

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KETINGGIAN, TEKANAN UDARA, DAN TEMPERATUR UDARA DENGAN *BLUETOOTH LOW ENERGY*

Sita Nurachmah Yurika, Imam Suchahyo, Meta Yantidewi
Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
Email: sita.17030224026@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang sebuah alat pengukur ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara yang dikemas dalam satu sistem alat. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah BMP280 yang merupakan sensor tekanan dan temperatur udara, Sistem alat menggunakan ESP32 sebagai mikrokontrolernya. Peneliti mengimplementasikan *bluetooth low energy* dalam sistem alat yang berfungsi untuk mengirim data pengukuran ke *android*. Dengan penerapan *bluetooth low energy*, hasil dari pengukuran alat dapat diakses dengan *android* dan disimpan dalam bentuk log data pengukuran. Hasil pengukuran alat dapat diakses dengan *android* melalui aplikasi nRF Connect yang terpasang pada *android*. Berdasarkan hasil penelitian, pengukuran tekanan udara, temperatur udara, dan ketinggian oleh alat dalam penelitian ini cukup sesuai dengan hasil alat pengukur ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara konvensional. Berdasarkan perbandingan dengan hasil pengukuran alat ukur konvensional, hasilnya cukup mendekati sesuai dengan selisih hingga 0,4 hPa pada pengukuran tekanan udara, 6 MDPL pada pengukuran ketinggian, dan satu derajat Celsius pada pengukuran temperatur udara.

Kata Kunci: BMP280, ESP32, *bluetooth low energy*

Abstract

This study aims to design a measuring device for altitude, air pressure, and air temperature which is packaged in one tool system. The sensor used in this research is BMP280 which is an air pressure and temperature sensor. The tool system uses ESP32 as its microcontroller. Researchers implemented bluetooth low energy in a tool system that serves to send measurement data to android. With the application of bluetooth low energy, the results of the measurement tools can be accessed by android and stored in the form of a measurement data log. The measurement results of the tool can be accessed with android through the nRF Connect application installed on android. Based on the results of the study, the measurement of air pressure, air temperature, and altitude by the tools in this study is quite in accordance with the results of conventional altitude, air pressure, and air temperature measuring devices. Based on the comparison with the results of conventional measuring instruments, the results are quite close to the difference of up to 0.4 hPa for air pressure measurements, 6 MDPL for elevation measurements, and one degree Celsius for air temperature measurements.

Keywords: BMP280, ESP32, *bluetooth low energy*

PENDAHULUAN

Ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara merupakan besaran-besaran yang biasa digunakan ketika sedang beraktivitas di alam. Tekanan dan temperatur udara biasa dimanfaatkan sebagai indikator cuaca. Nilai temperatur udara semakin berkurang seiring dengan bertambahnya ketinggian. Selain itu, perubahan nilai temperatur sangat dipengaruhi oleh waktu, perubahan cuaca, musim, dan lokasi (Mölders & Kramm, 2014). Sedangkan tekanan udara di atmosfer semakin kecil secara eksponensial seiring dengan bertambahnya ketinggian (Mölders & Kramm, 2014). Variasi tekanan udara pada atmosfer erat kaitannya dengan gaya gravitasi Bumi. Semakin besar medan gravitasi Bumi, maka molekul udara semakin banyak. Hal ini menyebabkan densitas udara di permukaan Bumi lebih besar dari udara di atmosfer yang lebih tinggi (Ahrens dkk, 2012). Selanjutnya, ketinggian

berfungsi untuk mengetahui ketinggian suatu titik lokasi. Misalnya dalam kegiatan pendakian, pendaki kerap memonitor ketinggian selama perjalanan menuju puncak gunung. Jenis altimeter yang kerap digunakan adalah altimeter tekanan. Prinsip kerja altimeter tekanan, yaitu mendeteksi variasi tekanan udara di troposfer yang kemudian dikonversi menjadi nilai ketinggian. Titik nol altimeter berada di permukaan laut dengan tekanan udara rata-rata 1013,25 hPa (nilai tersebut ditetapkan dalam *International Standard Atmosphere*)

