

Buoy Observasi Data Parameter Oseanografi dan Meteorologi di Perairan Terumbu Karang: Desain dan Implementasi

Hollandia Arief Kusuma¹, Muhammad Hafiz Alfahmi², Tonny Suhendra³, Dwi Eny Djoko Setyono⁴

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik,
Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang
Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam,
Badan Riset dan Inovasi Nasional, Wonosari, D.I. Yogyakarta
¹hollandakusuma@umrah.ac.id, ²hafizfahmihafiz@gmail.com, ³tonny@umrah.ac.id,
⁴setdwi@yahoo.co.nz

Abstrak

Pada *paper* ini, pengembangan buoy observasi data oseanografi dan meteorologi dilakukan dengan menggunakan wahana bouy yang stabil dan mengambil data dengan akurasi yang baik. Sensor DS18B20 memiliki akurasi 98,82% dengan *root mean squared error* (RMSE) 0,54°C, sensor DHT21 memiliki akurasi 99,99% dengan RMSE 0,0013°C, dan sensor kekeruhan memiliki akurasi antara 95,92 persen hingga 96,76 persen dengan RMSE 8,7 NTU hingga 46 NTU. Konsumsi daya perangkat satu jam sebesar 1,85 Wh. Hasil uji lapangan menunjukkan variasi pola suhu udara dan permukaan air laut, tingkat kelembaban udara yang lebih tinggi pada malam hari, dan intensitas cahaya matahari yang menurun pada malam hari dengan kenaikan akibat cahaya bulan. Kekeruhan air masih sesuai dengan baku mutu. Baterai 25,2 Wh dan solar panel 4,2 Wp digunakan sebagai pasokan daya.

Kata kunci: Buoy observasi, data oseanografi, data meteorologi, sensor, konsumsi daya

Abstract

The development of oceanographic and meteorological data observation buoy has been successfully completed, with a stable buoy that can capture the data effectively. The accuracy of the DS18B20 sensor is 98.82 percent with a root mean squared error (RMSE) of 0.54 °C and the accuracy of the DHT21 sensor is 99.99 percent with an RMSE of 0.0013°C, as well as the accuracy of the turbidity sensor, is 95.92 percent to 96.76 percent with an RMSE of 8.7 NTU to 46 NTU. The device power consumption for one hour is 1.85 Wh, which will be used to determine the size of the battery and solar panel. The test results showed varying and stable air temperature and sea surface patterns and higher air humidity at night. The intensity of sunlight decreases at night, but there is an increase in intensity due to moonlight. The water turbidity at the test location was at 0 NTU, which is still in line with quality standards. A battery with a total power of 25.2 Wh and a solar panel with a maximum power of 4.2 Wp were used as a power supply for the device.

Keywords: Observation buoy, oceanographic data, meteorological data, sensors, power consumption

1. Pendahuluan

Ekosistem terumbu karang adalah tempat berkembang biak spesies hewan laut dan tempat pemijahan, peneluran, dan pembesaran anak ikan. Kerusakan ekosistem terumbu karang menyebabkan hilangnya habitat hewan dan disebabkan oleh faktor fisik dan kimia oseanografi. Peningkatan suhu permukaan air laut dan tingkat kekeruhan air laut memengaruhi pertumbuhan terumbu karang [1]. Penelitian pada [2] menunjukkan adanya dampak peningkatan suhu di perairan Gili Matra pada Mei 2016. Suhu permukaan air laut dipengaruhi oleh faktor meteorologis, seperti curah hujan, penguapan, dan intensitas cahaya matahari [3]. Kekeruhan air laut yang tinggi menghambat pertumbuhan ekosistem terumbu karang karena mengurangi penetrasi cahaya [4].

Pemantauan oseanografi dan meteorologi permukaan laut dilakukan secara global menggunakan citra satelit [5], namun memiliki kekurangan data karena kekosongan rentang waktu satelit. Alat observasi oseanografi dan meteorologi permukaan air laut di ekosistem terumbu karang dapat dikembangkan dengan teknologi sensor, mikrokontroler, *global system for mobile communication* (GSM), dan *global positioning system* (GPS) untuk membuat alat yang lebih murah [6]. Teknologi GSM digunakan untuk pengiriman data ke *server* secara *real time* melalui *internet of things* (IoT), yaitu gabungan perangkat keras dan lunak yang memungkinkan tampilan dan pemantauan data pengukuran melalui *website* kapan dan dimana saja [6].

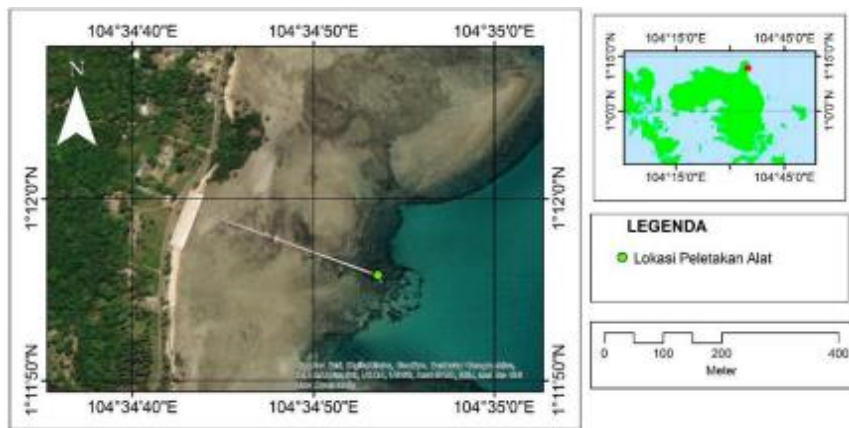
IoT adalah gabungan dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang terhubung ke jaringan internet. IoT menyediakan solusi berdasarkan integrasi teknologi informasi, yang mengacu pada perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk menyimpan, mengambil, dan memproses data dan teknologi komunikasi yang mencakup sistem elektronik yang digunakan untuk komunikasi antara individu atau kelompok [7]. Perangkat IoT mempermudah akses dan pemantauan data melalui platform, seperti Ubidots [8].

