



Sistem pemantauan suhu dan kelembapan pasir sarang penyu menggunakan Arduino Uno

Sand temperature and moisture monitoring system for turtle nests using Arduino Uno

Hendi Santoso¹⁾, Totok Hestirianoto²⁾, Indra Jaya²⁾

¹⁾ Program Studi Teknologi Kelautan, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB University
Gedung Marine Center Lantai 3, FPIK-IPB, Bogor, Indonesia 16680

²⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University
Gedung Marine Center Lantai 3, FPIK-IPB, Bogor, Indonesia 16680

Cara sitasi: H. Santoso, T. Hestirianoto, and I. Jaya, " Sistem pemantauan suhu dan kelembapan pasir sarang penyu menggunakan Arduino Uno," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 8-14, 2021. doi: [10.14710/jtsiskom.2020.13725](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13725), [Online].

Abstract - This study aims to develop a turtle nests real-time monitoring system using the Arduino Uno to measure the temperature and moisture of sand used conveniently for certain applications. Sand temperature measurement uses a DS18B20 waterproof sensor, sand moisture uses SKU:SEN0193, and air temperature and humidity using DHT22. The micro SD card module is used to store data from sensor calculations in real-time and continuously. The measuring instrument was designed to be portable and easy to use. The material used is polypropylene that has dimensions of 11x6x18 cm³. Using the regression linear analysis, there was no significant difference in temperature measurements using the DS18B20 sensor and analog thermometer and sand humidity using an SKU:SEN0193 sensor and analog humidity measuring instrument.

Keywords – sea turtle nests; sand monitoring; Arduino Uno; sand temperature; sand moisture

Abstrak – Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan sarang penyu secara real-time menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk memudahkan peneliti atau masyarakat dalam mengukur kelembapan dan suhu pasir yang dimanfaatkan untuk bidang tertentu. Pengukuran suhu pasir menggunakan sensor DS18B20 yang tahan air, kelembapan pasir menggunakan sensor SKU:SEN0193, serta suhu dan kelembapan udara menggunakan DHT22. Modul kartu mikroSD berfungsi untuk menyimpan data hasil perhitungan sensor secara real-time dan terus-menerus. Desain alat ukur dirancang untuk mudah dibawa dan digunakan. Bahan yang digunakan adalah plastik polypropylene yang mempunyai dimensi 11x6x18 cm³. Berdasarkan analisis menggunakan uji regresi linier, diperoleh hasil bahwa

tidak ada perbedaan yang signifikan dalam pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 dan termometer air raksa serta kelembapan pasir menggunakan sensor SKU:SEN0193 dan alat ukur kelembapan analog.

Kata kunci – sarang penyu; pemantauan pasir; Arduino uno; suhu pasir; kelembapan pasir

I. PENDAHULUAN

Penyu menurut perkembangbiakannya termasuk kelompok binatang ovipar. Pembuahan telur berlangsung di dalam tubuh induk. Janin yang terkandung di dalam telur yang dikeluarkan induk sepenuhnya berkembang di luar tubuh. Janin penyu pada perkembangannya yang normal memerlukan kesesuaian suhu dan kadar air lingkungan sarang atau penetasan [1].

Penyu merupakan hewan TSD atau *Temperature-dependent Sex Determination* [2]. Suhu pasir sarang merupakan perpaduan antara suhu lingkungan dengan suhu telur selama masa inkubasi. Suhu yang baik untuk keberhasilan yang baik selama masa inkubasi telur penyu adalah berkisar 25–33 °C [3]. Bila suhu di dalam sarang diluar batas suhu tersebut, maka embrio tidak akan tumbuh dan mati. Bila suhu kurang dari 29 °C, maka sebagian besar adalah tukik jantan. Sebaliknya, bila suhu lebih dari 29 °C, maka yang akan menetas adalah sebagian besar tukik betina [4], [5]. Telur diinkubasi dalam inkubator buatan dengan induksi suhu pada suhu 30-33° C yang akan menghasilkan seks betina, dan pada suhu 26-27° C yang menghasilkan seks jantan [6], [7].

Tingkat kelembapan pasir dalam sarang terkait dengan pemilihan tempat bertelur [8]. Penyu menyukai kelembapan pasir yang kecil dan cenderung kering. Kadar air lingkungan sarang penting untuk kelangsungan hidup embrio [9]. Kadar air yang berlebihan menyebabkan tingginya kelembapan. Kelembapan tinggi di lingkungan sarang meningkatkan

^{*)} Penulis korespondensi (Hendi Santoso)
Email: hendisantoso@apps.ipb.ac.id

pertumbuhan jamur dan bakteri sehingga dapat menutupi pori-pori cangkang telur [10].