Fitur altimeter, barometer, dan termometer sering dijumpai pada jam tangan yang dirancang khusus untuk kegiatan pendakian atau kegiatan alam. Biasanya, jam tangan tersebut dibandrol dengan harga yang cukup mahal, yaitu mulai dari harga ratusan ribu hingga jutaan Rupiah. Selain pada jam tangan, saat ini juga sudah banyak aplikasi *smartphone* seperti altimeter dan *weather system* yang

dirancang untuk kegiatan alam dengan menyediakan informasi ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara. Adanya aplikasi tersebut menjadi alternatif pengganti jam tangan gunung yang harganya cukup mahal. Akan tetapi, pada umumnya aplikasi tersebut hanya dapat diakses apabila *smartphone* terhubung dengan jaringan internet. Sedangkan ketika kita sedang berkegiatan di alam, sering kali terkendala oleh hilangnya atau bahkan tidak tersedianya jaringan internet. Maka dari itu, aplikasi tersebut seringkali tidak dapat digunakan ketika sedang berkegiatan di alam.

Perancangan alat yang serupa pernah dilakukan sebelumnya oleh Budihartono E, dkk pada tahun 2020 dalam penelitian yang berjudul "ANALISA PENGGUNAAN ALAT PENGUKUR KETINGGIAN MENGGUNAKAN ARDUINO R3 DAN SENSOR BAROMETRIK ALTIMETER BMP280". Penelitian tersebut merancang sebuah alat pengukur ketinggian dan temperatur udara. Berdasarkan penelitian oleh Budihartono (2020), alat pengukur ketinggian berbasis arduino R3 dan sensor barometrik altimeter berhasil memperoleh respon positif dari 25 responden yang menggunakan alat tersebut. Dinyatakan bahwa alat tersebut memberikan hasil yang sesuai dengan alat yang sesungguhnya (Buhartono E, dkk, 2020). Namun demikian, rancangan alat pengukur ketinggian berbasis Arduino R3 dan sensor barometrik altimeter masih memiliki kekurangan, yaitu tidak menampilkan nilai tekanan udara. Mengingat dalam alat tersebut menggunakan sensor BMP280, yang mana merupakan sensor tekanan dan temperatur udara. Sebaiknya fungsi alat tersebut dapat dimaksimalkan sesuai dengan fungsi sensor yang digunakan.

Berdasarkan uraian di atas, dengan merancang alat yang serupa, peneliti bermaksud mengembangkan fungsi alat pengukur ketinggian oleh Budihartono (2020) dengan menampilkan nilai tekanan udara. Selain itu, peneliti juga mengimplementasikan *bluetooth low energy* pada sistem alat agar dapat terhubung dengan *android*, sehingga data hasil pengukuran dapat diakses melalui *android* tanpa memerlukan jaringan internet. Sesuai dengan namanya, *bluetooth low energy* dirancang untuk penggunaan dengan konsumsi energi yang rendah (Wolf, 2017). Konsumsi energi *bluetooth low energy* jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan *bluetooth* biasa (Naik, dkk, 2015). Alasan menggunakan *bluetooth low energy*, karena *bluetooth low energy* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan *Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR)*, yaitu selain konsumsi energi yang rendah, *bluetooth low energy* juga memiliki protokol yang lebih sederhana sehingga menghemat energi, serta waktu *delay* yang lebih singkat ketika transfer data (Mackensen, dkk, 2012). Penggunaan energi yang kecil membuat *bluetooth low energy* banyak diaplikasikan dalam sistem monitoring kesehatan, olahraga dan kebugaran, lokasi jarak dekat, dan masih banyak pengaplikasian lain dengan data yang kecil