Pemantauan data oseanografi dan meteorologi permukaan air laut secara *real time* memanfaatkan buoy sebagai wahana untuk mempermudah jangkauan ke daerah permukaan air laut yang terdapat terumbu karang tanpa menyebabkan kerusakan. Buoy juga bisa dijadikan sebagai tanda bahwa pada daerah tersebut terdapat terumbu karang. Penelitian pada [9] juga telah menggunakan buoy untuk pengamatan ekosistem pesisir dengan menggunakan sensor suhu DS18B20. Perangkat buoy observasi data oseanografi dan meteorologi membutuhkan tambahan sensor untuk memperoleh parameter suhu permukaan air laut, kekeruhan permukaan air laut, suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari. Oleh karena itu, perangkat buoy observasi data oseanografi dan meteorologi sangat penting untuk dikembangkan dalam memahami pola oseanografi dan meteorologi di perairan terumbu karang.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

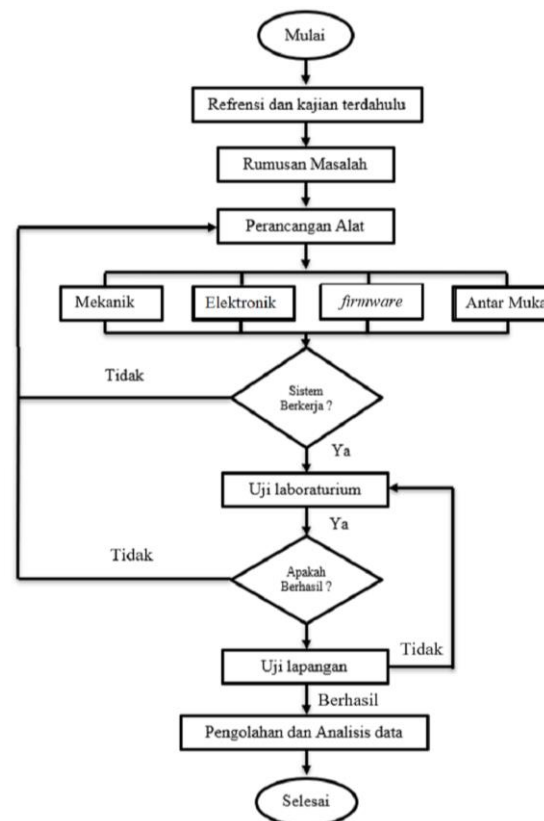
Penelitian dilaksanakan dari bulan Januari 2021 hingga Juli 2021. Perancangan perangkat dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Maritim Raja Ali Haji. Uji lapangan dilakukan di perairan terumbu karang Tanjung Berakit (Gambar 1). Uji lapangan dilaksanakan pada 3 Juli 2021 hingga 4 Juli 2021.



Gambar 1. Lokasi pengujian perangkat di Tanjung Berakit, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan referensi dan melakukan kajian terdahulu untuk memahami materi perangkat yang akan dibuat. Perancangan alat meliputi perancangan mekanik, kelistrikan, *firmware*, dan antarmuka IoT, dimulai dari perancangan mekanik hingga antarmuka IoT, untuk mencapai hasil yang diinginkan. Setelah perancangan selesai, hasil akan dikalibrasi melalui uji laboratorium untuk memastikan data sesuai standar. Setelah uji laboratorium selesai, dilakukan uji lapangan untuk mengambil data dan menampilkan hasil pada antarmuka, serta melakukan analisis data. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.3. Perancangan Sistem

Perancangan Sistem pada penelitian ini dimulai dengan mendesain bentuk buoy dan tata letak komponen menggunakan *Sketchup*. Setelah itu, perancangan elektronik dilakukan dengan membuat desain jalur *printed circuit board* (PCB) menggunakan EasyEDA untuk mempermudah peletakan dan penyatuan komponen. Proses desain elektronik ini dilanjutkan dengan pencetakan papan PCB. Perancangan *firmware* juga dilakukan dengan membuat program di Arduino IDE untuk mengolah dan mengirimkan data dari sensor ke *dashboard*. Perancangan *dashboard* dilakukan pada *platform* Ubidots sebagai lokasi tampilan data sensor.

2.3. Analisis Data

Analisis data meliputi akurasi sensor, *root mean square error* (RMSE), regresi linier, konsumsi daya, dan statistika deskriptif parameter sensor di lapangan. Akurasi sensor diukur dengan menggunakan rumus yang mengukur tingkat akurasi dan kesalahan sensor terhadap nilai kalibrator. RMSE mengukur besarnya kesalahan hasil prediksi dimana semakin kecil nilai RMSE, maka data akan semakin akurat [10]. Konsumsi daya adalah besarnya daya yang dibutuhkan perangkat untuk bekerja. Statistika deskriptif digunakan untuk mengetahui nilai maksimum, minimum, rata-rata dari data suhu, cahaya matahari, dan kekeruhan air laut. Hasil akan ditampilkan sebagai informasi permukaan air laut.

Perhitungan nilai akurasi dan RMSE dari data sensor untuk mengetahui tingkat akurasi serta kesalahan data sensor terhadap nilai kalibrator. Pengukuran akurasi sensor dan RMSE menggunakan rumus berikut:

$$Error (\%) = \left| \frac{Nilai\ kalibrator - Nilai\ Sensor}{Nilai\ kalibrator} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$Akurasi (\%) = 100\% - Error (\%) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

dimana:

RMSE = Nilai *error*

Y_i = Data awal/data sebenarnya

\hat{Y}_i = Data akhir/data hasil estimasi

n = Jumlah data.