Pemantauan terhadap penyu merupakan salah satu langkah penting untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan upaya pengelolaan konservasi penyu. Kegiatan pemantauan dari sisi waktu ada yang dilakukan secara rutin, periodik dan insidental, tergantung pada kondisi populasi penyu dan intensitas kehadiran penyu pada suatu kawasan konservasi penyu. Salah satu platform yang digunakan untuk pemantauan adalah berbasis mikrokontroler.

Mikrokontroler digunakan sebagai pusat pengendali masukan dan keluaran dari alat pemantauan sarang penyu. Salah jenis mikrokontroler yang sering digunakan adalah AVR ATmega. Kemampuan untuk mengubah data analog ke digital (ADC) juga dimiliki oleh mikrokontroler ini [11]. Salah satu platform yang menggunakan AVR ini adalah Arduino Uno [12], [13].

Penelitian ini mengembangkan instrumen pemantau dan perekam data suhu dan kelembapan lingkungan sarang penyu. Secara umum, instrumen ini mirip dengan *datalogger*. Komponen utama terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno sebagai otak utama, sensor suhu, sensor kelembapan, penampil *liquid crystal display* (LCD), dan kartu microSD sebagai output penyimpanan data [14], [15]. Kartu microSD digunakan untuk menyimpan data suhu permukaan laut seperti halnya dalam [16] untuk menyimpan data koordinat dan file konfigurasi GPS dalam *drifter buoy*.

Penelitian ini diharapkan mampu membantu pengamat dalam pengambilan data suhu dan kelembapan sarang dan lingkungan penyu. Instrumen otonom ini diharapkan dapat menggantikan metode pengukuran konvensional yang selama ini digunakan untuk memberikan informasi basis data suhu dan kelembapan sarang penyu selama masa inkubasi. Memberikan kebaruan dalam pencatat suhu dan kelembapan pasir penyu secara terus menerus dan *real-time*.

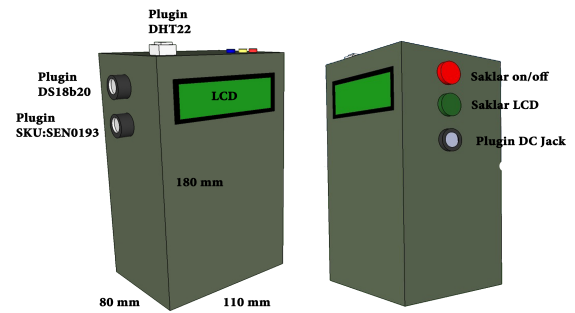
II. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu meliputi perancangan alat yang terdiri atas perancangan mekanik, sistem elektronik, dan perangkat lunak, implementasi, dan uji laboratorium dan uji coba lapangan.

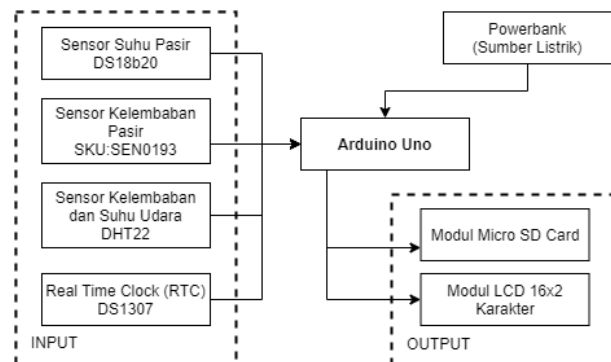
A. Perancangan sistem

Perancangan instrumen pengukur kelembapan suhu dan kelembapan pasir berbasis mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 1. Desain instrumen menggunakan piranti lunak Google Sketch Up.

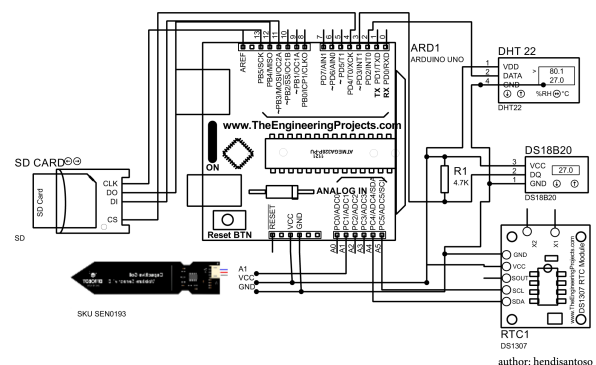
Instrumen terdiri atas empat buah sensor dan sebuah koordinator. Pembuatan masing-masing instrumen melalui dua tahap, yaitu pembuatan perangkat keras dan pembuatan perangkat lunak berupa *firmware*. Sistem elektronik instrumen ini terdiri atas beberapa bagian, yaitu papan arduino uno sebagai pusat pengendali sistem, DHT22 sebagai sensor kelembapan dan suhu udara [17], DS18B20 sebagai sensor suhu pasir [18],



Gambar 1. Desain instrumen



Gambar 2. Desain sistem elektronik instrumen



Gambar 3. Skema rangkaian sistem elektronik

SKU:SEN0193 sebagai sensor kelembapan pasir [19], RTC (DS 1307) sebagai pencatat waktu, kartu micro SD sebagai media penyimpanan data hasil rekaman [20], [21]. Hubungan fungsional komponen elektronik pada instrumen dalam Gambar 2 dijadikan dasar dalam menghubungkan setiap rangkaian komponen elektronik.