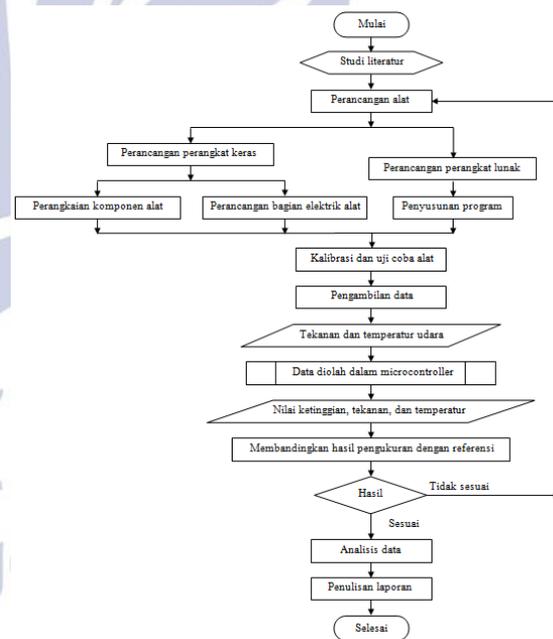
(Bensky, 2019). Maka dari itu, *bluetooth low energy* cocok diimplementasikan pada sistem alat dalam penelitian ini, mengingat alat ukur jenis ini kerap digunakan dalam kegiatan luar ruangan. Dalam penelitian ini, sistem alat dirancang dengan modul ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor BMP280 sebagai sensor tekanan udara dan temperatur udara, serta LCD 16x2 sebagai display hasil pengukuran alat.

METODE

Penelitian ini merancang alat pengukur ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara yang dikembangkan dengan teknologi *bluetooth low energy* untuk pengiriman data pengukuran dari alat ukur ke perangkat lain, yaitu *android*. Penelitian ini, memiliki batasan-batasan berikut:

1. Sensor BMP280 bekerja pada tekanan udara antara 300 hPa sampai dengan 1100 hPa.
2. Bluetooth low energy hanya dapat mengirim data pada radius yang dekat.

Langkah penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

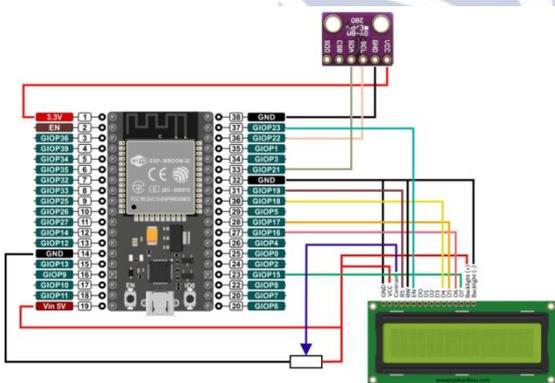
Penelitian diawali dengan studi literasi berbagai referensi yang mendukung topik. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan komponen yang dibutuhkan. Komponen utama dari alat dalam penelitian ini adalah BMP280 sebagai sensor tekanan dan temperatur udara; ESP32 sebagai mikrokontroler, dan LCD 16x2 untuk menampilkan hasil pengukuran.

BMP 280 merupakan sensor tekanan dan temperatur dengan dimensi yang sangat kecil serta konsumsi daya

yang rendah. BMP280 dapat diimplementasikan dalam perangkat yang bersumber daya baterai, seperti *handphone*, modul GPS, atau jam tangan. Perangkat ini memiliki fleksibilitas dalam mengoptimalkan perangkat terkait konsumsi daya, resolusi, dan kinerja filter. Sensor ini memiliki akurasi pengukuran tekanan ± 1 hPa dan akurasi pengukuran temperatur sebesar $\pm 1,0$ °C. BMP 280 merupakan sensor dengan teknologi *piezoresistive* dengan akurasi yang tinggi (Bosch, 2008). Sensor *piezoresistive*, yaitu sensor yang terbuat dari bahan semikonduktor dan akan terjadi variasi nilai hambatan ketika sensor mengalami tekanan atau regangan (Morris & Langari, 2016). Besarnya perubahan hambatan bergantung pada tekanan yang diberikan pada sensor (Fraden, 2016).

ESP32 adalah mikrokontroler 32-bit yang dibekali Wi-Fi dan bluetooth 2,4 GHz tunggal dengan konsumsi daya sangat rendah. Suhu pengoperasian mulai dari -40 °C hingga $+125$ °C. Fungsionalitas Wi-Fi dan GSM diaktifkan, melalui antarmuka SPI / SDIO atau I2C / UART (Espressif, 2019).

Komponen-komponen utama yang telah diuraikan di atas dirangkai seperti skema berikut.