Pada tahapan kalibrasi sensor, digunakan rumus regresi linier, polynomial orde 2, dan polynomial orde 3 agar nilai yang didapatkan mendekati atau sama dengan nilai kalibrator yang sudah sesuai dengan standar pengukuran. Rumus yang digunakan adalah:

$$y = a_1x + b_1 \quad (4)$$

$$y = a_2x^2 + b_2x + c_1 \quad (5)$$

$$y = a_3x^3 + b_3x^2 + c_2x + d \quad (6)$$

dimana:

x = Nilai sensor/variabel bebas

y = Nilai kalibrator/variabel tidak bebas

a_1, b_3, c_2 = Koefisien regresi linier

a_2, b_3 = Koefisien regresi polinomial orde 2

a_3 = Koefisien regresi polinomial orde 3

b_1, c_1, d = Konstanta

Jika semua tahap untuk perangkat telah selesai, dilakukan pengukuran uji konsumsi daya dengan menggunakan *Voltage-Current meter*. Dari hasil konsumsi daya didapatkan berapa besar energi yang perlu digunakan perangkat selama satu jam. Selanjutnya adalah pengukuran berapa lama perangkat dapat bekerja selama waktu yang diinginkan. Pengukuran tersebut menggunakan rumus:

$$W = P \times t \quad (7)$$

dimana:

W = Energi listrik (Wh)

P = Daya listrik (Watt)

t = Waktu (jam).

Setelah didapatkan kapasitas baterai yang akan digunakan, pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan daya solar panel untuk digunakan sebagai sumber pengisian ulang daya baterai dengan menggunakan rumus:

$$\text{Daya solar panel } (W) = \frac{\text{Kapasitas baterai } (Wh)}{\text{Lama pengisian } (jam)} \quad (8)$$

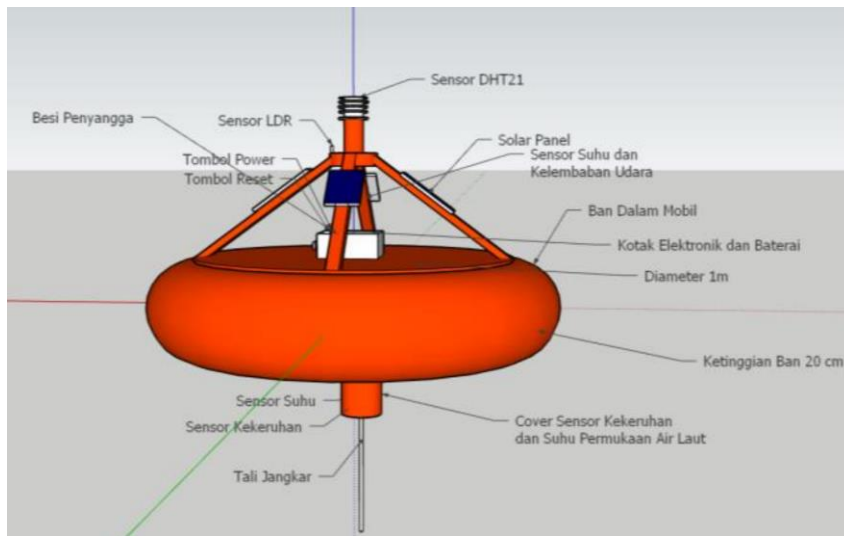
Tahapan selanjutnya adalah pengambilan data parameter suhu permukaan laut, kekeruhan permukaan laut, suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari. Data parameter suhu, kekeruhan, suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari diambil dan analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mengetahui nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari data tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

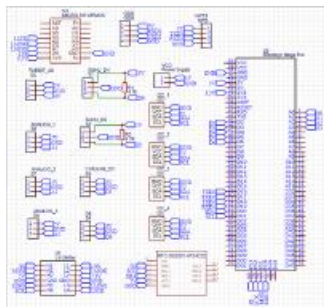
3.1. Buoy Pemantau Kualitas Perairan Terumbu Karang

Pembuatan perangkat ini memiliki beberapa tahapan, yaitu: desain bentuk buoy, perakitan komponen elektronik, dan pembuatan *dashboard* Ubidots. Proses desain buoy bertujuan untuk menentukan model buoy yang akan digunakan. Setelah melakukan desain bentuk buoy, tahap selanjutnya adalah pembuatan buoy sesuai dengan model buoy yang telah dibuat.

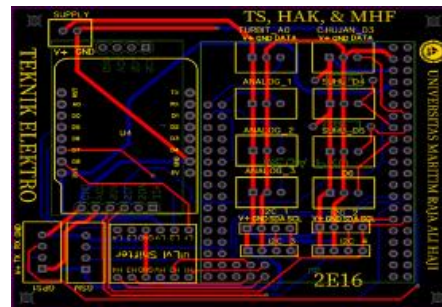
Sistem elektronik perangkat dimulai dengan melakukan desain PCB dengan menggunakan aplikasi Easy EDA. Komponen yang digunakan pada proses desain jalur PCB adalah Arduino Mega2560 pro robotdyn, RTC DS3231, wemos shield, *level shifter* empat saluran, resistor, konektor empat saluran, konektor tiga saluran, dan konektor dua saluran. Skematik PCB dan layout PCB dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Desain buoy



(a)



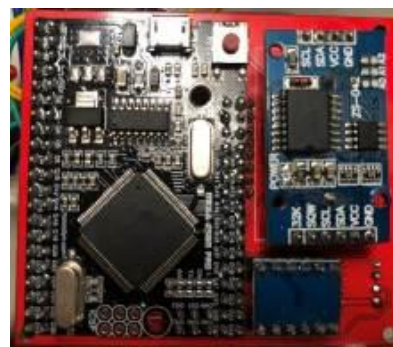
(b)

Gambar 4. Skematik (a) dan layout PCB (b) perangkat

Perakitan komponen diawali dengan penyolderan *pin header* dan *pin jst* pada PCB. Tahap selanjutnya adalah pemasangan komponen yang digunakan pada PCB. Hasil dari perakitan komponen dapat dilihat pada Gambar 5. Desain *dashboard* Ubidots pada Gambar 6 menggunakan *widget* yang telah disediakan oleh *platform* Ubidots. Isi dari *dashboard* adalah tampilan nilai kekeruhan air, suhu udara, suhu permukaan air laut, kelembaban udara, peta lokasi pengambilan data, dan kualitas sinyal.

