

Sistem Pemantauan Lingkungan Menggunakan Sensor BME280 Berbasis Internet of Things

1st Muhammad Agus Triawan
Computer Engineering
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
matriawan@polsri.ac.id

2nd Husnawati
Computer Engineering
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
husnawati@polsri.ac.id

3rd Faris Humam
Computer Engineering
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
faris.humam@polsri.ac.id

Abstrak—Sistem pemantauan lingkungan saat ini tengah berkembang dan mengarah ke perangkat yang berbasis Internet of Things. Pembangunan sistem pemantauan lingkungan diukur berdasarkan beberapa parameter seperti; temperature, humidity, air-pressure, dan altitude. Pada penelitian ini akan diuji konsistensi pengiriman data dari perangkat Node MCU (ESP 8266) ke ThingSpeak sebagai platform Internet of Things, menggunakan metode Median Filter dengan modul sensor BME280. Pemantauan parameter cuaca lingkungan sekitar dilakukan didalam ruangan tertutup. Secara garis besar tahapan yang dilakukan meliputi perancangan sistem yang terdiri dari perangkat keras, serta pembuatan algoritma untuk proses data acquisition (DAQ) untuk proses pengiriman dan pengolahan data ke ThingSpeak. Proses DAQ sensor yang diperoleh sebanyak 1812 data dan tersimpan di database ThingSpeak. Proses penyimpanan data terjadi per ± 45 detik, karena pembaharuan message minimal per 15 detik serta adanya proses akuisisi data sensor per 10 detik dengan 10 sampling untuk kalkulasi median filter. Perancangan sistem pemantauan cuaca lingkungan sekitar berbasis IoT berdasarkan desain sistem yang diusulkan, dapat memvisualisasikan data sensor BME280 dan beroperasi dengan benar, sehingga diperoleh nilai akurasi dari penggunaan sensor berdasarkan parameter yang diuji untuk menjadi tolak ukur dalam pengembangan sistem selanjutnya. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai model referensi untuk pengembangan atau bahkan penerapan dilokasi lainnya yang membutuhkan pemantauan cuaca hanya dengan menggunakan platform yang sudah tersedia dan perangkat sederhana.

Kata Kunci—*Internet of Things, Temperature, Humidity, DAQ, Median Filter*

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim dunia tak terkecuali di Indonesia telah menjadi perhatian yang serius dalam beberapa dekade terakhir. Fenomena seperti peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan perubahan tekanan udara telah mempengaruhi kehidupan manusia dan ekosistem secara signifikan. Oleh karena itu, kebutuhan akan sistem pemantauan lingkungan yang akurat, efisien, dan terjangkau untuk membantu masyarakat dan pemerintah dalam mengambil keputusan yang tepat terkait adaptasi dan mitigasi perubahan iklim [1]. Selain itu, sistem pemantauan yang efektif dapat membantu dalam mengidentifikasi tren perubahan iklim dan memprediksi dampaknya pada masa depan, sehingga memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih baik.

Beberapa penelitian terkait telah menghasilkan kemajuan dalam bidang pemantauan lingkungan, namun masih terdapat beberapa kekurangan yang perlu diatasi. SUN jie-ru et al. (2020) menunjukkan akurasi dan efisiensi dalam pengukuran

parameter lingkungan menggunakan sensor berbasis mikrokontroler, namun terbatasnya konsistensi pengiriman data dan integrasi dengan platform IoT menjadi kekurangan yang perlu diatasi [2]. Evstigneev, V, P (2022) menggambarkan kemampuan untuk mengukur berbagai parameter lingkungan menggunakan sensor multisensor, tetapi kompleksitas dalam integrasi dan kalibrasi sensor menjadi tantangan yang harus dipecahkan [3]. Shah et al. (2016) menyatakan penggunaan teknologi IoT untuk pemantauan lingkungan secara real-time, namun masalah keandalan dan konsistensi dalam pengiriman data menjadi kelemahan yang perlu diperbaiki [4]. Zou et al. (2022) menggambarkan penggunaan teknologi komunikasi nirkabel untuk mengurangi biaya instalasi dan pemeliharaan, tetapi rentan terhadap gangguan sinyal dan keamanan data [5]. Arce, J, et al. (2019) menunjukkan penggunaan algoritma pemrosesan sinyal untuk meningkatkan akurasi data, namun kompleksitas dalam implementasi dan pemilihan algoritma yang tepat menjadi hambatan [6]. Khan, Nauman et al. (2019) menggambarkan penggunaan teknologi cloud computing untuk penyimpanan dan analisis data, namun ketergantungan pada koneksi internet dan masalah privasi data menjadi kekurangan yang perlu diatasi [7]. Ramasubramanian, M et al (2020) menyoroti penggunaan teknologi energi terbarukan untuk sistem pemantauan lingkungan, tetapi keterbatasan dalam ketersediaan dan efisiensi energi terbarukan menjadi tantangan [8]. Sathyabama, S et al. (2021) menggambarkan penggunaan teknologi Machine Learning untuk prediksi dan analisis tren perubahan iklim, namun kompleksitas dalam pemilihan dan pelatihan model Machine Learning yang sesuai menjadi kelemahan [9].

