diolah agar dapat diakses melalui internet. Pengolahan data output sensor dilakukan dengan NodeMCU yang diprogram dengan bahasa C++ pada Arduino IDE. Dengan demikian, didapatkan nilai akhir berupa parameter iklim mikro yaitu intensitas cahaya matahari, kelembapan, dan temperatur. Agar dapat diakses melalui internet, maka dibutuhkan *platform* IoT. Dalam hal ini, *platform* yang digunakan adalah Blynk. Selain antarmuka yang menarik dan mudah digunakan, data pengukuran yang dihasilkan pada Blynk dapat diunduh dengan leluasa. Gambar 8 memperlihatkan hasil perancangan antarmuka pada *platform* Blynk.



(a) (b)

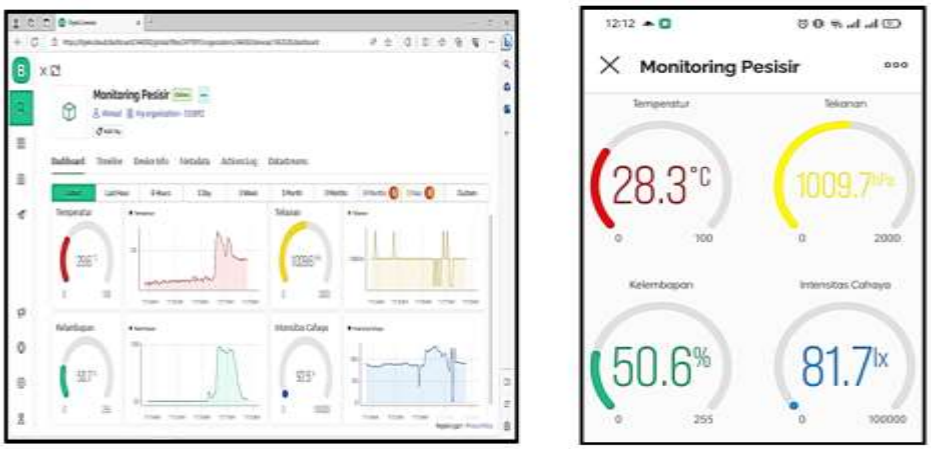
Gambar 7. Hasil desain instrumen (a) tampak dalam dan (b) tampak luar

Hasil pengujian alat

Pengujian performa dan akurasi alat ukur yang dibuat, pertama kali dilakukan untuk parameter temperatur. Tabel 1 merupakan data hasil pengujian untuk sensor temperatur. Hasil pengukuran antara alat ukur yang dibuat dengan alat standar Mastech cukup mirip. Selisih hasil pengukuran berkisar antara 0,1 ^{0}C hingga 1,6 ^{0}C. Berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (2), nilai akurasi rata-rata yang didapatkan sebesar 97,1%. Hal ini menunjukkan bahwa alat ukur yang didesain sangat layak untuk diimplementasikan langsung untuk mengukur parameter temperatur.

Parameter kedua yang diuji adalah kelembapan. Hasil pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 2. Selisih hasil pengukuran antara alat ukur dengan Mastech yaitu sebesar 2,4% hingga 4,7%. Nilai selisih ini memang lebih tinggi jika dibandingkan dengan selisih data pada pengukuran temperatur. Namun demikian, hasil perhitungan menunjukkan bahwa akurasi rata-rata untuk pengukuran kelembapan terbilang cukup baik yaitu sebesar 95,1%.

Parameter uji yang ketiga adalah intensitas cahaya dan hasil pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 3. Berdasarkan hasil pengukuran, akurasi alat ukur intensitas cahaya sebesar 87,2% terhadap alat ukur standar Mastech. Dari ketiga alat ukur, pengukuran intensitas cahaya memiliki tingkat akurasi paling rendah, dengan selisih berkisar antara 4 hingga 399 Lx. Perbedaan nilai yang tinggi terjadi pada intensitas di atas 1000 Lx. Sedangkan, pada intensitas di bawah 1000 Lx nilai akurasi yang didapat sangat tinggi yaitu sebesar 96,3%. Alat ukur yang didesain ini sebenarnya juga dilengkapi dengan sensor tekanan yang juga merupakan fitur lain dari sensor BMP280, akan tetapi pada paper ini tidak dibahas lebih jauh karena tidak tersedianya alat terstandar yang dapat dijadikan sebagai pembanding.



