

Pengembangan Digital Pressure Meter Berbasis IoT untuk Pengujian Tekanan Suction Pump dan Pencatatan Data Otomatis

Development of an IoT-Based Digital Pressure Meter for Suction Pump Pressure Testing and Automated Data Logging

Abdul haris Kuspranoto¹, Muhammad Ulin Nuha Aba², Fanhas Andika Hermawan³

¹⁾ Teknik Elektro Medis Polbitrada, Jl. Sambiroto Raya No. 64-D, Sambiroto, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Indonesia 50276

²⁾ Teknik Elektro Medis Polbitrada, Jl. Sambiroto Raya No. 64-D, Sambiroto, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Indonesia 50276

³⁾ Teknik Elektro Medis Polbitrada, Jl. Sambiroto Raya No. 64-D, Sambiroto, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Indonesia 50276

Alamat korespondensi: abduhariskuspranoto@polbitrada.ac.id

Abstrak

Suction pump memerlukan verifikasi tekanan vakum secara berkala agar kinerjanya dapat dievaluasi secara konsisten dan hasil pengukuran terdokumentasi. Penelitian ini mengembangkan Digital Pressure Meter (DPM) berbasis Internet of Things (IoT) yang menampilkan tekanan dalam mmHg, Pascal (Pa), dan bar serta mengirimkan data ke Google Spreadsheet. Perangkat menggunakan Arduino Mega 2560, sensor MPX5050DP, sensor DHT22, TFT LCD, dan modul ESP8266. Pengujian dilakukan pada setting 0, 50, 100, 150, dan 200 mmHg dengan lima pengulangan per titik serta dibandingkan dengan Fluke DPM4. Analisis mencakup rerata, simpangan baku, koefisien variasi, bias, mean absolute percentage error (MAPE), dan regresi linear. Pada empat titik nonnol, error terhadap setting berada pada rentang 1,75-4,02% dengan MAPE 2,68%; koefisien variasi 0,40-2,95%. Hubungan antara setting dan pembacaan alat mengikuti persamaan $y = 0,9735x + 1,0804$ dengan $R^2 = 0,9996$. Perbedaan relatif terhadap rerata DPM pembandingan berkisar 1,12-5,02% dengan rerata 2,61%. Sistem IoT berhasil menyimpan tekanan, waktu, nomor seri, suhu, dan kelembapan, tetapi format desimal pada satuan bar belum konsisten di Google Spreadsheet. Prototipe menunjukkan linearitas dan repeatabilitas yang baik sebagai alat bantu pengujian dan dokumentasi. Pengujian lanjutan masih diperlukan untuk menyusun anggaran ketidakpastian, menilai histeresis dan stabilitas jangka panjang, serta memastikan ketertelusuran metrologis sebelum digunakan sebagai standar kalibrasi.

Kata kunci: Digital Pressure Meter, suction pump, kalibrasi, Internet of Things, MPX5050DP

Abstract

A suction pump requires periodic vacuum-pressure verification to support consistent performance assessment and reliable documentation. This study developed an Internet of Things (IoT)-based Digital Pressure Meter (DPM) that displays pressure in mmHg, Pascal (Pa), and bar and transmits measurement records to Google Sheets. The device integrated an Arduino Mega 2560, an MPX5050DP pressure sensor, a DHT22 sensor, a TFT LCD, and an ESP8266 module. Testing was performed at 0, 50, 100, 150, and 200 mmHg with five repetitions at each point and comparison against a Fluke DPM4. The analysis included mean, standard deviation, coefficient of variation, bias, mean absolute percentage error (MAPE), and linear regression. Across the four non-zero points, the relative error against the set pressure ranged from 1.75% to 4.02%, with a MAPE of 2.68%; the coefficient of variation ranged from 0.40% to 2.95%. The relationship between set pressure and device output was $y = 0.9735x + 1.0804$ with $R^2 = 0.9996$. Relative differences from the reference-device means ranged from 1.12% to 5.02%, averaging 2.61%. The IoT system successfully stored pressure, timestamp, serial number, temperature, and humidity; however, decimal formatting for bar values was inconsistent in Google Sheets. The prototype demonstrated strong linearity and repeatability as a pressure-testing and documentation aid. Further work should establish measurement uncertainty, hysteresis, long-term stability, and metrological traceability before the device is used as a calibration standard.