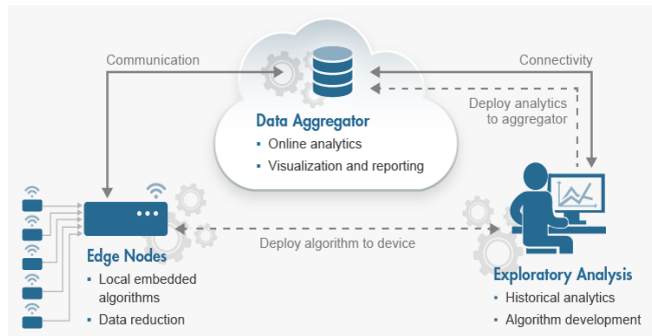
Dalam penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan cuaca lingkungan sekitar berdasarkan parameter suhu (temperature), kelembaban udara (humidity), tekanan udara (air pressure), dan ketinggian terhadap permukaan laut (altitude) menggunakan modul sensor BME280. Untuk mengetahui serta mengupayakan bawah sistem yang dibangun memiliki akurasi dan efisien dalam mengukur parameter lingkungan sekitar berbasis Internet of Things (IoT) secara konsisten saat pengiriman data sensor ke platform ThingSpeak digunakan metode Median Filter. Dari hal ini juga diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem dalam mengirimkan data lingkungan secara real-time dan memungkinkan analisis data yang lebih akurat untuk mendukung pengambilan keputusan terkait perubahan iklim.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton saat memberikan

persentasi menghubungkan informasi RFID P&G ke Internet di MIT [10]. IoT menghubungkan perangkat elektronik berupa sensor atau aktuator ke internet untuk mengumpulkan dan berbagi data secara otomatis yang dimanfaatkan untuk analisa lebih lanjut. Salah satu aspek penting dari IoT adalah Cyber Physical System (CPS), yang menggabungkan komputasi, jaringan, dan proses fisik untuk menciptakan sistem yang saling terhubung dan berinteraksi, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan memantau perangkat dari jarak jauh [11].



Gbr 1. Arsitektur Konektivitas IoT dengan Thingspeak [12].

Salah satu platform IoT yang populer adalah ThingSpeak. Platform ini memungkinkan pengguna untuk mengumpulkan, menganalisis, dan memvisualisasikan data dari perangkat IoT. ThingSpeak menyediakan API yang mudah digunakan untuk integrasi dengan berbagai perangkat IoT. Platform ini juga mendukung berbagai protokol komunikasi seperti HTTP dan MQTT yang memungkinkan perangkat IoT dapat berkomunikasi melalui Internet secara efisien [13].