Gambar 2. Rangkaian komponen alat

Untuk mengaktifkan seluruh komponen, dibutuhkan perangkat lunak untuk menulis program yang akan diunggah ke mikrokontroler. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE versi 1.8.13. Pertama, menulis program untuk mengaktifkan BMP280 agar dapat mendeteksi tekanan dan temperatur udara. Lalu, membuat program untuk mengkonversi nilai tekanan udara menjadi nilai ketinggian dengan memasukkan rumus hubungan antara tekanan udara dengan ketinggian. Selanjutnya, memprogram LCD 16x2 agar dapat menampilkan nilai hasil pengukuran. Jika sensor sudah aktif dan LCD dapat menampilkan hasil pengukuran, maka alat sudah berfungsi. Setelah alat dapat berfungsi dengan baik, perlu dilakukan pemrograman untuk mengaktifkan *bluetooth low energy* pada ESP32 sebagai *server*.

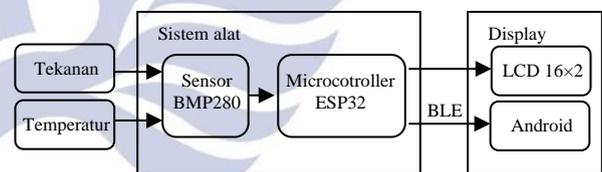
Setelah rangkaian elektrik selesai, rangkaian dikemas dalam kotak proyek menjadi seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3. Tampilan alat ukur

Pada baris atas LCD menampilkan nilai tekanan udara dan temperatur udara secara bergantian.

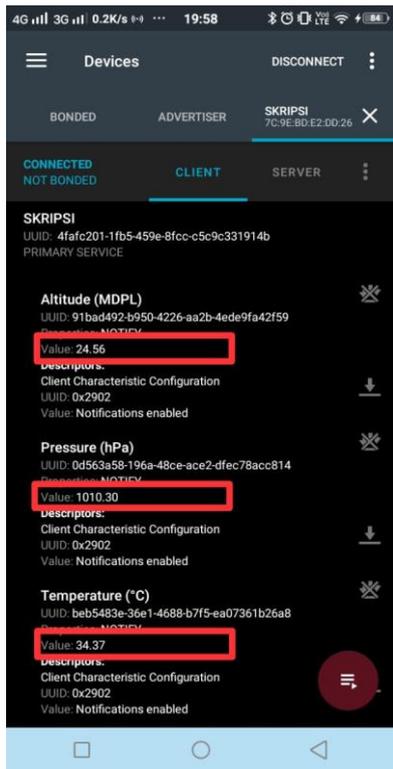
Secara umum sistem kerja alat tergambar pada diagram blok di bawah ini.



Sistem alat yang sudah jadi diuji coba dan dilakukan pengambilan data berupa nilai ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara. Data hasil pengukuran diperoleh dengan cara melakukan pengukuran di lokasi dengan ketinggian yang berbeda-beda. Data yang diperoleh berupa besaran ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara yang ditampilkan di *android*. Hasil pengukuran alat selanjutnya akan dikomparasikan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur konvensional. Selain itu, dilakukan uji coba penggunaan *bluetooth low energy* pada sistem alat untuk mengetahui kinerja jaringan pada sistem alat sebagai pengirim data pengukuran dari alat ukur ke *android*.

Agar dapat membaca hasil pengukuran dari alat ukur melalui *android*, dibutuhkan sebuah aplikasi pemindai *bluetooth low energy* yang dipasang pada *android*. Aplikasi yang digunakan adalah "nRF Connect". Aplikasi tersebut merupakan aplikasi pemindai perangkat *bluetooth low energy* yang tersedia bagi pengguna *android*. Aplikasi ini bisa diunduh melalui Play Store. Berikut ini tampilan

data yang diterima pada aplikasi.