Keywords: Digital Pressure Meter, suction pump, calibration, Internet of Things, MPX5050DP

Pendahuluan

Kalibrasi dan verifikasi kinerja merupakan bagian penting dalam pengelolaan alat ukur elektromedis karena hasil pengukuran menjadi dasar penilaian kondisi peralatan. Proses tersebut perlu dilakukan dengan metode yang terdokumentasi, alat pembandingan yang memadai, dan evaluasi penyimpangan yang dapat ditelusuri [1]. Pada suction pump, parameter utama yang dinilai adalah tekanan vakum yang digunakan untuk memindahkan cairan atau sekret. Penyimpangan tekanan dapat mengurangi efektivitas penghisapan dan menyulitkan tenaga elektromedis dalam memastikan bahwa perangkat bekerja sesuai kebutuhan layanan [2].

Digital Pressure Meter (DPM) digunakan untuk membaca tekanan dan membandingkan keluaran suction pump pada beberapa titik uji. Sejumlah pengembangan sebelumnya telah memanfaatkan mikrokontroler dan sensor seri MPX. DPM berbasis Arduino Uno dilaporkan menghasilkan kesalahan sekitar 2% [3], sedangkan rancangan berbasis Arduino Nano digunakan untuk meningkatkan ketelitian pembacaan tekanan [4]. Pengembangan lain menambahkan pemantauan suhu dan kelembapan [5], deteksi kebocoran tekanan [7], serta konektivitas Internet of Things untuk pengiriman data ke platform daring [6,8].

Meskipun fungsi pengukuran dasar telah tersedia, kebutuhan operasional di lapangan mencakup antarmuka yang mudah dibaca, pilihan satuan, proses zeroing, identifikasi data, dan penyimpanan otomatis. Pencatatan manual dapat menambah waktu kerja, menimbulkan kesalahan transkripsi, dan menyulitkan penelusuran riwayat pengukuran. Di sisi lain, integrasi cloud juga menghadirkan risiko baru, antara lain kegagalan koneksi, perbedaan format angka, dan ketidaksesuaian antara nilai yang tampil pada alat dan nilai yang tersimpan.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan DPM berbasis IoT untuk pengujian tekanan suction pump, mengevaluasi kinerja pengukuran pada rentang 0-200 mmHg, membandingkan hasilnya dengan DPM standar rumah sakit, dan menilai fungsi penyimpanan data ke Google Spreadsheet. Kebaruan fungsional rancangan terletak pada integrasi pengukuran tiga satuan, TFT LCD, pembacaan suhu dan kelembapan, nomor seri, serta pencatatan data daring dalam satu perangkat portabel.

Metode

Penelitian menggunakan desain eksperimen pengembangan perangkat. Perancangan, perakitan, dan pengujian dilakukan di Laboratorium Elektromedik Politeknik Bina Trada Semarang. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi komponen, pengujian fungsi, pengambilan data tekanan, perbandingan dengan alat pembandingan, dan evaluasi sistem penyimpanan IoT.

a. Prosedur kerja

Sinyal tekanan diferensial dibaca oleh sensor MPX5050DP dan diproses oleh Arduino Mega 2560. Program melakukan zeroing, mengubah hasil pembacaan ke mmHg, Pa, dan bar, menampilkan nilai pada TFT LCD IL19341, serta membaca suhu dan kelembapan dari DHT22. Data dikirim melalui ESP8266 menuju Google Spreadsheet. Alur ini menggunakan satu pengukuran tekanan sebagai basis tampilan dan dokumentasi, sedangkan pemilihan satuan dilakukan melalui perangkat lunak.