Skematik rangkaian dinyatakan dalam Gambar 3. Port digital pin D2 Arduino Uno digunakan sebagai masukan data dari sensor DHT22, port digital D3 sebagai input sensor DS18B20, port masukan analog A0 sebagai input SKU:SEN0193, port digital SPI (pin D4, D11, D12, dan D13) sebagai masukan modul microSD, port analog A4 dan A5 sebagai masukan I2C RTC DS1307 dan LCD 16x2.

Perancangan perangkat lunak *firmware* dilakukan dengan menggunakan pemrograman IDE Arduino versi 1.8.12. *Firmware* yang telah dibuat diunduh ke Arduino

Uno. *Firmware* ini memiliki fungsi untuk merekam data kelembapan pasir, mengukur suhu pasir, kelembapan udara, mengukur suhu udara, mencatat waktu perekaman, dan melakukan penyimpanan data ke dalam kartu microSD. Alur perangkat lunak pada instrumen ditunjukkan pada [Algoritme 1](#).

B. Pengujian sistem

Pengujian sistem meliputi uji laboratorium dan uji lapangan. Uji laboratorium yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji pembacaan sensor, uji akurasi sensor suhu pasir, dan uji akurasi sensor kelembapan pasir. Pengujian sensor kelembapan dan suhu pasir dilakukan dengan cara memasukkan sensor ke dalam pasir dan dilakukan percobaan perhitungan secara manual selama 12 x 24 jam setiap satu jam sekali. Data dari kedua pengukuran tersebut dianalisis dan dicari nilai akurasinya.

Uji akurasi sensor suhu dilakukan dengan cara membandingkan data yang diperoleh dari suhu pasir yang diukur menggunakan termometer raksa dengan pembacaan sistem oleh sensor DS18B20. Uji akurasi sensor kelembapan pasir dilakukan dengan cara membandingkan data yang diperoleh dari kelembapan pasir yang diukur menggunakan alat ukur kelembapan analog dengan pembacaan sistem oleh sensor SKU:SEN0193.

Pengujian lapang dilakukan di Balai Konservasi Penyu Pantai Pangumbahan, Desa Pangumbahan, Kecamatan Ciracap, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Pengujian dilakukan pada tanggal 30 Juni sampai 6 Agustus 2020.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi sistem

Desain alat ukur dirancang untuk mudah dibawa (portabel) dan mudah untuk digunakan. Instrumen ini dilengkapi dengan sensor suhu pasir, kelembapan pasir, suhu udara, dan kelembapan udara. Instrumen memiliki beberapa bagian ([Gambar 4](#)), yaitu kotak bawah, kotak atas dan penutup LCD, Kotak instrumen dibuat dengan menggunakan bahan plastik polypropylene. Instrumen pencatat lifeform dan genus karang memiliki dimensi total 110mm x 80mm x 180mm dengan bobot total sebesar 225 gr.

B. Uji laboratorium

Pengujian akurasi sensor suhu ds18b20 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai antara suhu pada termometer raksa dengan suhu yang dikeluarkan oleh sensor DS18B20 ([Gambar 5](#)). Rata-rata perbedaan suhu sebesar 0,35 °C dan nilai regresi linier 0,96. Nilai regresi linier lebih dari 0,7 ini mempunyai hubungan korelasi yang sangat kuat menurut [22].

Algoritme 1. Alur perangkat lunak sistem Arduino

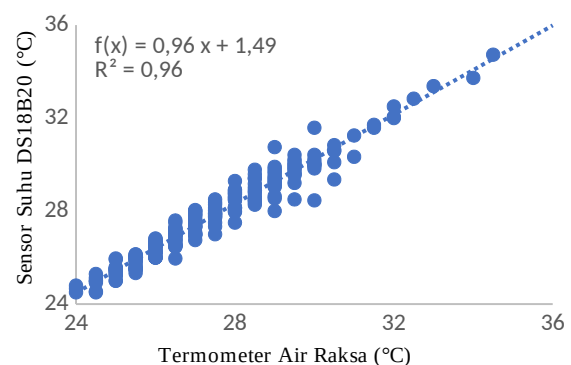
```

void Setup()
1: init_RTC_DS1307
2: init_DS18B20
3: init_SEN0193
4: init_DHT22
5: if (init_SDcard) then SDcard = true
   endif
void Loop()
6: time = get_RTC
7: sand_humidity = get_SEN0193
8: sand_temperatur = get_DS18B20
9: air_temp_hum = get_DHT22
10: if (SDcard) then
11:   save_dataCSV(time, sand_humidity,
     sand_temperatur, air_temp_hum)
   endif