(a) (b)

Gambar 8. Tampilan antarmuka Blynk (a) pada desktop dan (b) pada smartphone

Tabel 1. Data Perbandingan Hasil Pengukuran Temperatur Antara Instrumen Dengan Mastech

Pengukuran ke-	Temperatur Instrumen (°C)	Temperatur Mastech (°C)	Akurasi (%)	*Error* (%)
1	26,7	27,8	96,0	4,0
2	29,5	29,6	99,7	0,3
3	29,6	29,9	99,0	1,0
4	29,7	30,0	99,0	1,0
5	29,7	30,2	98,3	1,7
6	29,9	30,3	98,7	1,3
7	30,0	30,3	99,0	1,0
8	29,9	30,4	98,4	1,6
9	30,1	30,9	97,4	2,6
10	30,2	31,2	96,8	3,2
11	30,4	31,4	96,8	3,2
12	30,5	31,5	96,8	3,2
13	30,5	31,7	96,2	3,8
14	30,7	31,8	96,5	3,5
15	30,6	31,8	96,2	3,8
16	30,6	31,9	95,9	4,1
17	30,5	31,9	95,6	4,4
18	30,7	32,1	95,6	4,4
19	30,5	32,1	95,0	5,0
20	30,6	32,1	95,3	4,7

Tabel 2. Data perbandingan hasil pengukuran kelembapan antara instrumen dengan Mastech

Pengukuran ke-	Temperatur Instrumen (°C)	Temperatur Mastech (°C)	Akurasi (%)	*Error* (%)
1	67,3	63,1	93,3	6,7
2	66,8	62,8	93,6	6,4
3	67,6	62,9	92,5	7,5
4	67,1	63,4	94,2	5,8
5	66,9	63,5	94,6	5,4
6	66,2	62,7	94,4	5,6
7	65,7	62,5	94,9	5,1
8	65,3	62,2	95,0	5,0
9	65,4	62,9	96,0	4,0
10	65,4	62,8	95,9	4,1
11	65,3	62,8	96,0	4,0
12	65,1	62,4	95,7	4,3
13	64,9	62,3	95,8	4,2
14	64,9	62,1	95,5	4,5
15	65,2	62,2	95,2	4,8
16	64,4	62,0	96,1	3,9
17	64,2	61,6	95,8	4,2
18	64,1	61,7	96,1	3,9
19	64,0	61,5	95,9	4,1
20	63,9	61,4	95,9	4,1

Tabel 3. Data Perbandingan Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya Antara Instrumen Dengan Mastech

Pengukuran ke-	Temperatur Instrumen (°C)	Temperatur Mastech (°C)	Akurasi (%)	*Error* (%)
1	1125	1378	81,6	18,4
2	1055	1299	81,2	18,8
3	1494	1893	78,9	21,1
4	1722	1830	94,1	5,9
5	1277	1477	86,5	13,5
6	1228	1481	82,9	17,1
7	1415	1707	82,9	17,1
8	1420	1711	83,0	17,0
9	1610	1919	83,9	16,1
10	1661	2020	82,2	17,8
11	1825	2160	84,5	15,5
12	1869	2180	85,7	14,3
13	2187	2460	88,9	11,1
14	2176	2420	89,9	10,1
15	2028	2210	91,8	8,2
16	1687	1889	89,3	10,7
17	974	907	92,6	7,4
18	351	355	98,9	1,1
19	413	403	97,5	2,5
20	449	439	97,7	2,3