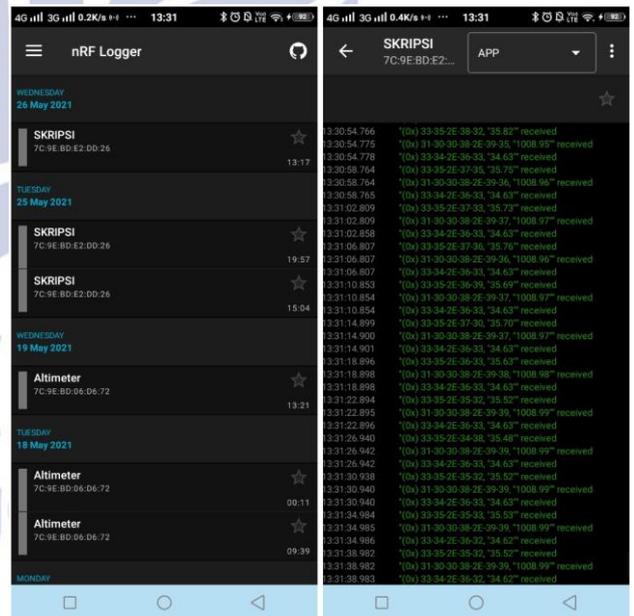


Gambar 4. Tampilan hasil pengukuran pada aplikasi "nRF Connect"

Hasil pengukuran ditampilkan setiap dua detik sekali. Hasil pengukuran ditunjukkan oleh kotak merah pada gambar di atas. Keunggulan lain dari penggunaan *bluetooth low energy* adalah kita bisa menyimpan rekam pengukuran dalam ponsel kita. Adanya rekam pengukuran sangat berguna dalam kegiatan perjalanan di alam. Rekam pengukuran disajikan seperti pada Gambar 5 dan 6 berikut ini.



Gambar 5. . Rekam pengukuran yang diakses dari aplikasi nRF Connect



Gambar 6. Rekam pengukuran yang diakses dari aplikasi nRF Logger

HASIL DAN PEMBAHASAN

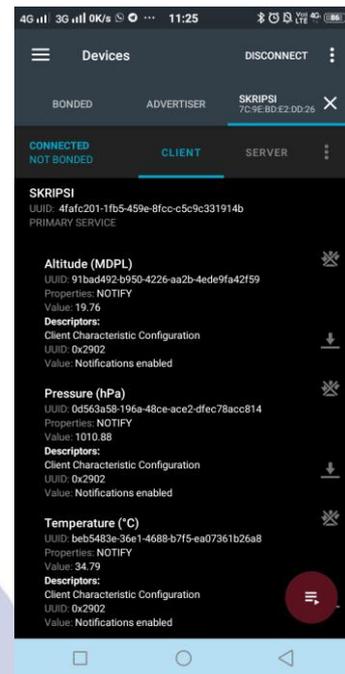
Penelitian sebelumnya oleh Budihartono E, dkk pada tahun 2020, menghasilkan sebuah alat pengukur ketinggian dan temperatur udara. Alat tersebut menggunakan Arduino R3 sebagai mikrokontroler, BMP280 sebagai sensor dan LCD 16×2 sebagai output untuk menampilkan hasil pengukuran. Dalam penelitian tersebut dilakukan uji alat dengan membandingkan hasil pengukuran alat oleh peneliti dengan alat ukur yang sesungguhnya, yang mana hal tersebut juga dilakukan dalam penelitian ini.

Namun, terdapat beberapa perbedaan antara alat oleh Budihartono, dkk (2020) dengan alat dalam penelitian ini. Pertama, perbedaan pada mikrokontroler yang digunakan. Dalam penelitian Budihartono, dkk (2020) menggunakan Arduino R3, sedangkan dalam penelitian ini menggunakan ESP32. Perbedaan kedua terletak pada output alat, yang mana dalam penelitian Budihartono (2020) memberikan output nilai ketinggian dan temperatur udara. Sedangkan, dalam penelitian ini terdapat tiga output, yaitu nilai ketinggian, tekanan udara, dan temperatur udara. Lalu, perbedaan yang ketiga adalah dalam penelitian ini, alat dilengkapi dengan *bluetooth low energy*, sehingga hasil pengukurannya dapat diakses melalui *android*.