Pengujian tekanan dilakukan pada setting 0, 50, 100, 150, dan 200 mmHg. Setiap titik diukur lima kali menggunakan DPM rancang bangun. Fluke DPM4 digunakan sebagai pembandingan dan juga dibaca lima kali pada setting yang sama.

b. Alat dan bahan

Komponen utama terdiri atas Arduino Mega 2560 sebagai pengendali [10], sensor tekanan diferensial MPX5050DP [9], TFT LCD 2,4 inci IL19341 [12], modul Wi-Fi ESP8266 ESP-01 [11], sensor suhu dan kelembapan DHT22 [13], baterai lithium-ion INR21700 [15], modul pengisi daya TP4056 [14], modul DC-DC step-up XL6009, buzzer, push button, suction pump sebagai objek pengujian, dan Fluke DPM4 sebagai alat pembandingan. Pemanfaatan Arduino Mega pada instrumentasi elektromedis juga telah dilaporkan pada pengembangan perangkat lain [16].

c. Etik

Penelitian tidak melibatkan manusia, hewan, identitas pasien, maupun data klinis. Objek pengujian berupa perangkat suction pump dan sistem ukur di laboratorium, sehingga persetujuan etik subjek penelitian tidak diperlukan.

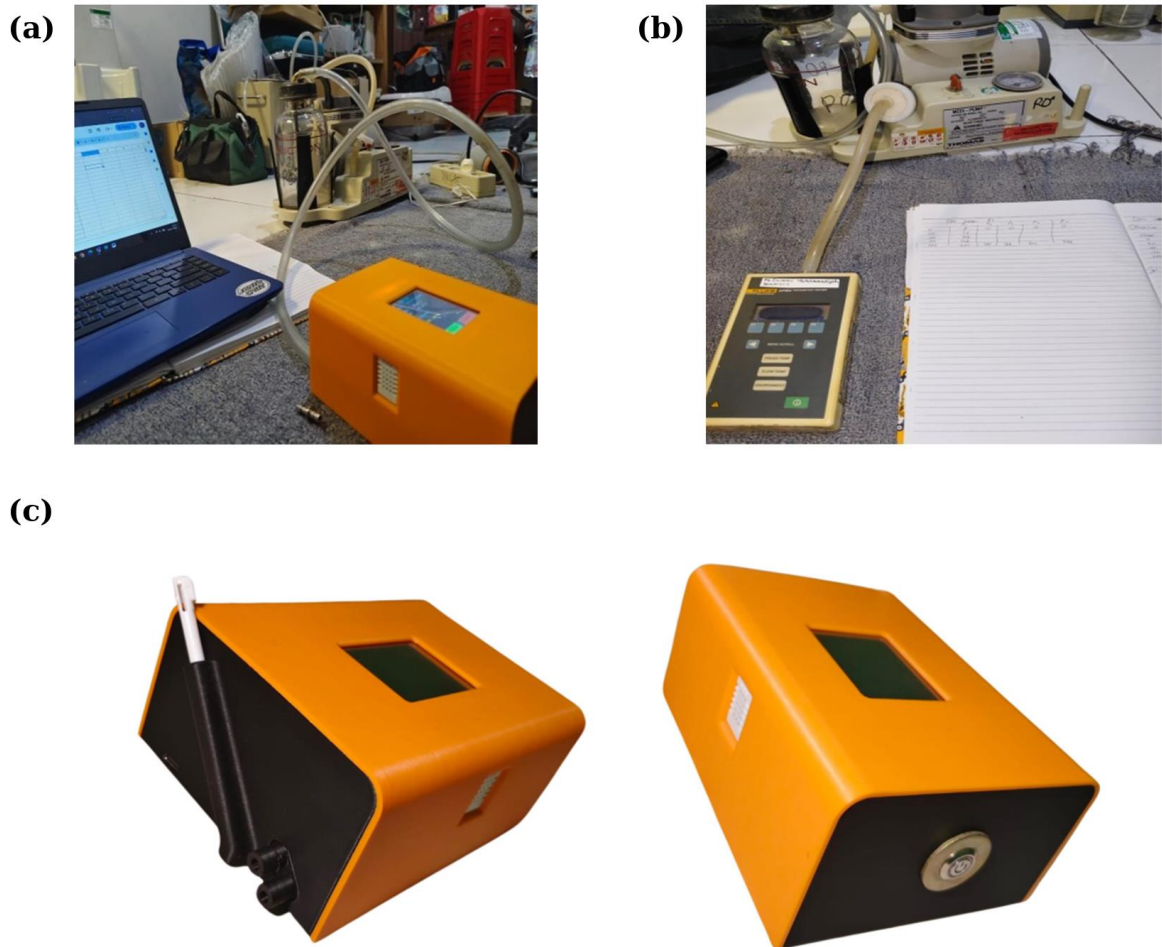
d. Analisis statistik

Data dianalisis secara deskriptif. Untuk setiap titik dihitung rerata dan simpangan baku sampel. Repeatabilitas dinyatakan dengan koefisien variasi ($CV = SD/rerata \times 100\%$). Bias terhadap setting dihitung sebagai rerata pembacaan dikurangi nilai setting, sedangkan error relatif dihitung sebagai nilai absolut bias dibagi setting $\times 100\%$. Persentase error tidak dihitung pada setting 0 mmHg karena penyebut bernilai nol; titik tersebut dinilai melalui zero offset absolut.