Implementasi instrumen untuk pengukuran parameter iklim

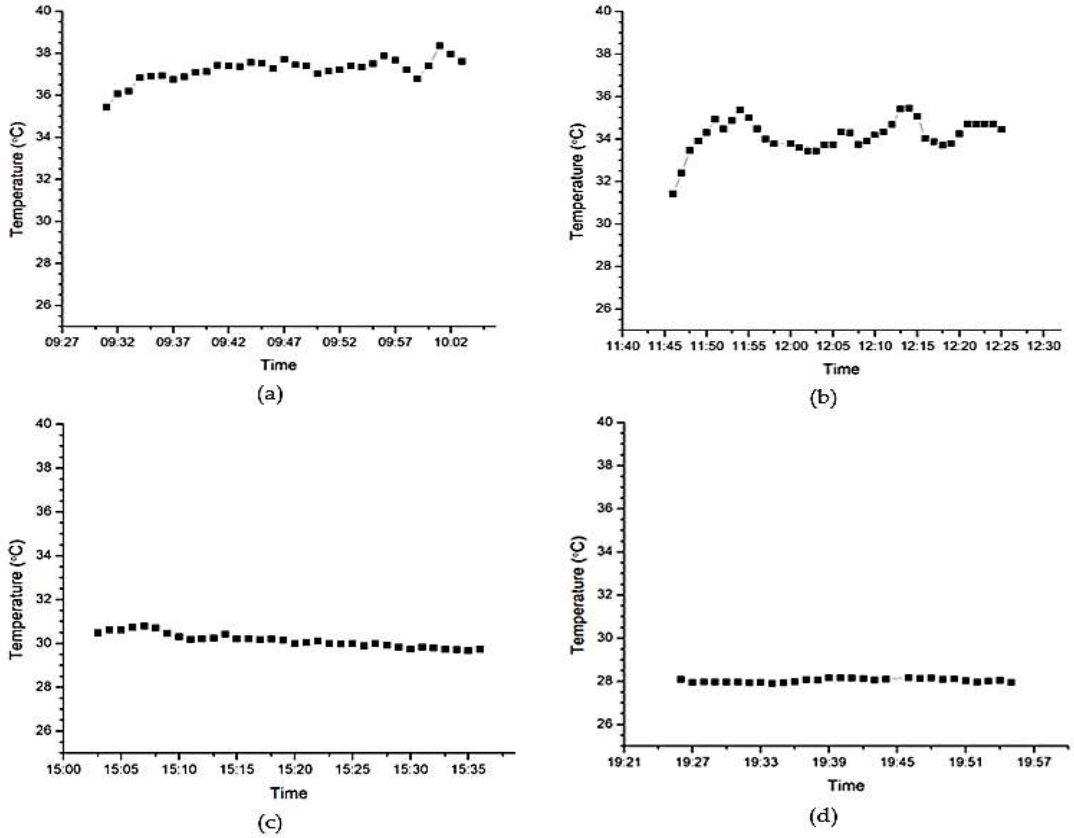
Pengukuran berlokasi di Kawasan Pantai Panritalopi, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Pengukuran parameter iklim dilakukan sebanyak empat kali yaitu pada pagi hari (pukul 09.31 – 10.03), siang hari (pukul 11.46 – 12.25), sore hari (pukul 15.03 – 15.36), dan malam hari (pukul 19.26 – 19.55).

Gambar 9. pengambilan data lapangan menggunakan instrumen yang telah didesain

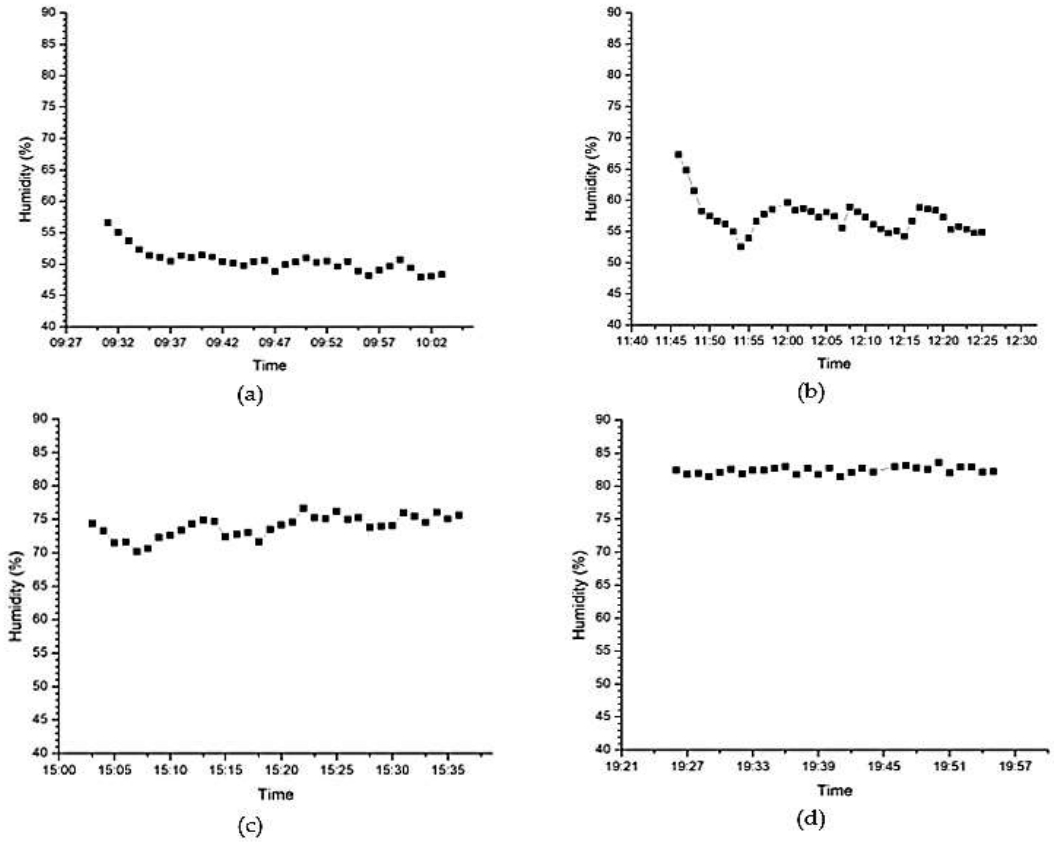
Kondisi pengukuran pada pagi hari cahaya matahari terbilang cukup terik, siang hari dalam keadaan sedikit mendung, sore tak berawan, dan malam hari tak terlihat cahaya bulan (gelap). Gambar 9 memperlihatkan dokumentasi instrumen yang didesain saat pengambilan data lapangan.