```



Gambar 4. Bentuk instrumen pemantau sarang penyu



Gambar 5. Kecocokan data pengukuran suhu dengan DS18B20 dan termometer air raksa

Jika ditinjau dari nilai korelasi sebesar 0,96, maka nilai suhu yang terukur dari sensor DS18B20 tidak berbeda nyata dengan pengukuran termometer air raksa. Sensor digital DS18B20 mempunyai nilai yang hampir sama dengan pengukuran menggunakan sensor analog termometer air raksa.

Pengujian akurasi sensor kelembapan pasir menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai antara kelembapan pada alat ukur kelembapan pasir analog

dengan kelembapan yang dikeluarkan oleh sensor SKU:SEN0193 (Gambar 6). Rata-rata perbedaan kelembapan pasir sebesar 0,62 % dan nilai korelasinya 0,87. Jika ditinjau dari nilai koreasi sebesar 0,87, maka nilai kelembapan pasir yang terukur dari sensor SKU:SEN0193 tidak berbeda nyata dengan pengukuran alat ukur kelembapan analog. Sensor digital SKU:SEN0193 mempunyai nilai yang hampir sama dengan pengukuran menggunakan sensor analog kelembapan pasir.

Uji coba kinerja alat dilakukan untuk melihat data yang dihasilkan. Semua sensor digabungkan dan diaktifkan pada saat uji coba. Data yang dihasilkan dari instrumen dapat disimpan di dalam microSD dan dibaca pada komputer. Uji coba laboratorium dilaksanakan untuk melihat performa instrumen pengukur kelembapan pasir dan udara.

Uji coba laboratorium ini menjadi dasar seberapa mudah penggunaan instrumen pencatat pengukur kelembapan pasir dan udara. Pada uji coba ini, instrumen diletakkan di dalam wadah berisi pasir (Gambar 7). Hasil pengukuran dilihat di dalam microSD yang sudah ditanam di dalam instrumen. Instrumen mencatat perubahan suhu dan kelembapan pasir selama 12 x 24 jam setiap 5 menit, pada tanggal 8-20 April 2020. Hasil pengukuran suhu pasir dan udara ditunjukkan pada Gambar 8, sedangkan hasil pengukuran kelembapan pasir dan udara ditunjukkan pada Gambar 9.

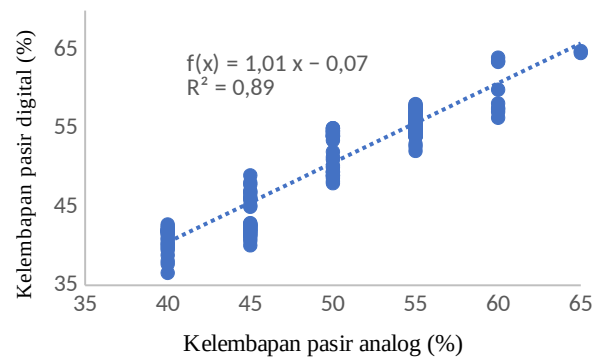
Gambar 8 menunjukkan hubungan antara suhu dengan alat ukur sensor DS18B20 dan termometer air raksa terhadap waktu. Respons sensor DS18B20 lebih baik dibandingkan dengan termometer. Hal ini dapat ditunjukkan dengan kehalusan grafik pada pengukuran sensor DS18B20 dibandingkan dengan termometer air raksa. Waktu respons sensor DS18B20 dan termometer sama pada suhu yang tinggi, yaitu sekitar 36 °C. Kedua alat ukur sama-sama segera merespons sinyal yang ada.

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara kelembapan pasir dan udara dengan alat ukur sensor SKU:SEN0193 dan DHT22 terhadap waktu. Kelembapan pasir tidak mengikuti suhu udara. Hubungan antara kelembapan pasir dan udara dilakukan dengan uji-t. Analisis menggunakan taraf atau interval kepercayaan 95 % diperoleh t-hitung (t-stat) lebih besar dari t-tabel (*t-critical two-tail*).