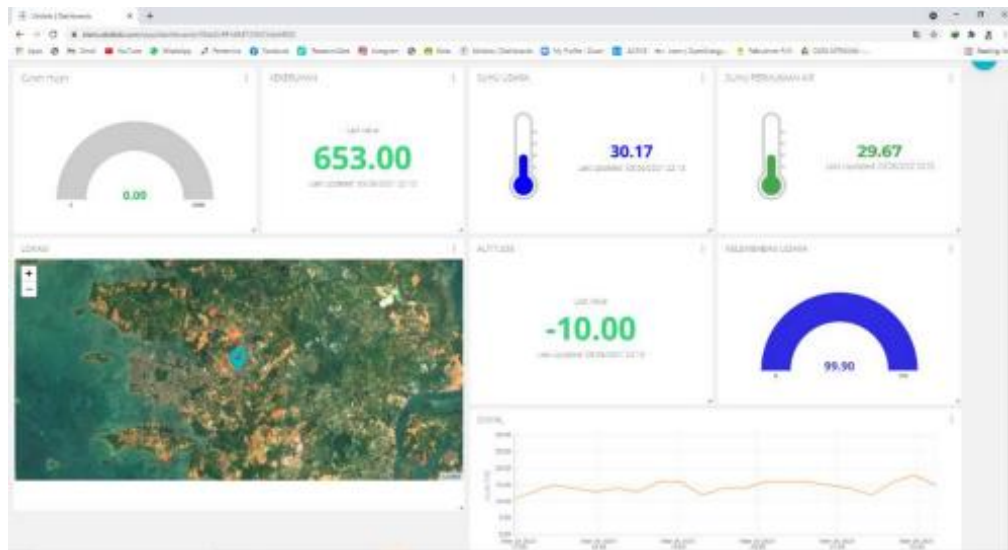


(a)



(b)

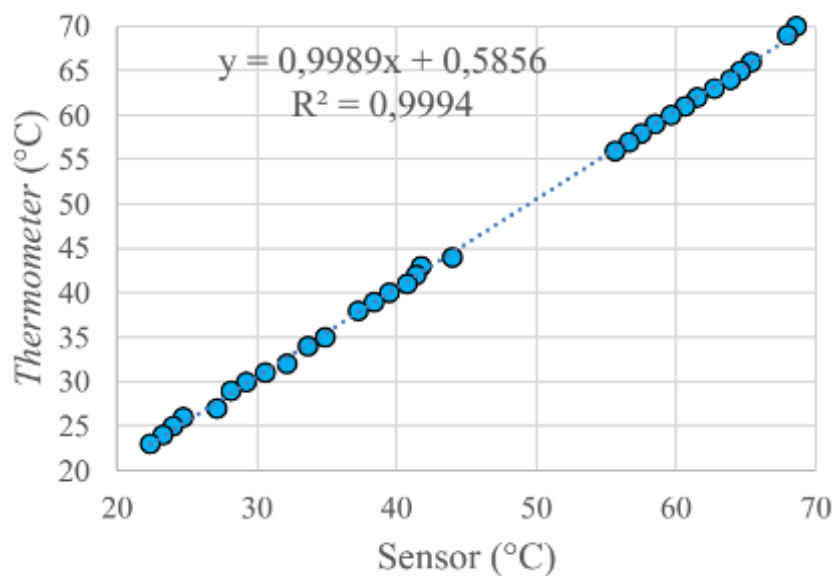
Gambar 5. Perakitan komponen (a) Tampak depan dan (b) Tampak belakang



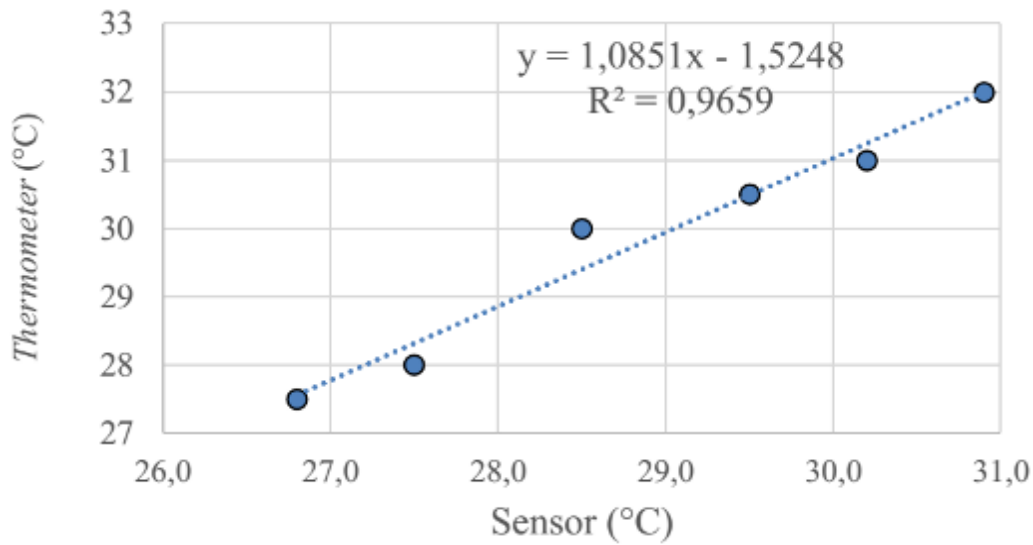
Gambar 6. Dashboard perangkat yang dibuat pada platform Ubidots