Kinerja keseluruhan pada titik nonnol dirangkum menggunakan mean absolute percentage error (MAPE). Perbandingan dengan DPM pembandingan dihitung dari selisih rerata kedua alat pada setiap titik dan dinyatakan sebagai persentase terhadap rerata DPM pembandingan. Linearitas dievaluasi menggunakan regresi linear antara setting tekanan dan rerata pembacaan DPM rancang bangun. Tidak dilakukan uji hipotesis karena tujuan penelitian adalah karakterisasi performa prototipe dengan lima pengulangan per titik, bukan inferensi populasi.

Hasil

Prototipe berhasil mengintegrasikan pengukuran tekanan, proses zeroing, pemilihan satuan, tampilan TFT, pembacaan suhu dan kelembapan, serta pengiriman data melalui ESP8266. Rangkaian pengujian dan bentuk fisik perangkat ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil uji fungsi dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 1. (a) Pengujian sistem dan koneksi penyimpanan daring; (b) perbandingan dengan DPM standar rumah sakit; (c) bentuk fisik DPM rancang bangun.

Tabel 1. Hasil pengujian fungsi sistem

Fungsi	Indikator pengujian	Hasil
Pembacaan tekanan	Nilai tekanan tampil pada TFT LCD	Berfungsi
Zeroing	Nilai awal dapat dikembalikan ke nol	Berfungsi
Pemilihan satuan	mmHg, Pa, dan bar dapat dipilih	Berfungsi
DHT22	Suhu dan kelembapan tampil	Berfungsi
Komunikasi ESP8266	Perangkat terhubung ke jaringan	Berfungsi
Penyimpanan IoT	Data masuk ke Google Spreadsheet	Berhasil, dengan catatan format desimal bar