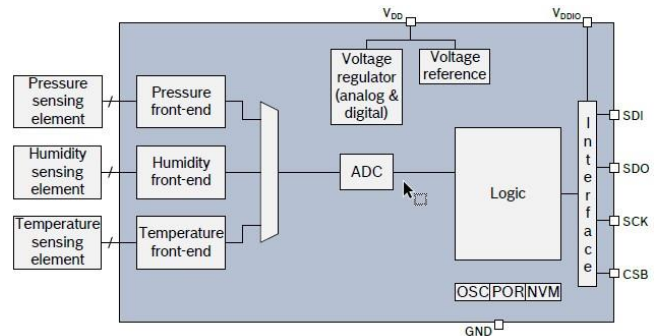
B. Node MCU ESP8266 Development Board

Node MCU ESP8266 pada dasarnya adalah mikrokontroler yang menggunakan chip ESP8266EX dengan arsitektur 32-bit bekerja pada kecepatan 80-160 MHz, dilengkapi dengan memori flash sebesar 4MB untuk penyimpanan program dan data, serta 64-96KB SRAM untuk instruksi. Development Board ini dilengkapi modul Wi-Fi terintegrasi yang mendukung standar IEEE 802.11 b/g/n dan menyediakan mode stasiun, mode akses poin, atau kombinasi keduanya. Node MCU ESP8266 memiliki ±17 pin GPIO sebagai interface sensor, aktuator, dan modul komunikasi. Dari spesifikasi ini, Node MCU ESP8266 banyak digunakan dalam berbagai proyek, seperti pemantauan lingkungan, kontrol rumah pintar, dan sistem keamanan [14].

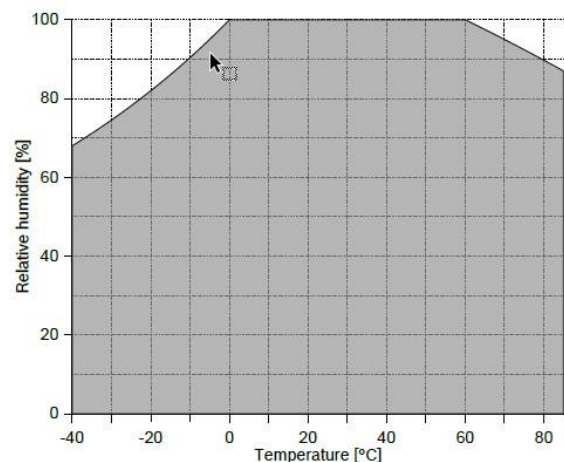
Node MCU ESP8266 beroperasi pada tegangan 3.3V, tetapi dilengkapi dengan regulator tegangan internal yang dapat menerima tegangan masukan antara 3V hingga 3.6V, sehingga kompatibel dengan masukan 5V melalui pin VIN. Development board ini dapat diprogram menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Dibandingkan dengan Arduino pada umumnya, karena Node MCU ESP8266 terintegrasi dengan modul Wi-Fi, menjadikannya ideal untuk diaplikasikan pada sistem IoT, karena memudahkan untuk melakukan pengiriman/menerima data dari Internet secara nirkabel [15].

C. Sensor Temperature, Humidity, Air Pressure, dan Altitude

Salah satu jenis sensor yang dapat mengukur temperature, humidity, air pressure, dan altitude adalah BME 280. Modul sensor BME280 memiliki keunggulan dalam pemantauan cuaca lingkungan sekitar. Sensor BME280 dapat mengukur temperature, humidity, air pressure, dan altitude dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibanding modul sensor sejenis yang memiliki toleransi kesalahan yang cukup tinggi [16].



Gbr 2. Diagram Blok Sensor BME280 (Sumber: Datasheet Sensor BME280).



Gbr 3. Rentang Nilai Kelembaban pada Sensor BME280 (Sumber: Datasheet Sensor BME280).

Untuk mengurangi *noise* pada pembacaan sensor *temperature* dan *humidity* BME280 digunakan metode median filter dengan persamaan sebagai berikut ;

$$data_filtered = x \quad \dots(1)$$

$$x = \frac{data_filtered_old \cdot (filter_coefficient - 1) + data_ADC}{filter_coefficient}$$

Data_filtered_old adalah data yang berasal dari memori filter saat ini, dan data_ADC adalah data yang berasal dari akuisisi ADC saat ini. Data_filtered adalah nilai baru dari memori filter dan nilai yang akan dikirim ke register keluaran yang ditunjukkan pada diagram blok Gbr 2.