3.2. Kalibrasi

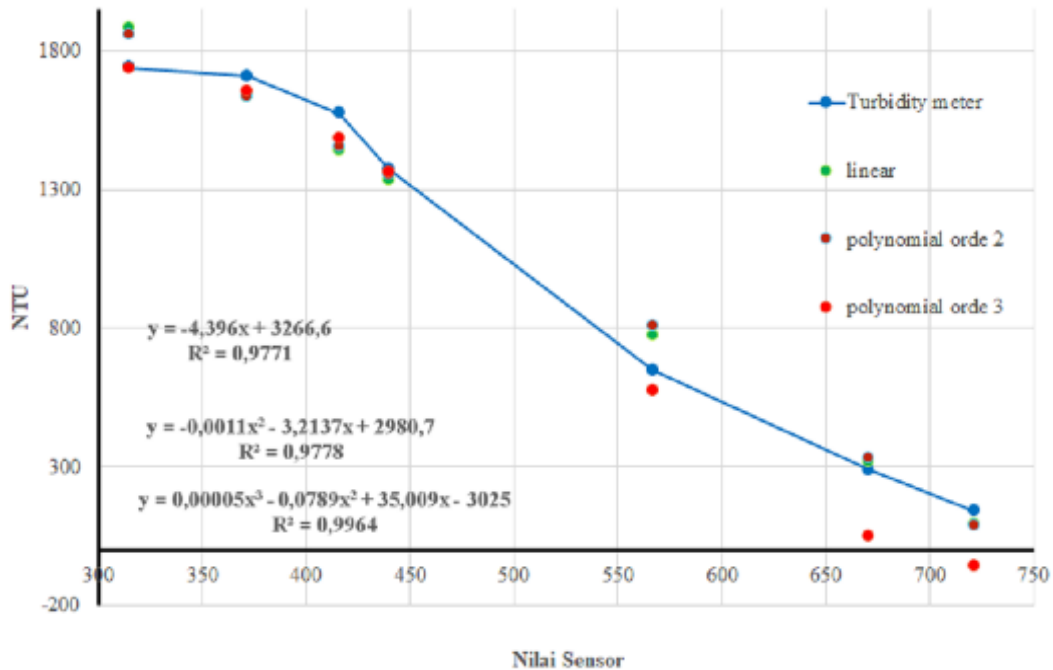
Hasil kalibrasi tiga sensor, yaitu DS18B20, DHT21, dan kekeruhan, dilakukan dengan membandingkan nilai yang dideteksi oleh sensor dengan nilai standar (termometer raksa, *turbidity meter*). Setelah melakukan regresi linier, didapatkan persamaan yang dimasukkan ke dalam program mikrokontroler. Hasil kalibrasi DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 7. Akurasi sensor DS18B20 sebesar 98,82 persen dengan RMSE 0,54°C. Perbandingan data sensor DHT21 dan termometer pada Gambar 8 menunjukkan bahwa akurasi DHT21 sebesar 96,87 persen dengan RMSE sebesar 0,0013°C yang menandakan sensor ini akurat. Akurasi sensor kekeruhan diperoleh sebesar 95,92 persen dengan RMSE sebesar 8,7 NTU. Hasil kalibrasi sensor kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 9. Persamaan rumus yang digunakan dalam *firmware* dipilih berdasarkan selisih yang terkecil, yaitu regresi linier saat tingkat kekeruhan kurang dari 649 dan regresi polynomial orde 3 saat tingkat kekeruhan lebih dari atau sama dengan 649.



Gambar 7. Hasil regresi linier sensor DS18B20



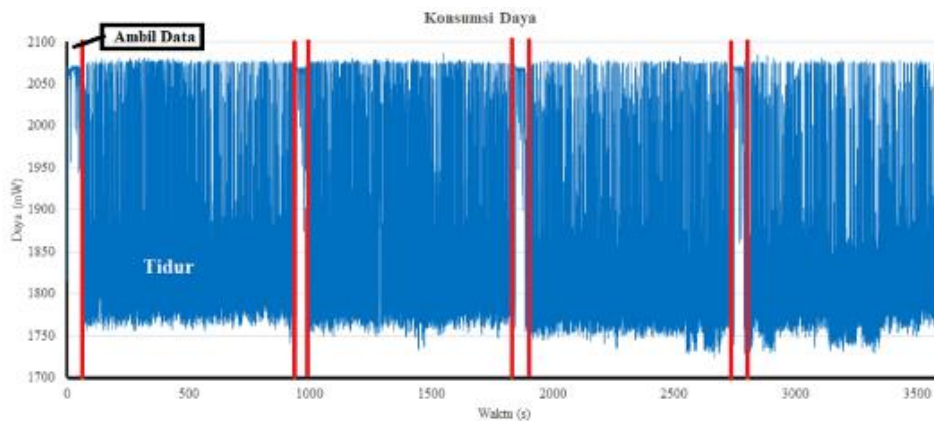
Gambar 8. Regresi linier kalibrasi sensor DHT21