Implementasi instrumen hasil desain untuk pengukuran temperatur diperlihatkan pada Gambar 10. Secara umum, *trendline* perubahan temperatur mengalami penurunan dari pagi menjelang siang, hingga sore dan malam hari. Jika diperhatikan lebih lanjut, temperatur pada pagi, sore, dan malam hari cenderung stabil. Sementara pada siang hari, temperatur di lokasi pengukuran terbilang sangat fluktuatif dengan interval nilai berkisar antara 31,4^{0}C hingga 35,5^{0}C.

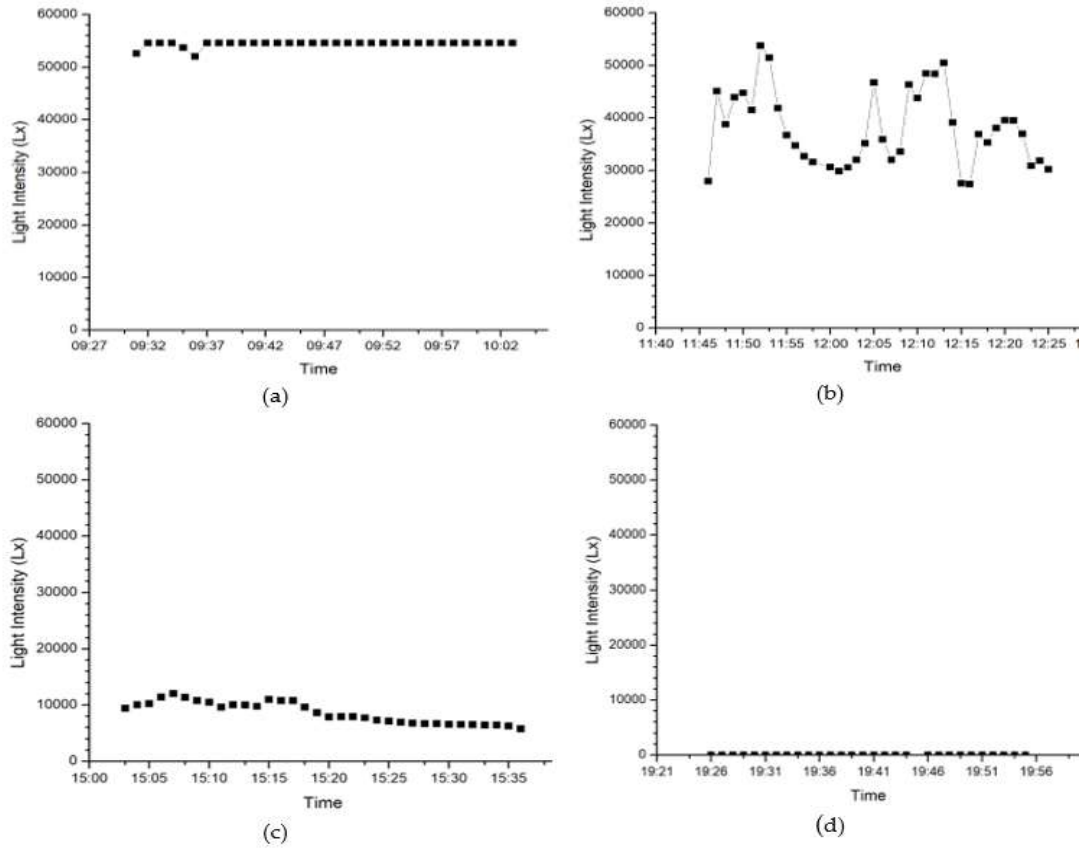
Fluktuasi nilai ini diduga karena beberapa faktor seperti angin serta kondisi cuaca yang sesekali berawan. Tentu saja kedua hal ini sangat berdampak pada temperatur lingkungan. Nilai temperatur paling stabil terjadi pada malam hari yaitu berkisar antara 27,9^{0}C hingga 28,2^{0}C.