Hasil ini menunjukkan bahwa tidak adanya hubungan antara perubahan kelembapan pasir dengan kelembapan udara. Uji-t menunjukkan adanya *error bar* pengukuran selama 12 hari [23]. Banyaknya fluktuasi pengukuran data suhu maupun data kelembapan pasir terlihat dari pengukuran 1 sampai pengukuran hari ke 12. Fluktuasi tidak dapat terlihat pada pengukuran manual.

C. Uji lapangan

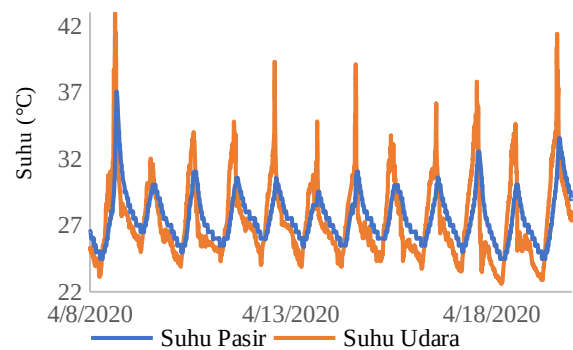
Uji lapangan dilakukan di Konservasi Penyus Pangumbahan, tempat penetasan telur penyus semi alami. Lokasi penetasan penyus semi alami berjarak 103 meter dari pasang terjauh dengan ketinggian 9 meter dari permukaan laut, sedangkan lokasi sarang alami



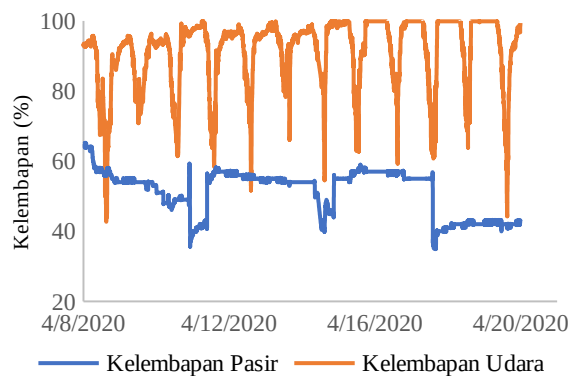
Gambar 6. Kecocokan data pengukuran kelembapan SKU:SEN0193 dan sensor alat ukur kelembapan analog



Gambar 7. Uji coba laboratorium



Gambar 8. Suhu pasir dan udara



Gambar 9. Kelembapan pasir dan udara

penyus berjarak 42 dari pasang terjauh dengan ketinggian 4 meter dapat dilihat pada Gambar 10.

Instrumen diletakkan ke dalam tempat penetasan penyu pada kedalaman 50 cm (**Gambar 11**). Pengukuran dilakukan mulai tanggal 30 Juni sampai 6 Agustus 2020 dengan interval pencuplikan 5 menit.

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan instrumen, suhu pasir sarang penyu semi alami Konservasi Penyu Pangumbahan berkisar antara 27,9–33,2 °C dengan rata-rata 30,2 °C (**Gambar 12**). Suhu udara berkisar antara 21,5–38,9 °C dengan rata-rata 27,5 °C. Hasil pengukuran suhu sarang di sarang penyu semi alami di Konservasi Penyu Pangumbahan pada daerah terekspos berkisar antara 29–31 °C, sedangkan pada daerah ternaung berkisar 28–30 °C. Suhu luar sarang pada daerah terekspos berkisar antara 26–36 °C, sedangkan pada daerah ternaung berkisar antara 25–35 °C [24].

Perbedaan suhu pada setiap sarang dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima pada permukaan sarang karena sebagian kalor akan diserap dan merambat pada permukaan tanah yang lebih dalam dan sebagian lagi akan dipantulkan [25]. Suhu selama masa inkubasi jauh lebih rendah atau lebih tinggi dari suhu optimal 28–32 °C, maka hasil penetasan akan kurang dari 50 % [26]. Suhu yang masih ditolerir oleh keberhasilan menetas bagi telur penyu adalah 25–34°C [27]. Pada kisaran suhu 26– 32°C, perubahan 1 °C akan menambah atau mengurangi masa inkubasi selama 5 hari [28].

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan instrumen, kelembapan pasir sarang penyu semi alami Konservasi Penyu Pangumbahan berkisar antara kelembapan pasir berkisar antara 21–41 % dengan rata-rata 34,3 % (**Gambar 13**). Kelembapan udara berkisar antara 38,1– 89,7 % dengan rata-rata 81,9 %.