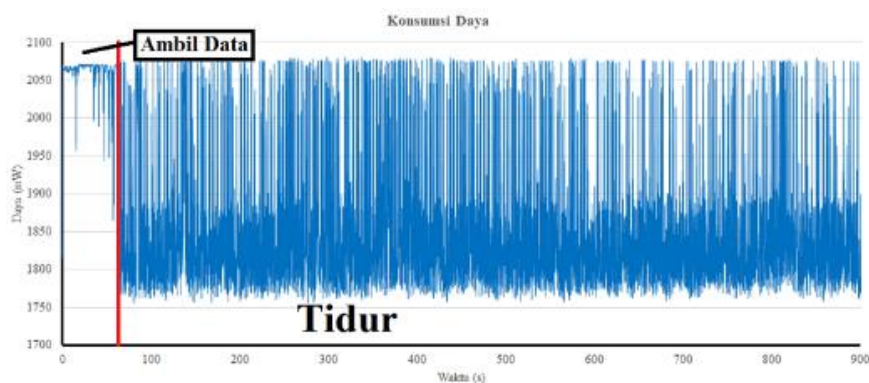
Gambar 9. Grafik data sensor kekeruhan dan turbidity meter

3.3. Uji Konsumsi Daya

Hasil uji konsumsi daya perangkat menunjukkan bahwa rata-rata konsumsi daya sebesar 1,85W. Hasil dari pengukuran, yaitu konsumsi daya selama satu jam dapat dilihat pada Gambar 10. Gambar 11 menunjukkan grafik konsumsi daya perangkat selama 15 menit, dimana adanya *spike* pada saat perangkat dalam *mode* tidur dikarenakan lampu LED dari sensor kekeruhan yang menyala. Energi baterai sebesar 25,2 Wh memungkinkan perangkat bekerja selama 13,6 jam. Solar panel digunakan untuk mengisi ulang energi baterai dan besar daya solar panel yang digunakan sebesar 4,2 Wp, dengan empat keping solar panel masing-masing 1,2 Wp.



Gambar 10. Hasil pengukuran konsumsi daya selama satu jam



Gambar 11. Hasil konsumsi daya selama 15 Menit

3.4. Uji Lapangan

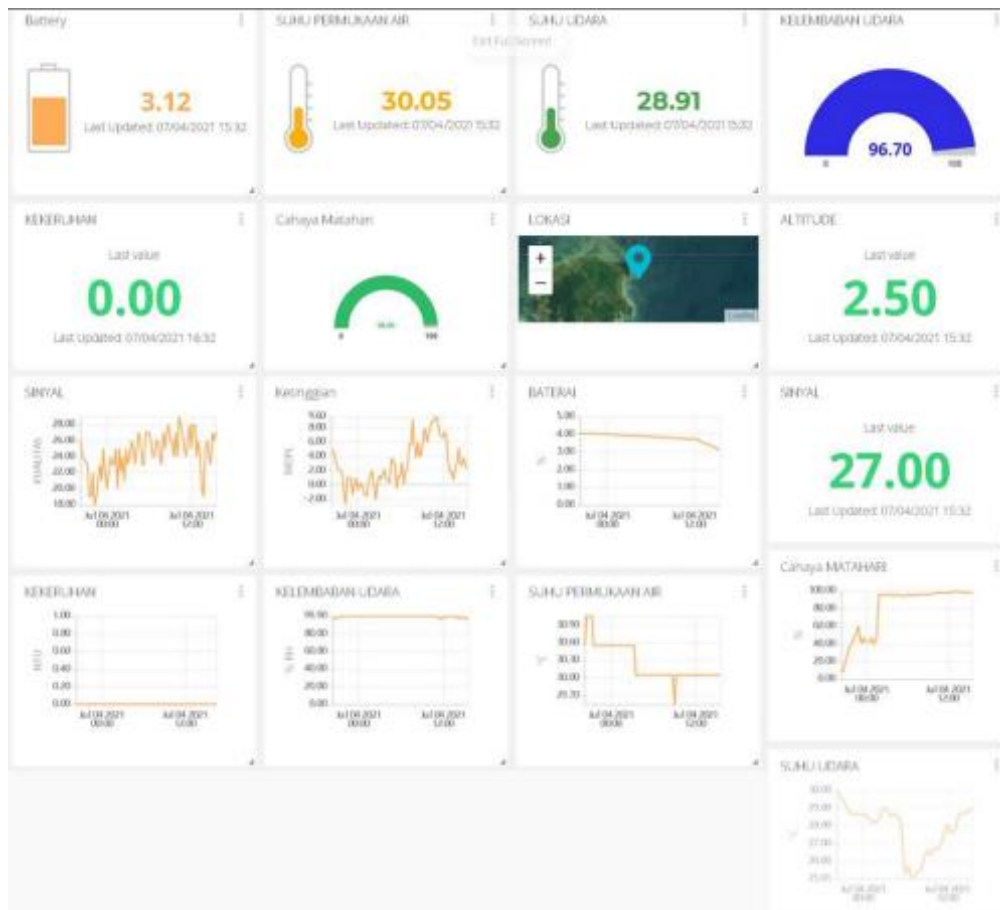
Uji lapangan dilakukan dengan meletakkan perangkat buoy seperti terlihat pada Gambar 12 di perairan terumbu karang di Tanjung Berakit, ditunjukkan pada Gambar 13. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja perangkat dalam mengambil data parameter oseanografi dan meteorologi. Uji lapangan dilaksanakan selama dua hari, data uji lapangan dapat dilihat di *dashboard* Ubidots pada tautan <https://tinyurl.com/Hafizfm>. *Dashboard* Ubidots menampilkan *widget* kapasitas baterai, nilai suhu permukaan air, udara, kelembaban udara, nilai kekeruhan, cahaya matahari, lokasi, ketinggian, grafik sinyal, ketinggian, baterai, kekeruhan, kelembaban udara, suhu permukaan air, intensitas cahaya matahari, dan suhu udara, seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 12. Perangkat buoy observasi



Gambar 13. Posisi peletakan perangkat buoy observasi di perairan terumbu karang



Gambar 14. Tampilan dashboard Ubidots saat pengambilan data

3.5. Pola Parameter di Perairan Terumbu Karang

Pola suhu permukaan air dan udara menunjukkan bahwa suhu tertinggi terjadi pada siang hari dan mulai menurun pada malam hari, seperti dapat dilihat pada Gambar 15. Data suhu permukaan air rata-rata sesuai standar Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004 mengenai standar baku mutu air laut untuk perairan terumbu karang [11]. Pola kelembapan udara menunjukkan nilai terendah 90,5% dan mayoritas nilai berada di 99%, ditunjukkan pada Gambar 16. Pola intensitas cahaya matahari

menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari menurun seiring waktu menuju malam hari, seperti terlihat pada Gambar 17. Kekeruhan permukaan air laut berada di nilai 0 NTU, menunjukkan bahwa perairan cerah.