Sensor BME280 tidak perlu dikalibrasi karena sudah melewati proses kalibrasi pabrik secara cermat yang disimpan dalam memori non-volatile (NVM) dengan menggunakan komponen berkualitas tinggi [17]. Selama pengukuran, sensor ini hanya mengkonsumsi 1mA

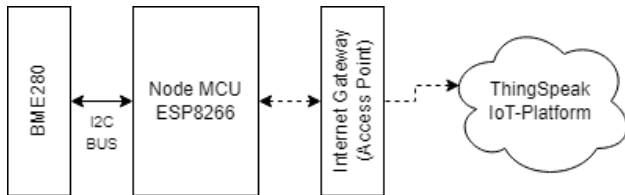
sedangkan selama idle hanya 5µA, serta memiliki stabilitas jangka panjang yang baik terhadap perubahan lingkungan. Meskipun demikian, dalam beberapa kasus tertentu, kalibrasi eksternal mungkin diperlukan untuk situasi yang sangat kritis atau karena lingkungan yang tidak biasa. Dengan menggunakan antarmuka komunikasi I2C, sensor BME280 dapat dengan mudah diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler terkini seperti ESP8266. Tentunya hal ini sebagai salah satu solusi meminimalisir kompleksitas sistem IoT untuk proses pengiriman data cuaca lingkungan sekitar ke Cloud untuk dianalisa secara jarak jauh

III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, pemantauan parameter temperature, humidity, air pressure, dan altitude, dilakukan didalam ruangan tertutup yang berukuran 3x3 meter. Secara garis besar tahapan yang dilakukan meliputi perancangan sistem beserta perangkat keras (hardware), pembuatan algoritma baik untuk proses data acquisition (DAQ) serta pengiriman data ke platform ThingSpeak.

A. Desain Perangkat Keras Sistem Monitoring Pemantauan Cuaca

Perancangan sistem memiliki bagian yang terdiri dari perangkat kearas Node MCU ESP8266 yang dilengkapi dengan modul sensor BME280 serta terhubung ke platform ThingSpeak. Perancangan perangkat keras (hardware) merupakan hal yang paling dasar, karena data lingkungan sekitar yang terdiri dari temperature, humidity, pressure, dan altitude dihasilkan oleh modul sensor BME280 yang terhubung dengan Node MCU ESP8266.



Gbr 4. Blok Diagram Sistem Pemantauan Cuaca Berbasis IoT

Pada Gambar 4, modul sensor BME280 melalui pin SDA dan SCL sebagai protocol komunikasi I2C yang terhubung dengan Node MCU ESP8266. Setelah perangkat Node membaca data sensor BME280, selanjutnya data akan dikirim ke ThingSpeak melalui perangkat Gateway berupa Access Point sebagai konektivitas ke jaringan Internet.

B. Desain Algoritma Sistem Monitoring Pemantauan Cuaca

Implementasi perangkat lunak sistem pemantauan pada penelitian ini, menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang dilakukan melalui Arduino IDE yang dilengkapi dengan library "Adafruit_BME280" untuk membaca modul sensor BME280. Proses sensing dan akuisisi data sensor pada umumnya sering mengandung noise atau sering disebut dengan jitter. Oleh karena itu dibutuhkan metode filter untuk menghilangkan lonjakan signal/data yang tidak diinginkan agar hasil data pembacaan menjadi lebih halus.

Pada penelitian ini menerapkan filter median yang cukup sederhana untuk meminimalisir atau bahkan menghilangkan

jitter hasil pembacaan modul sensor BME280. Biasanya salah satu penyebab terjadi lonjakan data terjadi karena noise kontekstifitas WiFi perangkat Node ke Access Point saat proses pengiriman data ke ThingSpeak. Berikut pada Workflow 1. Algoritma Median Filter yang digunakan.

Workflow 1. Median Filter Sensor BME280

```

1  PROCEDURE median(arr[], size, result)
2    FOR i = 0 TO size - 1 // let size is 10 and bigger
3      size effect affects response time
4      FOR j = i + 1 size
5        IF arr[j] < arr[i] THEN
6          temp = arr[i]
7          arr[i] = arr[j]
8          arr[j] = temp
9        END IF
10     END FOR
11  END FOR
12  IF size MOD 2 = 0
13    result = (arr[size / 2] + arr[(size / 2) - 1]) / 2.0
14  ELSE
15    result = arr[size / 2]
16  END IF
END PROCEDURE
  
```

Pada penelitian ini, DAQ merupakan proses pengambilan data sensor BME280 oleh perangkat Node MCU ESP8266 setiap 10 detik—untuk menstabilkan pembacaan sensor—yang dikirimkan dan disimpan ke platform ThingSpeak. Selanjutnya data yang disimpan divisualisasikan kedalam bentuk chart untuk memudahkan proses pengamatan atau pemantauan. Sensor BME280 akan dihubungkan ke Node MCU ESP8266 melalui antarmuka I2C untuk mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara lingkungan sekitar. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirim ke server ThingSpeak melalui Wi-Fi yang terintegrasi pada Node MCU ESP8266. Platform ThingSpeak akan menyimpan data tersebut dan menyediakannya melalui API yang dapat diakses melalui Web. Berikut pada Workflow 2. Algoritma untuk proses DAQ dan pengiriman data ke ThingSpeak untuk memantau kondisi cuaca sekitar.