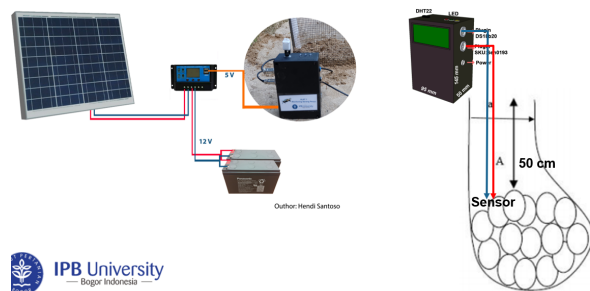
Kelembapan pasir rata-rata sepanjang pantai Pangumbahan cenderung merata dengan jangkauan kelembapan sepanjang lokasi berkisar 19–28 % dengan kelembapan rata-rata sebesar 26 %, yang berbeda dengan Afandy [29]. Perbedaan nilai kelembapan tersebut disebabkan faktor cuaca, yaitu adanya hujan yang terus-menerus sepanjang melakukan penelitian yang membuat kelembapan pasir semakin basah.

Kelembapan pasir selama ini diduga menjadi indikasi yang memberikan pengaruh terhadap perilaku pemilihan lokasi peneluran penyu hijau di suatu tempat. Penyu diduga mempunyai kemampuan deteksi non visual, seperti suhu dan kelembapan, dalam proses penentuan lokasi peneluran. Dari sejak kenaikan penyu ke pantai untuk membuat sarang hingga menetasnya tukik, temperatur dan suhu memegang peranan yang sangat penting. Embrio pada telur penyu sangat bergantung kepada kelembapan sarang yang sesuai [30]. Selain itu, kelembapan pasir mempunyai pengaruh besar terhadap kesuksesan penetasan yang lebih tinggi dan menghasilkan tukik dengan tingkat kesehatan tinggi yang berarti meningkatkan produksi [31]. Oleh karena itu, tingkat kelembapan pasir harus berada pada tingkat yang sesuai dan memenuhi syarat bagi tumbuh kembangnya embrio. Kelembapan optimal untuk penetasan adalah 25 % [32]. Pemantauan secara *real-time* terhadap suhu dan kelembapan pasir dalam kajian ini mempunyai peranan penting.

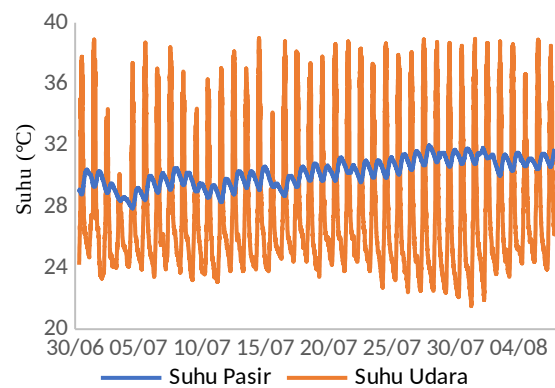


Keterangan:
A. Sarang penyu alami dengan lokasi 7°19'44.80"S 106°23'45.95"E, Elevasi 4 Meter
B. Sarang penyu semi alami dengan lokasi 7°19'47.42"S 106°23'51.11"E, Elevasi 9 meter

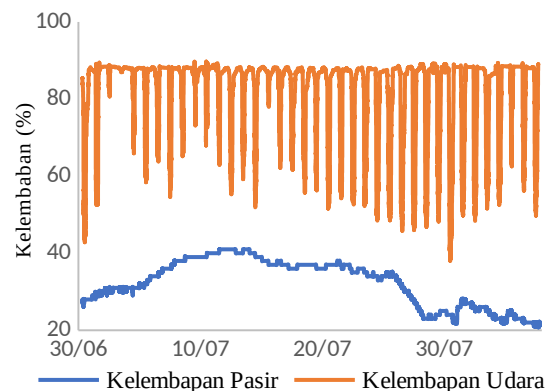
Gambar 10. Lokasi sarang alami dan semi alami



Gambar 11. Lokasi peletakan instrumen dan sistem energi instrumen



Gambar 12. Suhu pasir dan udara



Gambar 13. Kelembapan pasir dan udara

Tingkat keberhasilan penetasan penyu pada penelitian kali ini mempunyai presentase 81,5 % dengan jumlah tukik yang menetas sebanyak 65 ekor dari 81 butir telur yang ada. Tingkat keberhasilan penetasan penyu hijau masih sesuai dengan beberapa penelitian. Kesuksesan *hatching* Penyu Hijau berkisar antara 87,7–96,7 % [33], sedangkan persentase penetasan telur hijau pada sarang semi alami berkisar antara 80–100 %, dengan nilai rata-rata 96,2 % [34].