Gambar 15. Pola suhu permukaan air laut dan suhu udara di perairan terumbu karang



Gambar 16. Pola kelembaban udara di perairan terumbu karang



Gambar 17. Pola intensitas cahaya matahari di perairan terumbu karang

3.5. Analisis dan Pembahasan

Pengembangan buoy observasi data parameter oseanografi dan meteorologi telah berhasil dimana wahana bouy dapat mengapung dengan stabil dan dapat mengambil data dengan baik. Penggunaan buoy sebagai wahana untuk perangkat juga digunakan oleh [9], [12]–[15]. Penelitian pada [9] menyatakan bahwa buoy sangat cocok digunakan sebagai wahana perangkat untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan di daerah pesisir yang dangkal. Selain itu, buoy dapat digunakan dalam aplikasi mitigasi bencana pada buoy tsunami [16] dan perikanan pada rumpon ikan tuna [12].

Berdasarkan kalibrasi sensor yang telah dilakukan diperoleh akurasi sensor DS18B20 sebesar 98,82 persen dengan RMSE 0,54 °C yang masih sesuai dengan *data sheet* sensor [17]. Sensor DHT21 mendapatkan akurasi sebesar 99,99 persen dengan RMSE 0,0013°C yang masih sesuai dengan rentang akurasi dari yang ada di *data sheet* [18]. Sensor kekeruhan mendapatkan akurasi 95,92 persen hingga 96,76 persen dengan RMSE 8,7 NTU hingga 46 NTU.

Pengukuran konsumsi daya perangkat dilakukan untuk mengetahui besar daya yang diperlukan perangkat untuk bekerja [19]. Dari pengukuran konsumsi daya perangkat selama satu jam didapatkan hasil sebesar 1,85 Wh yang akan digunakan untuk menentukan besar daya baterai dan *solar panel*. Daya tersebut dibutuhkan untuk proses pengambilan data lokasi, suhu permukaan air laut, kekeruhan permukaan air laut, suhu dan kelembaban udara, serta intensitas cahaya matahari, kemudian proses penyimpanan data dan pengiriman data.

Setelah dilakukan uji lapangan, perangkat berhasil mengambil, menyimpan, dan menampilkan data suhu permukaan air laut, kekeruhan permukaan air laut, suhu udara, kelembaban udara, serta intensitas cahaya matahari. Berdasarkan hasil uji lapangan yang telah dilakukan, dapat dilihat pola suhu udara dan lebih bervariasi. Hal ini diduga karena dipengaruhi cuaca seperti yang disampaikan oleh [20] sedangkan suhu permukaan air laut lebih stabil dan masih sesuai dengan baku mutu suhu permukaan air laut dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 2004 [11]. Tingkat kelembaban udara saat pengujian lebih tinggi pada malam hari dibandingkan siang hari dikarenakan pengaruh intensitas cahaya matahari [21].

Intensitas cahaya tinggi pada siang hari kemudian menurun pada malam hari. Namun, pada malam hari terjadi kenaikan intensitas yang terbaca oleh sensor, disebabkan oleh adanya cahaya bulan pada malam hari. Sensor *light dependent resistor* (LDR) tidak hanya mengukur intensitas cahaya matahari, melainkan juga mengukur intensitas dari cahaya bulan. Dari data kekeruhan yang didapatkan terlihat bahwa perairan di lokasi pengujian cerah. Hal ini dapat dilihat pada data kekeruhan yang berada di 0 NTU dan nilai ini masih sesuai baku mutu kekeruhan perairan terumbu karang.

Pasokan daya yang digunakan perangkat pada uji lapangan adalah baterai berjumlah dua buah dengan daya total sebesar 25,2 Wh. Perangkat ini juga menggunakan *solar panel* dengan total daya maksimal 4,2 Wp yang digunakan untuk mengisi ulang daya baterai dengan estimasi waktu enam jam dalam kondisi cuaca cerah. Berdasarkan perhitungan konsumsi daya perangkat selama satu jam sebesar 1,85 Wh dibagi dengan total daya baterai didapatkan bahwa baterai dapat digunakan selama 13,6 jam selama malam hari, sedangkan pada siang hari daya baterai diisi ulang dengan menggunakan *solar panel*. Dari hasil tersebut, didapatkan estimasi bahwa perangkat mampu bekerja secara terus menerus. Namun, berdasarkan hasil uji lapangan, perangkat hanya dapat bekerja selama 23 jam yang dikarenakan pada saat uji lapangan cuaca mendung sepanjang hari sehingga

solar panel tidak dapat bekerja maksimal dalam melakukan pengisian ulang daya baterai [22].