Gambar 10. Hasil pengukuran temperatur di pantai pada (a) pagi hari, (b) siang hari, (c) sore hari, dan (d) malam hari



Gambar 11. Hasil pengukuran kelembapan udara di pantai pada (a) pagi hari, (b) siang hari, (c) sore hari, dan (d) malam hari



Gambar 12. Hasil pengukuran intensitas cahaya di pantai pada (a) pagi hari, (b) siang hari, (c) sore hari, dan (d) malam hari

Sejalan dengan hasil pengukuran temperatur, pengukuran kelembapan juga fluktuatif pada siang hari (52,6% – 67,3%), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11. Berbeda halnya dengan temperatur, *trendline* perubahan kelembapan justru cenderung mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena pada temperatur yang tinggi, nilai kelembapan justru menjadi rendah, dan sebaliknya. Data pengujian alat ukur yang didesain diambil pada sore hari dan bertempat di depan laboratorium. Rentang nilai yang didapat sebesar 63,9% sampai 67,6%. Sedangkan, pada hasil pengukuran di pantai menunjukkan nilai antara 70,2% hingga 76,7%. Hal ini mengindikasikan bahwa kelembapan di daerah pesisir relatif lebih tinggi akibat berdekatan dengan laut yang merupakan penyangga termal dan tentu saja penguapan air laut berdampak pada nilai kelembapan. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Qian WU & Hyun-Kil Jo, pada tahun 2015.

Gambar 12 memperlihatkan hasil pengukuran intensitas cahaya di lapangan. Pada pengukuran intensitas cahaya, nilai tertinggi didapatkan pada pagi hari karena terbilang cukup terik sebesar 54.612 Lx. Sementara pada siang hari (cuaca saat itu sedikit mendung), nilai intensitas cahaya tertinggi sebesar 53.817 Lx dan sangat fluktuatif. Nilai fluktuatif ini diduga karena pergeseran awan yang tak menentu. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan perubahan intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah adalah akibat pantulan dari objek/material di sekitar pantai. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Jin et al., pada tahun 2020 yang melaporkan bahwa di daerah pesisir khususnya di pantai, cahaya umumnya sebagian terpolarisasi akibat pantulan dari pasir dan air. Pada sore dan malam hari, nilai intensitas cahaya maksimal berturut-turut sebesar 12.014 Lx dan 1 Lx

KESIMPULAN

Sistem instrumen pengukur parameter iklim berbasis IoT yang telah dirancang bekerja dengan baik dengan akurasi rata-rata sebesar 97,1% untuk pengukuran temperatur, 95,1%

untuk pengukuran kelembapan udara, dan 87,2% untuk pengukuran intensitas cahaya. Instrumen yang dirancang telah diimplementasikan secara langsung di daerah pantai dan menunjukkan nilai bervariasi. Pada pagi hari, sore hari, dan malam hari, parameter iklim yang terukur cenderung stabil. Sedangkan, pada siang hari nilai parameter iklim yang terukur cenderung fluktuatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat dana hibah dari Fakultas MIPA Universitas Mulawarman melalui skim Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) tahun 2023. Dalam pengambilan data lapangan, peneliti banyak dibantu oleh mahasiswa dari KBK Elektronika dan Instrumentasi (Elins) 2019.

DAFTAR PUSTAKA

Astutik, Y., Murad, Putra, G. M. D., & Setiawati, D. A. (2019). Remote monitoring systems in greenhouse based on NodeMCU ESP8266 microcontroller and Android. *AIP Conference Proceedings*, *2199*. https://doi.org/10.1063/1.5141286

Azhari, Nasution, T. I., Sinaga, S. H., & Sudiati. (2023). Design of Monitoring System Temperature and Humidity Using DHT22 Sensor and NRF24L01 Based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, *2421*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012018

Bosh Sensortec. (2015). *BMP280 - Digital Pressure Sensor: Data sheet*.