Workflow 2. DAQ and Send to ThingSpeak

```

1  DEFINE SIZE_SAMPLING as 10
2  DEFINE interval as 10000
3  DEFINE processingTime as 20000
4  SET lastUpdateTime to 0
5  SET array_index to 0

6  IF currentTime - lastUpdateTime >= interval THEN
7    READ BME280 sensor data
8    STORE BME280 data in sampling arrays
9    INCREMENT array_index
10   IF array_index >= SIZE_SAMPLING THEN
11     CALCULATE median values for BME280 data

12     RESET array_index
13     PRINT median values

14   SET ThingSpeak fields with median values
  
```

```

15 DETERMINE status message based on
16 medianTemperature
   SET ThingSpeak status with status message
17
18 SEND data to ThingSpeak Channel
   CHECK if channel update is successful
19
20 WAIT for ThingSpeak processingTime
21 UPDATE lastUpdateTime
22 END IF
END IF

```

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada tahapan ini dilakukan integrasi perangkat lunak ke perangkat keras, sehingga diperoleh hasil dan analisa dari penggunaan sensor dan proses pengiriman data sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT.

Berikut pada Tabel 1 potongan data dari ThingSpeak hasil pengujian sistem pemantauan lingkungan sekitar yang terdiri dari parameter temperature, humidity, air pressure, dan altitude berbasis IoT.

Proses DAQ data sensor yang tersimpan di ThingSpeak yang dilakukan mulai dari tanggal 16/05/2023 jam 18:02:08 sampai dengan tanggal 17/05/2023 jam 16:43:48 atau selama 22 jam, 41 menit, dan 40 detik dengan total dengan DAQ sebanyak 1812 data.

TABLE I. DAQ MODUL SENSOR BME280

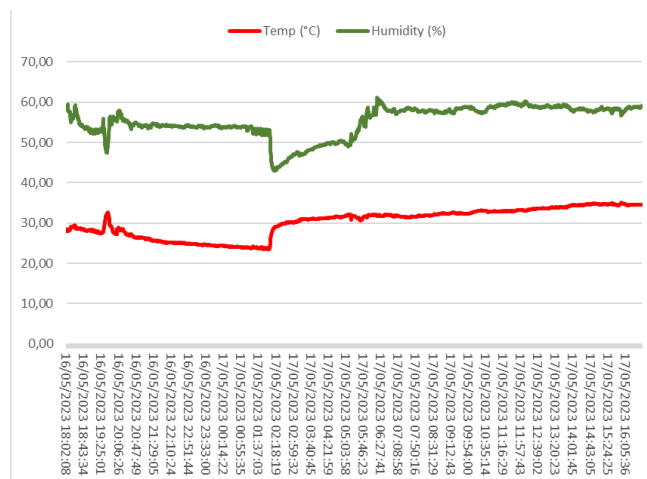
Created at	Entry Id	Temp (°C)	Humidity (%)	Pressure (hPa)	Altitude (m)
16/05/2023 18:02:08	1	28,47	59,17	1.009,93	49,78
16/05/2023 18:02:53	2	28,23	58,42	1.009,92	49,87
16/05/2023 18:03:38	3	28,06	59,13	1.009,94	49,70
-	-	-	-	-	-
17/05/2023 05:23:00	905	31,69	50,78	1.011,03	40,57
17/05/2023 05:23:47	906	31,68	50,94	1.011,08	40,17
17/05/2023 05:24:31	907	31,74	50,83	1.011,09	40,14
-	-	-	-	-	-
17/05/2023 16:42:18	1810	34,53	58,82	1.008,27	63,67
17/05/2023 16:43:03	1811	34,45	59,10	1.008,27	63,62
17/05/2023 16:43:48	1812	34,46	59,15	1.008,28	63,58

Pada Tabel 1 diatas terlihat bahwa proses penyimpanan data terjadi pada rentang waktu per ± 45 detik. Hal ini karena platform ThingSpeak memiliki batasan interval waktu pembaharuan message minimal per 15 detik serta adanya proses akuisisi data sensor per 10 detik dan ditambah dengan pengambilan 10 sampling data sensor untuk proses kalkulasi median filter.