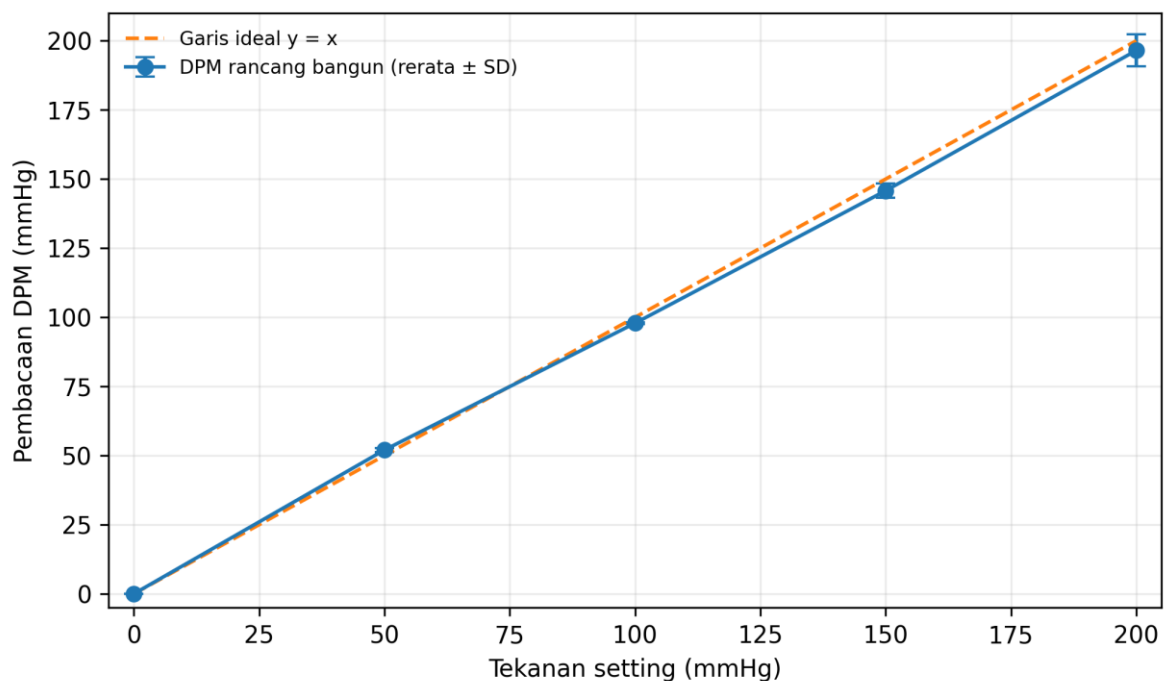
Data mmHg menunjukkan bahwa rerata pembacaan meningkat secara konsisten mengikuti kenaikan setting. Error relatif terbesar terhadap setting terjadi pada 50 mmHg (4,02%), sedangkan error terkecil terdapat pada 200 mmHg (1,75%). Simpangan baku meningkat pada 200 mmHg, tetapi CV pada seluruh titik nonnol tetap berada pada rentang 0,40-2,95% (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil pengukuran DPM rancang bangun pada satuan mmHg

Setting	P1	P2	P3	P4	P5	Rerata ± SD	Error (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00	—
50	53,09	51,23	52,22	51,88	51,63	52,01 ± 0,70	4,02
100	97,19	98,02	98,10	98,08	98,00	97,88 ± 0,39	2,12
150	147,63	144,05	143,97	143,89	149,40	145,79 ± 2,57	2,81
200	190,62	197,71	200,40	190,44	203,31	196,50 ± 5,80	1,75

Tabel 3. Hasil pengukuran DPM standar rumah sakit pada satuan mmHg

Setting	P1	P2	P3	P4	P5	Rerata ± SD
0	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,20 ± 0,27
50	55,00	50,00	47,00	57,00	54,00	52,60 ± 4,04
100	106,00	108,50	91,00	97,50	97,60	100,12 ± 7,09
150	156,00	150,00	157,00	153,00	151,50	153,50 ± 2,96
200	201,00	195,00	199,00	202,00	206,00	200,60 ± 4,04



Gambar 2. Hubungan antara setting tekanan dan rerata pembacaan DPM rancang bangun. Batang galat menunjukkan simpangan baku lima pengulangan.

Regresi linear menghasilkan persamaan $y = 0,9735x + 1,0804$ dengan $R^2 = 0,9996$. Kemiringan yang sedikit lebih kecil dari satu menunjukkan kecenderungan pembacaan makin rendah dibandingkan garis ideal pada tekanan yang lebih tinggi. MAPE terhadap setting pada empat titik nonnol sebesar 2,68%.