Dalam upaya konservasi penyu, target yang ingin dicapai adalah terjadinya periode inkubasi yang ideal, yaitu waktu perkembangan embrio sejak telur diletakkan di dalam pasir hingga menetas dan keluar dari cangkang [35]. Periode inkubasi ideal ini dapat menghasilkan rasio jenis kelamin jantan dan betina yang seimbang. Kondisi ini terkait dengan adanya pengaruh suhu dan lamanya periode inkubasi. Suhu merupakan faktor penentu jenis kelamin pada sebagian besar reptilia termasuk penyu [36]. Periode inkubasi yang dapat menghasilkan tukik dengan jenis kelamin yang seimbang berkisar antara 59 sampai 65 hari, yang merupakan target dari upaya konservasi penyu [37]. Pada penelitian ini, telur menetas pada periode yang cukup singkat, yaitu 52 hari.

IV. KESIMPULAN

Instrumen ini dapat mencatat secara *autonomous* dan *logger* setiap 5 menit sekali. Dengan uji regresi, tidak ada perbedaan yang signifikan antara pengukuran sensor DS18B29 dan termometer air raksa, serta hasil ukur antara sensor SKU:SEN0193 dengan sensor alat ukur kelembapan analog. Pengukuran selama masa inkubasi pada tanggal 30 Juni sampai 6 Agustus 2020 menunjukkan bahwa suhu pasir berkisar antara 27,9–33,2 °C dengan rata-rata 30,2 °C. Suhu udara berkisar antara 21,5–38,9 °C dengan rata-rata 27,5 °C. Kelembapan pasir berkisar antara 21–41 % dengan rata-rata 34,3 %. Kelembapan udara berkisar antara 38,1–89,7 % dengan rata-rata 81,9 %. Tingkat keberhasilan penetasan pada penelitian ini, yaitu 81,5 % dengan waktu inkubasi 52 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Silalahi, "Pengaruh perlindungan sarang dan kepadatan telur terhadap laju tetas telur penyu hijau (*chelonina mydas*) di pantai pangumbahan, Sukabumi," *thesis*, IPB University, Bogor, Indonesia, 1990.
- [2] M. Maryani, "Deteksi protein yang hanya diekspresikan pada suhu maskulinasi atau suhu fermentor pada gonad embrio penyu hijau," *thesis*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2001.
- [3] M. A. Ewart, "The embryo and its egg: development and natural history," in *Turtles*, M. Harless and H. Morlock (eds.). New York: John Wiley & Sons, 1979, pp. 333-413.
- [4] J. R. Spotila and E. A. Standora, "Temperature dependent sex determination in the green turtle (*chelonina mydas*): effects on the sex ratio on a natural nesting beach," *Herpetologica*, vol. 49, no. 1, pp. 74-81, 1987.
- [5] A. Yusuf, *Mengenal penyu*. Jakarta: Yayasan Penyu Lestari, 2010.
- [6] C. M. Shoemaker and D. Crews, "Analyzing the coordinated gene network underlying temperature-dependent sex determination in reptiles," *Seminars in Cells and Developmental Biology*, vol. 20, no. 3, pp. 293-303, 2008. doi: [10.1016/j.semcd.2008.10.010](https://doi.org/10.1016/j.semcd.2008.10.010)
- [7] A. Barlian and E. Equilibria, "The presence of aromatase in green turtle embryos gonads during the thermosensitive period," in *International Conference on Mathematics and Natural Sciences*, Bandung, Indonesia, Nov. 2008, pp. 1-5.
- [8] P. M. Hitchins and O. Bourquin, "Factors affecting emergences and nesting sites of hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) on Cousine Island, Seychelles 1995-1999," *Phelsuma*, vol. 11, pp. 59-69, 2003.
- [9] R. A. Ackerman, "The nest environment and the embryonic development of sea turtles," in *The Biology of Sea Turtle*. Boca Raton: CRC Press, 1997, pp. 8 – 106.
- [10] E. Rudiana, D. H. Ismunarti, and N. Nirwani, "Tingkat keberhasilan penetasan dan masa inkubasi telur penyu hijau, *chelonina mydas* l pada perbedaan waktu pemindahan," *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 200-205, 2004.
- [11] W. Kunikowski, E. Czerwiński, P. Olijnik, and J. Awrejcewicz, "An overview of Atmega Avr microcontrollers used in scientific research and industrial applications," *Pomiar Automatyka Robotyka*, vol. 19, no. 1, pp. 15-20, 2015. doi: [10.14313/PAR_215/15](https://doi.org/10.14313/PAR_215/15)
- [12] M. Margolis, *Arduino cookbook second edition*. California: O'Reilly Media, 2012.
- [13] J. D. Warren, J. Adams, and H. Molle, *Arduino robotics*. New York: Springer, 2011.
- [14] A. Withamana, I. Jaya, and T. Hestirianoto, "Rancang bangun instrumen sistem buoy menggunakan a-wsn protokol zigbee untuk pengamatan pesisir," *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, vol. 18, no. 4, pp. 179-185, 2013.
- [15] M. Idris and I. Jaya, "Pengembangan data logger suhu air berbiaya rendah," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol. 5, no. 1, pp. 95-10, 2014.
- [16] M. Iqbal and I. Jaya, "Rancang bangun dan uji kinerja drifter buoy," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol. 1, no. 2, pp. 57-70, 2011.
- [17] P. K. Jayalaxmi and A. Pritviraj, "A real time weather monitoring system with FM channel," *International Journal of Advanced Information and Communication Technology*, vol. 1, no. 1, 2014.
- [18] D. V. Sari, "Sistem pengukuran suhu tanah menggunakan ds18b20 dan perhitungan resistivitas