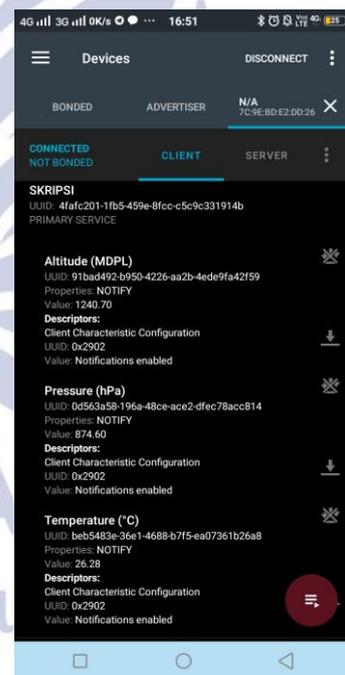
Data dalam penelitian ini merupakan data primer, yaitu hasil pengukuran langsung di lapangan. Pengukuran dilakukan di berbagai titik lokasi yang berbeda. Lokasi pengambilan data diasumsikan memiliki ketinggian yang berbeda-beda, yaitu dari daerah berdataran rendah hingga daerah yang berdataran tinggi. Detail lokasi pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Alat mengukur tekanan udara, temperatur udara, dan ketinggian. Lalu, hasil pengukurannya dikirim ke *android* dengan jaringan *bluetooth low energy*. Dalam penelitian ini, rancangan alat berperan sebagai *server* dan *android* berperan sebagai *client* yang menerima data dari *server*. Data yang ditransfer dari alat ke *android* dapat dilihat dengan aplikasi nRF Connect. Gambar 7 dan 8 adalah tampilan hasil pengukuran alat di titik pengambilan data yang ditampilkan pada aplikasi nRF Connect.

Data pengukuran oleh alat dapat disimpan. Untuk mempermudah dalam mengakses rekam pengukuran, digunakan aplikasi nRF Logger. Aplikasi ini khusus untuk menampilkan log aktifitas data yang diterima dari *server bluetooth low energy*. Data pada nRF Logger juga dapat disalin dalam bentuk teks.



Gambar 7. Hasil pengukuran di daerah berdataran rendah (Porong)



Gambar 8. Hasil pengukuran di daerah berdataran tinggi (Spot Paralayang, Gunung Banyak)

Selanjutnya untuk mengetahui apakah alat dapat bekerja dengan baik, hasil pengukurannya dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan barometer, altimeter, dan termometer konvensional. Perbandingan data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data hasil pengukuran ketinggian, tekanan udara dan temperatur udara.

Lokasi	Tekanan Udara (hPa)		Ketinggian (MDPL)		Temperatur Udara (°C)	
	Barometer standar	Alat	Altimeter standar	Alat	Termometer standar	Alat
Porong	1010,5	1010,9	25	20	34	35
Dusun Tamanan	998,7	999,0	124	119	35	36
Taman Dayu	989,7	990,0	200	196	35	36
Sukorejo	985,7	986,2	234	228	34	35
Stasiun Lawang	955,4	955,8	495	492	34	35
Karang Ploso	939,8	940,3	631	630	32	32
Alun-Alun Kota Batu	913,2	913,5	869	874	31	32
Payung Kota Wisata Batu, Jalan Brigadir Muhammad Manan, Batu	897,7	898,1	1013	1017	27	28
Tugu Kota Wisata Batu, Pujon, Malang	884,7	885,1	1134	1140	27	27
Spot Paralayang, Gunung Banyak	874,1	874,6	1235	1241	26	26

Nilai tekanan dan temperatur udara diperoleh dengan mengaktifkan sensor BMP280 dalam pemrograman mikrokontroler agar sensor dapat mendeteksi tekanan dan temperatur udara di sekitar. Sedangkan nilai ketinggian yang ditampilkan oleh alat merupakan hasil konversi dari nilai tekanan udara. Nilai tekanan udara dimasukkan ke dalam rumus berikut.

$$\text{Ketinggian daratan} = \frac{R_d T_0}{g} \ln\left(\frac{p_0}{p}\right) \quad (1)$$

(Mölders & Kramm, 2014)

Keterangan:

$R_d = 287,04 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (konstanta gas untuk udara kering)