Tabel 4. Perbandingan rerata DPM rancang bangun dan DPM pembanding

Setting (mmHg)	DPM rancangan	DPM pembanding	Selisih (mmHg)	Selisih relatif (%)	CV rancangan (%)
0	0,00	0,20	-0,20	—	—
50	52,01	52,60	-0,59	1,12	1,35
100	97,88	100,12	-2,24	2,24	0,40
150	145,79	153,50	-7,71	5,02	1,76
200	196,50	200,60	-4,10	2,05	2,95

Perbedaan relatif antara rerata kedua alat berada pada rentang 1,12-5,02% dengan rata-rata 2,61%. Perbedaan terbesar ditemukan pada setting 150 mmHg. Pada titik tersebut, DPM rancang bangun membaca 145,79 mmHg dan DPM pembanding 153,50 mmHg. Data ini menunjukkan perlunya verifikasi lebih lanjut pada area tengah-atas rentang ukur.

Tabel 5. Ringkasan verifikasi tampilan satuan Pa dan bar

Setting (mmHg)	Nilai teoritis (Pa)	Rerata $\pm$ SD (Pa)	Error Pa (%)	Nilai teoritis (bar)	Rerata $\pm$ SD (bar)	Error bar (%)
50	6.666,10	6.890,40 $\pm$ 145,54	3,36	0,066661	0,07056 $\pm$ 0,00029	5,85
100	13.332,20	13.159,00 $\pm$ 13,51	1,30	0,133322	0,12914 $\pm$ 0,00415	3,14
150	19.998,30	18.947,40 $\pm$ 18,64	5,25	0,199983	0,20054 $\pm$ 0,00019	0,28
200	26.664,40	25.676,40 $\pm$ 17,24	3,71	0,266644	0,25978 $\pm$ 0,00055	2,57

Pada pengujian satuan Pa, MAPE empat titik nonnol sebesar 3,40%, sedangkan pada satuan bar sebesar 2,96%. Rerata bar pada 50 mmHg dihitung ulang dari lima data menjadi 0,07056 bar. Nilai pengukuran keempat pada 100 mmHg digunakan sebesar 0,1325 bar karena angka tersebut konsisten dengan rerata lima pengulangan; penulisan 0,325 pada naskah awal merupakan ketidakkonsistenan numerik. Perbedaan error antarsatuan tidak dapat ditafsirkan sebagai perbedaan karakteristik sensor, karena seluruh satuan berasal dari tekanan yang sama dan seri pengukurannya dilakukan terpisah.

Tabel 6. Contoh data yang tersimpan pada Google Spreadsheet

Timestamp	SN	Tanggal	Satuan	Pressure	Suhu (°C)	RH (%)
09/07/2026 12:41:43	6933	09-07-2026	mmHg	52,33	30,1	49,6
09/07/2026 12:53:11	6933	09-07-2026	Pa	7051	30,0	48,2
09/07/2026 13:22:20	6933	09-07-2026	Bar	2,006*	29,8	47,0
09/07/2026 13:24:07	6933	09-07-2026	Bar	1,246*	29,8	45,3

*Nilai bar tersimpan sebagai 2,006 dan 1,246, sedangkan nilai yang dimaksud berdasarkan data pengukuran adalah 0,2006 dan 0,1246 bar. Pola ini konsisten dengan kesalahan interpretasi pemisah desimal pada spreadsheet.

Pembahasan

Hasil menunjukkan bahwa prototipe mampu mengikuti perubahan tekanan secara linear. Nilai R^2 yang mendekati satu memperlihatkan konsistensi hubungan antara setting dan keluaran alat, tetapi kemiringan regresi 0,9735 mengindikasikan residual gain error. Pola bias juga berubah dari positif pada 50 mmHg menjadi negatif pada 100-200 mmHg. Dengan demikian, koreksi tidak cukup dilakukan melalui zeroing saja; penyesuaian faktor skala atau kalibrasi multipoint lebih tepat untuk memperbaiki respons pada seluruh rentang.