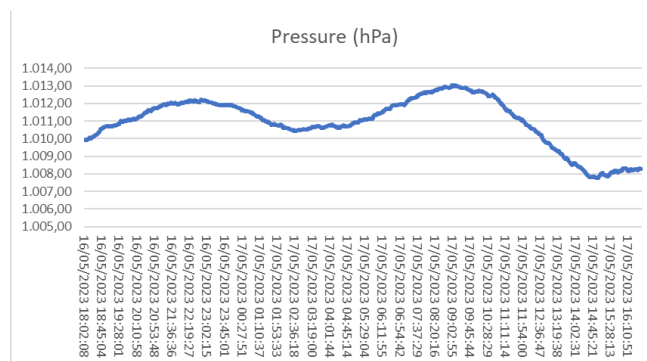
Hasil pengujian akan ditampilkan pada gambar 5 sebagai grafik Pencuplikasn Parameter *Temperatur* dan *Humidity* dengan nilai maksimum pada *humidity* tercatat 59,17% dan

nilai minimum 50,78%. Sedangkan untuk *temperatur* tercatat nilai terendah diperoleh 28,06 °C dan nilai tertinggi 34,53 °C.

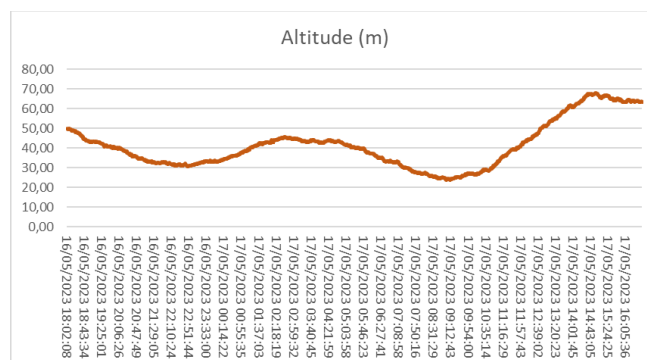
Untuk hasil Pencuplikan Parameter pada *Air Pressure* ditunjukkan pada gambar 6, dalam grafik tersebut diperoleh nilai tertinggi 1.011,09 hPa dan nilai terendah 1.008,27 hPa. Sedangkan untuk hasil pengujian pada parameter *altitude* diperoleh pencuplikan data untuk nilai terendah 40,14 m dan nilai maksimum 63,67 m. Hasil pengujian yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 7.



Gbr 5. Pencuplikasn Parameter *Temperatur* dan *Humidity*



Gbr 6. Pencuplikasn Parameter *Air Pressure*



Gbr 7. Pencuplikasn Parameter *Altitude*

V. KESIMPULAN

Perancangan sistem pemantauan lingkungan berdasarkan parameter; *temperature*, *humidity*, *air pressure*, dan *altitude* dari aspek perangkat keras dan perangkat lunak, yang menggunakan sensor BME280 berbasis IoT, yang dikirimkan ke platform ThingSpeak, dapat beroperasi dengan baik sehingga perolehan data dapat terukur dan divisualisasikan dalam bentuk grafik. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai model referensi untuk pengembangan atau bahkan penerapan dilokasi lainnya yang membutuhkan sistem pemantauan lingkungan yang menggunakan Node MCU ESP8266 yang dilengkapi dengan modul sensor BME280 serta penggunaan platform ThingSpeak.

Dengan menerapkan metode Median Filter, dapat meminimalisir noise atau gangguan dalam data *temperature*, *humidity*, *air pressure*, dan *altitude* yang dihasilkan saat proses DAQ sensor BME280. Hal ini karena Median Filter mengambil nilai median berdasarkan 10 sampling data terakhir untuk mengurangi atau bahkan mengurangi pengaruh outlier (nilai yang berbeda secara signifikan). Sehingga dengan menggunakan media filter data yang dihasilkan pada proses DAQ menjadi akurat serta adanya perubahan yang konsisten yang dapat dilihat berdasarkan setiap grafik pada hasil pengujian.