Desnanjaya, I. G. M. N., Ariana, A. A. G. B., Nugraha, I. M. A., Wiguna, I. K. A. G., & Sumaharja, I. M. U. (2022). Room Monitoring Uses ESP-12E Based DHT22 and BH1750 Sensors. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, *3*(2), 205–211. https://doi.org/10.18196/jrc.v3i2.11023

Fahim, M., El Mhouti, A., Boudaa, T., & Jakimi, A. (2023). Modeling and implementation of a low-cost IoT-smart weather monitoring station and air quality assessment based on fuzzy inference model and MQTT protocol. *Modeling Earth Systems and Environment*, *9*(4), 4085–4102. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01701-w

Fatimatuzzahra, F., Didik, L. A., & Bahtiar, B. (2020). Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, 16(1), 33. https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5717

Harjadi, B. (2017). The role of Casuarina Rquisetifolia on Micro Climate Improvement of Sandy Beach Land at Kebumen. Journal of Watershed Management Research, 1(2), 73–81. https://doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.2.73-81

Ibrahim, O. A., Oligeri, G., & Di Petrio, R. (2023). A data set of barometric readings for enhancing security and privacy of IoT. Data in Brief, 51.

Jin, J., De Sloover, L., Verbeurgt, J., Stal, C., Deruyter, G., Montreuil, A. L., De Maeyer, P., & De Wulf, A. (2020). Measuring surface moisture on a sandy beach based on corrected intensity data of a mobile terrestrial LiDAR. Remote Sensing, 12(2). https://doi.org/10.3390/rs12020209

Kamsurya, M. Y., Ala, A., Musa, Y., & Rafiuddin. (2023). The Effect Micro Climate on The Flowering Phenology of Forest Clove Plants (Zyzygium obtusifolium L). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1134(1), 012031. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1134/1/012031

Kumar, M. K., Karuna, G., Ram Kumar, R. P., Gattamaneni, S., & Harshini Lakshmi Priya, P. (2023). Smart Cultivation System using IoT. E3S Web of Conferences, 391. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101160

Kumar, P., Chandra, R., Bansal, C., Kalyanaraman, S., Ganu, T., & Grant, M.

(2021). Micro-climate Prediction - Multi Scale Encoder-decoder based Deep Learning Framework. Proceedings of the 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 3128–3138. https://doi.org/10.1145/3447548.3467173

Ouellet, V., Toledo, I. M., Dado-Senn, B., Dahl, G. E., & Laporta, J. (2021). Critical Temperature-Humidity Index Thresholds for Dry Cows in a Subtropical Climate. Frontiers in Animal Science, 2. https://doi.org/10.3389/fanim.2021.706636

Prihandrijanti, M., & Azzizi, V. T. (2023). Geospatial and Temporal Analysis of Temperature-Humidity Index (THI) as Climate Mitigation Tool in Glamping Site in Cimahi North, West Java, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1264(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1264/1/012024

Qian WU, & Hyun-Kil Jo. (2015). A Study on Ecotect Application of Local Climate at Residential Area in Chuncheon, Korea. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 23(2), 94–101. https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012010

Rusdayanti, N., Karuniasa, M., & Nasrullah, N. (2021). Thermal comfort assessment over the past two decades in different landscape areas within Palembang City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 724(1).

Rutty, M., & Scott, D. (2014). Thermal range of coastal tourism resort microclimates. Tourism Geographies, 16(3), 346–363. https://doi.org/10.1080/14616688.2014.932833

Sari, I. P., Gunawan, A. A. N., Wibawa, I. M. S., Putra, I. K., & Yusuf, M. (2023). Design of Radiosonde Based on Arduino Pro Mini Using BME280 Sensor. In Techniques and Innovation in Engineering Research Vol. 5 (pp. 145–157). B P International (a part of SCIENCEDOMAIN International). https://doi.org/10.9734/bpi/taier/v5/18576d

Wardani, I. K., Ichniarsyah, A. N., Telaumbanua, M., Priyonggo, B., Fil'Aini, R., Mufidah, Z., & Dewangga, D. A. (2023). The feasibility study: Accuracy and precision of DHT 22 in measuring the temperature and humidity in the greenhouse. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1230(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012146

Zin Naing, Z., Tin Nyo, T., & Hla Htoo, H. (2020). Data Acquisition of Solar Radiation and Ultra-Violet (UV) Intensity. J. Myanmar Acad. Arts Sci, 2.