4. Kesimpulan

Pengembangan buoy observasi data parameter oseanografi dan meteorologi telah berhasil dilakukan, dengan wahana bouy yang stabil dan mampu mengambil data dengan baik. Akurasi sensor DS18B20 sebesar 98,82 persen dengan RMSE 0,54 °C dan akurasi sensor DHT21 sebesar 99,99 persen dengan RMSE 0,0013°C, serta akurasi sensor kekeruhan sebesar 95,92 persen hingga 96,76 persen dengan RMSE 8,7 NTU hingga 46 NTU. Konsumsi daya perangkat selama satu jam sebesar 1,85 Wh, yang akan digunakan untuk menentukan besar daya baterai dan *solar panel*. Hasil uji lapang menunjukkan pola suhu udara dan permukaan air laut yang bervariasi dan stabil, serta tingkat kelembaban udara yang lebih tinggi pada malam hari. Intensitas cahaya matahari menurun pada malam hari, namun terdapat kenaikan intensitas akibat cahaya bulan. Kekeruhan air di lokasi pengujian berada di 0 NTU yang masih sesuai baku mutu. Baterai dengan daya total 25,2 Wh dan *solar panel* dengan daya maksimal 4,2 Wp digunakan sebagai pasokan daya untuk perangkat.

Daftar Pustaka

- [1] F. A. Idrus, M. D. Chong, N. S. Abd Rahim, M. Mohd Basri, and J. Musel, "Physicochemical parameters of surface seawater in Malaysia exclusive economic zones off the coast of Sarawak," *Borneo J. Resour. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.33736/bjrst.388.2017.
- [2] Y. Setiawan, H. Tanudjaja, and S. Octaviani, "Penggunaan internet of things (IoT) untuk pemantauan dan pengendalian sistem hidroponik," *Tesla J. Tek. Elektro*, vol. 20, no. 2, p. 175, 2019, doi: 10.24912/tesla.v20i2.2994.
- [3] M. P. Suhana, "Karakteristik sebaran menegak dan melintang suhu dan salinitas perairan selatan Jawa," *Din. Marit.*, vol. 6, no. 2, pp. 9–11, 2018, [Online]. Available: <https://ojs.umrah.ac.id/index.php/dinamikamaritim/article/view/311>
- [4] A. Muhtadi, "Produktivitas primer perairan," 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Ahmad-Muhtadi/publication/321865220_PRODUKTIVITAS_PRIMER_PERAIRAN/links/5a361150a6fdcc769fd4ad26/PRODUKTIVITAS-PRIMER-PERAIRAN.pdf
- [5] A. B. Tampubolon, O. Gustin, and S. N. Chayati, "Pemetaan suhu permukaan laut menggunakan citra satelit aqua MODIS di perairan Provinsi Kepulauan Riau," 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316622366_PEMETAAN_SUHU_PERMUKAAN_LAUT_MENGGUNAKAN_CITRA_SATELIT_AQUA_MODIS_DI_PERAIRAN_PROVINSI KEPULAUAN_RIAU
- [6] M. Iqbal, I. Jaya, and M. Purba, "Rancang bangun dan uji kinerja drifter buoy (Design and performance test of drifter buoy)," *J. Teknol. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 1, no. 2, pp. 57–70, 2011.
- [7] K. K. Patel and S. M. Patel, "Internet of things-IOT: Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges," *Int. J. Eng. Sci. Comput.*, pp. 6122–6131, 2016, [Online]. Available: <http://www.opjstamnar.com/download/Worksheet/Day-110/IP-XI.pdf>

- [8] A. T. Putra and Risfendra, "Penggunaan aplikasi Ubidots untuk sistem kontrol dan monitoring pada gudang gula berbasis Arduino Uno," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.120.
- [9] I. Jaya and T. Hestirianoto, "Rancang bangun instrumen sistem buoy menggunakan A-Wsn protokol Zigbee untuk pengamatan ekosistem pesisir," *Ilmu Kelaut.*, 2013, [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/67213859/pdf.pdf>
- [10] T. Chai and R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature," *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.
- [11] Kementerian Lingkungan Hidup, *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*, no. 51. 2004, pp. 1–8.
- [12] H. Chandra, "Teknologi buoy untuk observasi in-situ perairan sekitar rumpon," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 8, no. 3, p. 111, 2014.
- [13] R. Pramana, E. Prayetno, and S. Nugraha, "Sistem kamera pengamatan bawah laut berbasis teknologi cloud computing," *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 70–77, 2018, doi: 10.31629/sustainable.v7i2.672.
- [14] S. Zhang *et al.*, "Prototype system design of mooring buoy for seafloor observation and construction of its communication link," *J. Coast. Res.*, vol. 83, no. sp1, p. 41, 2019, doi: 10.2112/SI83-008.1.
- [15] K. Bailey *et al.*, "Coastal mooring observing networks and their data products: Recommendations for the next decade," *Front. Mar. Sci.*, vol. 6, 2019, doi: 10.3389/fmars.2019.00180.
- [16] I. E. Mulia and K. Satake, "Developments of tsunami observing systems in Japan," *Front. Earth Sci.*, vol. 8, 2020, doi: 10.3389/feart.2020.00145.
- [17] Maxim Integrated, "DS18B20," 2015. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [18] L. Aosong Electronics Co., "Temperature and humidity module DHT11 product manual," 2013.
- [19] Mohamad Shofwany, "Studi konsumsi daya pada sistem minimum mikrokontroler sebagai inti perangkat IoT," *eProceeding Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [20] A. N. Jannah and S. -, "Hubungan perubahan cuaca dengan indeks kecerahan matahari, suhu lingkungan, dan kelembapan udara di Desa Karanganyar," *Karst J. Pendidik. Fis. DAN Ter.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, 2021, doi: 10.46918/karst.v4i1.929.
- [21] M. N. Dalengkade, "Fluktuasi temporal kelembaban udara di dalam dan luar ekosistem mangrove," *Barekeng J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 14, no. 2, pp. 159–166, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss2pp159-166.
- [22] D. A. Pratama and I. H. Siregar, "Uji kinerja panel surya tipe Polycrystalline 100 WP," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 3, 2018.