ACKNOWLEDGMENT

Terima kasih kepada jurusan Teknik Komputer Politeknik Negeri Sriwijaya, Program Studi D-III Teknik Komputer, dan tenaga pendidik untuk mata kuliah Internet of Things.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BMKG, "Variabilitas Iklim Di Indonesia," 2020. [Online]. Available: https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/brosur/LEAFLETI_NDO.pdf
- [2] S. Jie-Ru and C. Xiao-Ning, "Design and research of agricultural environmental monitoring system based on wireless sensor," *Proc. - 5th Int. Conf. Autom. Control Robot. Eng. CACRE 2020*, pp. 251–255, 2020, doi: 10.1109/CACRE50138.2020.9230314.
- [3] V. P. Evstigneev, P. N. Kuznetsov, D. Y. Voronin, and V. A. Naumova, "Variant analysis of measurement components in environmental engineering," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 981, no. 3, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/981/3/032030.
- [4] J. Shah and B. Mishra, "IoT enabled environmental monitoring system for smart cities," *2016 Int. Conf. Internet Things Appl. IOTA 2016*, pp. 383–388, 2016, doi: 10.1109/IOTA.2016.7562757.
- [5] P. Zou and G. Ji, "Design and Implementation of Node of Wireless Network Environment Monitoring System Based on Artificial Intelligence," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/5911476.
- [6] J. M. M. Arce and E. Q. B. MacAbebe, "Real-time power consumption monitoring and forecasting using regression techniques and machine learning algorithms," *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Internet Things Intell. Syst. IoTaIS 2019*, pp. 135–140, 2019, doi: 10.1109/IoTaIS47347.2019.8980380.
- [7] N. Khan, K. S. Khattak, S. Ullah, and Z. Khan, "A low-cost IoT based system for environmental monitoring," *Proc. - 2019 Int. Conf. Front. Inf. Technol. FIT 2019*, pp. 173–178, 2019, doi: 10.1109/FIT47737.2019.00041.
- [8] M. Ramasubramanian, T. K. S. Rathish Babu, V. Anantha Krishna, and K. Syed, "Design of Intelligent Control and Monitoring System for Agriculture Based on Renewable Energy and IoT," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1964, no. 4, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1964/4/042031.
- [9] S. Sathyabama, S. C. Stemina, T. Sumithradevi, and N. Yasini, "Retraction: Intelligent Monitoring and Forecasting Using Machine Learning Techniques," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1916, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1916/1/012175.
- [10] L. N. Yadav, "A Study on Internet of Things based Applications-converted," no. May 2022, 2023, doi: 10.17148/IJARCC.2022.115179.
- [11] P. K. Roy, A. Singh, J. V. Desai, and S. K. Singh, "Healthcare Data Security Using Lightweight Protocol for Cyber Physical System," *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1109/TNSE.2022.3186437.
- [12] Martin Foltin and Michal Blaho, "ThingSpeak - IoT Platform with MATLAB Analytics," 2018. [Online]. Available: https://indico.cern.ch/event/654636/contributions/2834242/attachments/1636045/2610243/MATLAB_IoT_public.pdf
- [13] T. H. Nasution, M. A. Mughtar, S. Seniman, and I. Siregar, "Monitoring temperature and humidity of server room using LattePanda and ThingSpeak," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1235, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1235/1/012068.
- [14] M. Tagle *et al.*, "Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 192, no. 3, 2020, doi: 10.1007/s10661-020-8118-4.
- [15] N. Mohd Zarif Hashim, N. Radiah Mohamad, A. Salleh, N. Z. Hashim, and N. R. Mohamad, "Realization of IoT Water Monitoring System using Node MCU ESP8266 Microcontroller and Blynk Application," *Int. J. Eng. Invent.*, vol. 11, no. 12, pp. 209–213, 2022, [Online]. Available: www.ijejournal.com
- [16] M. A. Uno, "Perbandingan Kualitas antar Sensor Kelembaban Udara dengan... (Utama dkk.)," pp. 60–65, 2017.
- [17] S. E. De Lucena, "Temperature and Humidity Measurement Using an Off-the-Shelf MEMS Sensor: Beyond Arduino 's Playground," *2021 5th Int. Symp. Instrum. Syst. Circuits Transducers*, pp. 1–4, 2021, doi: 10.1109/INSCIT49950.2021.9557262.