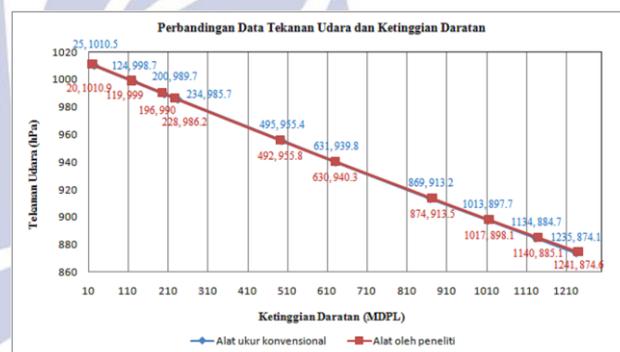
$T_0 = 288,15 \text{ K}$ (Temperatur udara di permukaan laut)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (percepatan gravitasi Bumi)

$p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ (nilai tekanan udara di permukaan laut)

Rumus tersebut ditulis dalam pemrograman mikrokontroler, sehingga dapat diperoleh hasil pengukuran ketinggian seperti pada tabel data.

Secara garis besar perbandingan hasil pengukuran tekanan udara dengan alat oleh peneliti dan alat ukur konvensional bisa dilihat pada grafik perbandingan berikut.

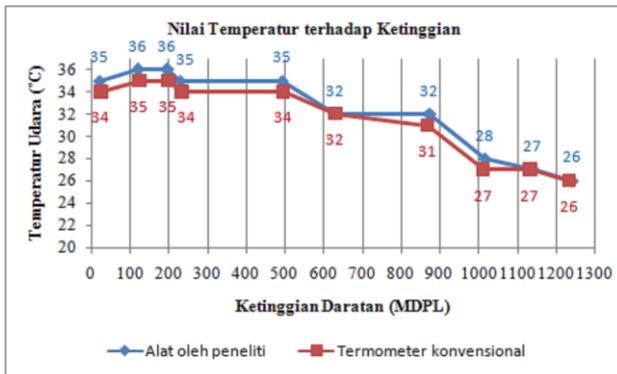


Gambar 9 Grafik perbandingan data tekanan udara dan ketinggian

Tekanan udara di atmosfer semakin kecil seiring dengan bertambahnya ketinggian (Mölders & Kramm, 2014). Berdasarkan tabel 1, variasi tekanan udara semakin menurun dari lokasi berdataran rendah hingga ke lokasi berdataran tinggi. Perbandingan hasil pengukuran antara alat ukur konvensional dengan alat yang dirancang dalam penelitian ini bisa dibilang mendekati sesuai. Bisa dilihat data pada Gambar 9, grafik perbandingan data tekanan udara dan ketinggian, nilai hasil pengukuran antara kedua alat ukur tidak berbeda jauh. Nilai tekanan udara antara kedua alat ukur tersebut memiliki selisih rata-rata 0,4 hPa.

Nilai ketinggian merupakan hasil konversi dari nilai tekanan udara, sehingga nilai ketinggian bergantung pada nilai tekanan udara yang telah terukur. Nilai tekanan udara yang terukur oleh sensor dimasukkan ke dalam persamaan (1), sehingga diperoleh hasil konversi seperti pada tabel. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran altimeter konvensional, hasilnya berbeda hingga enam meter. Hal

ini bisa disebabkan oleh hasil pengukuran tekanan udara yang berbeda dari kedua alat ukur.



Gambar 10 Grafik perbandingan data temperatur udara

Selanjutnya adalah perbandingan nilai temperatur oleh alat ukur yang dirancang peneliti dan hasil ukur termometer konvensional. Berdasarkan data yang telah diperoleh, nilai temperatur yang terukur dengan alat rancangan peneliti cukup sesuai dengan hasil ukur termometer konvensional, meskipun terdapat selisih hingga satu derajat Celsius pada beberapa data.