- tanah menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi wenner,” *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 1, no. 4, pp. 83-90, 2016.
- [19] DFRobot, “Capacitive soil moisture sensor SKU:SEN0193,” [Online].
- [20] P. Pribadi and A. Ananta, “PC data logger berbasis telemetri,” *Jurnal Kompetensi Teknik*, vol. 3, no. 1, pp. 57–64, 2011.
- [21] C. K. Tito , E. E. Ampou, S. C. Nugroho, N. Widagti, F. Hamzah, and A. R. Zaky, “Pemanfaatan data logger untuk monitoring suhu di Nusa Penida Bali,” in *Bunga Rampai Oseanografi Operasional di Indoneisa*. Jakarta: Balitbang Kelautan dan Perikanan, 2014, pp. 49–59.
- [22] H. Suryono and T. Rejekiingsih, “Uji persyaratan analisis statistik,” *Inovasi Pendidikan*, vol. 8, no. 2, pp. 187-196, 2007.
- [23] S. Sugiyono, *Statistika untuk penelitian*. Bandung: Alfabeta, 2009.
- [24] Y. Leni, “Pengaruh kedalaman sarang dan kelembaban terhadap lama masa inkubasi penyu hijau / *chelonia mydas* (linnaeus 1758) di pantai Pangumbahan, Sukabumi, Jawa Barat,” *thesis*, IPB University, Bogor, Indonesia, 2017.
- [25] A. Rofiah, H. Retno, and W. Edi, “Pengaruh naungan sarang terhadap persentase penetasan telur penyu lekang (*Lepidochelys olivacea*) di Pantai Samas Bantul, Yogyakarta,” *Jurnal of Marine Research*, vol. 1, no. 2, pp. 103-108, 2012.
- [26] M. R. Marquez, “Sea turtle of the world. An annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date,” *FAO Fisheries Synopsis*, vol. 11, no. 125, pp. 43, 1990.
- [27] P. L. Lutz and J. A. Musick, “The biology of sea turtle,” in *Marine Science Series*. London: CRC Press, 1997.
- [28] J. D. Miller, “Reproduction in sea turtles,” in *The Biology of Sea Turtles*. Boca Raton: CRC Press, , 1997, pp. 52-71.
- [29] Y. A. Afandy, “Analisis kesesuaian habitat penyu hijau untuk penentuan sistem zonasi taman pesisir pantai penyu pangumbahan, Sukabumi,” *thesis*, IPB University, Bogor, Indonesia, 2016.
- [30] R. H. Bustard, *Sea turtle: natural history and conversation*. Sydney: Collins, 1972.
- [31] J. E. Hill, F. V. Paladino, J. R. Spotila, and P. S. Tomillo, “Shading and watering as a tool to mitigate the impacts of climate change in sea turtle nests,” *PLoS ONE*, vol. 10, no. 6, pp. e0129528, 2015. doi:10.1371/ journal.pone.0129528.
- [32] M. A. McGehee, “Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*),” *Herpetologica*, vol. 46, no. 3, pp. 251-258, 1990.
- [33] B. Silalahi, “Pengaruh jumlah telur terhadap keberhasilan penetasan telur penyu hijau (*Chelonia mydas.l*),” *thesis*, IPB University, Bogor, Indonesia, 1989.
- [34] H. Alfiah, “Pengaruh waktu pemindahan telur penyu hijau (*Chelonia mydas.l*) terhadap tingkat keberhasilan penetasan semi alami di pantai pangumbahan,” *thesis*, IPB University, Bogor, Indonesia, 1989.
- [35] M. A. Ewert, “The embryo and its eggs: development and natural history,” in *Turtle, Perspectives and research*, vol. 17. New York: Jhon Willey and Sons, 1979, pp. 333-416.
- [36] J. A. Zbinden, D. Margaritoulis, and R. Arlettaz, “Metabolic heating in Mediterranean loggerhead sea turtle clutches,” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 334, pp. 151–157. 2006.
- [37] H. F. Hirth, “Synopsis of biological data on green turtle (*Chelonia mydas*),” *FAO Fisheries Synopsis*, vol. 81, no. 58, 1971.