Lalu, berdasarkan teori, temperatur udara cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya ketinggian (Mölders & Kramm, 2014). Namun, pada tabel data hasil pengukuran temperatur udara tidak banyak dijumpai variasi nilai temperatur. Bahkan pada data pertama dan kedua, yaitu temperatur udara di Porong dan Dusun Tamanan, mengalami kenaikan temperatur sebesar satu derajat Celsius. Seharusnya, nilai temperatur udara di Porong lebih tinggi, karena berdasarkan letak ketinggian kedua tempat tersebut, Porong berada di ketinggian yang lebih rendah dibandingkan Dusun Tamanan Gempol. Kesalahan dalam pengukuran temperatur udara bisa disebabkan karena radiasi langsung maupun tidak langsung dari berbagai sumber, salah satunya adalah sinar matahari (WMO, 2018). Ketidaksiharian nilai temperatur dalam penelitian ini bisa disebabkan karena cuaca pada hari pengambilan data yang cukup terik sehingga mempengaruhi kenaikan temperatur udara di Dusun Tamanan. Selain itu, perubahan temperatur udara dari titik awal pengambilan data hingga di ketinggian lokasi terakhir, yaitu sekitar 1200 MDPL mengalami perubahan yang tidak begitu signifikan. Perubahannya cukup kecil hanya beberapa derajat Celsius. Perubahan temperatur juga dipengaruhi oleh waktu. Temperatur ketika siang hari dengan temperatur ketika malam hari berbeda. Temperatur ketika malam cenderung lebih rendah.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peneliti merancang sebuah sistem alat yang dapat digunakan sebagai altimeter, barometer, dan

termometer. Sistem alat menggunakan BMP280 sebagai sensor tekanan dan temperatur udara, serta modul ESP32 sebagai mikrokontrolernya. Implementasi bluetooth low energy pada sistem alat bermanfaat dalam pengiriman data hasil pengukuran ke *android*. Pengukuran tekanan udara, temperatur udara, dan ketinggian oleh alat dalam penelitian ini cukup bekerja dengan baik. Berdasarkan perbandingan dengan hasil pengukuran alat ukur konvensional, hasilnya cukup mendekati sesuai dengan selisih hingga 0,4 hPa pada pengukuran tekanan udara, 6 MDPL pada pengukuran ketinggian, dan satu derajat Celsius pada pengukuran temperatur udara.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti memiliki saran untuk penelitian selanjutnya untuk mengembangkan alat pengukur ketinggian, tekanan, dan temperatur udara. Berikut ini beberapa saran dari peneliti:

1. Menambahkan baterai pada alat. Dalam penelitian ini masih menggunakan power bank sebagai sumber tegangannya.
2. Mengganti display dengan OLED, sehingga lebih banyak variasi karakter yang dapat ditampilkan. Selain itu, OLED juga memiliki dimensi yang lebih kecil, sehingga bentuk alat bisa menjadi lebih sederhana.
3. Menambah fitur alat dengan menambahkan sensor. Misalnya menambahkan sensor kelembapan udara, GPS, intensitas cahaya dan lain-lain yang biasa dibutuhkan di alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C., Jackson, P., & Jackson, C. (2012). *Meteorology Today an Introduction to Weather, climate, and The Environment*.
- Bosch. (2008). Datasheet BMP280. *Datasheet - Bosch*.
- Bensky, A. (2019). Wireless personal area networks. In *Short-range Wireless Communication* (pp. 317–360).
- Budihartono, E., Afriliana, I., & Rakhman, A. (2020). *ANALISA PENGGUNAAN ALAT PENGUKUR KETINGGIAN MENGGUNAKAN ARDUINO R3 DAN SENSOR BAROMETRIK ALTIMETER BMP280*. 9(1), 31–34.
- Espressif. (2019). ESP32 Series Datasheet. *Espressif Systems*, 1–61.
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors*. In *Handbook of Modern Sensors*.
- Mackensen, E., Lai, M., & Wendt, T. M. (2012). Performance analysis of an Bluetooth Low Energy sensor system. *2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems - Within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS-SWS 2012, September*, 62–66.

- Mölders, N., & Kramm, G. (2014). *Lectures in Meteorology*.
- Morris, A. S., & Langari, R. (2016). *Measurement and Instrumentation Theory and Application Second Edition*.
- Naik, A. G., Kuwelkar, S., & Magdum, V. (2015). *Energy and Current Consumption Analysis for Classic Bluetooth and Bluetooth Low Energy (BLE)*.
- Wolf, M. (2017). Internet-of-Things Systems. In *Computers as Components* (pp. 423–448). Elsevier.
- World Meteorological Organization. (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation: Vol. I* (Issue 8).