Repeatabilitas alat relatif baik. CV terendah terdapat pada 100 mmHg dan tertinggi pada 200 mmHg. Peningkatan variasi pada tekanan tinggi dapat dipengaruhi oleh kestabilan sumber vakum, sambungan selang, resolusi pembacaan, atau karakteristik sensor. Data yang tersedia belum memisahkan kontribusi masing-masing faktor, sehingga penyebab tersebut harus diperlakukan sebagai hipotesis teknis, bukan kesimpulan.

Dibandingkan dengan DPM rumah sakit, selisih relatif rata-rata sebesar 2,61% menunjukkan kesesuaian yang cukup dekat pada rentang uji. Temuan ini sejalan dengan penelitian DPM berbasis Arduino yang melaporkan error sekitar 2% [3] dan pengembangan kalibrator suction pump dengan akurasi sekitar 97% [5]. Namun, variasi pembacaan DPM pembanding pada 50 dan 100 mmHg lebih besar daripada variasi prototipe. Karena kedua seri tidak dinyatakan diambil secara simultan, variasi tersebut dapat mencerminkan perubahan tekanan pada sistem uji dan tidak dapat langsung diatribusikan pada performa internal alat pembanding.

Titik 150 mmHg memerlukan perhatian karena memberikan selisih terbesar terhadap alat pembanding serta error Pa tertinggi. Pola ini dapat digunakan sebagai dasar penambahan titik koreksi kalibrasi di sekitar 150 mmHg. Evaluasi pressure transmitter juga menekankan pentingnya pengaturan titik nol, rentang, dan pemeriksaan hasil pada beberapa titik kerja [17].

Penggunaan tiga satuan memperluas fleksibilitas tampilan, tetapi evaluasi performa sebaiknya tetap dilakukan pada satu satuan dasar. Jika konversi perangkat lunak benar, perubahan satuan tidak mengubah besaran fisik dan seharusnya tidak menghasilkan karakteristik akurasi yang berbeda. Perbedaan MAPE antara mmHg, Pa, dan bar pada penelitian ini kemungkinan merupakan gabungan variasi antarseri pengukuran, pembulatan, dan pemrosesan angka. Pengujian perangkat lunak perlu memasukkan unit test konversi agar satu nilai tekanan menghasilkan keluaran yang ekuivalen pada seluruh satuan.

Sistem IoT berhasil menyimpan elemen data yang relevan, yaitu timestamp, nomor seri, tanggal, satuan, tekanan, suhu, dan kelembapan. Fitur ini mendukung pelacakan hasil dan mengurangi penyalinan manual, sesuai arah pengembangan DPM berbasis IoT sebelumnya [6] dan sistem pengukuran tekanan terhubung smartphone [8]. Masalah format desimal pada bar menunjukkan

bahwa integrasi tidak selesai pada tahap data berhasil dikirim; validasi harus mencakup kesetaraan nilai dari sensor, tampilan lokal, payload jaringan, dan spreadsheet. Solusi teknis yang dapat diterapkan adalah mengirim nilai numerik dengan format locale-neutral, menetapkan tipe kolom, atau mengirim nilai sebagai teks terkontrol kemudian mengonversinya di sisi spreadsheet.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Informasi mengenai sertifikat dan ketertelusuran Fluke DPM4 tidak dicantumkan. Anggaran ketidakpastian belum disusun, dan pengujian belum mencakup histeresis, repeatability antarhari, stabilitas jangka panjang, response time, kebocoran, pengaruh catu daya, atau variasi beberapa unit suction pump. Waktu stabilisasi dan urutan pengujian naik-turun juga tidak dijelaskan. Oleh karena itu, hasil mendukung penggunaan prototipe sebagai alat bantu pengukuran dan dokumentasi, tetapi belum cukup untuk menyatakan perangkat sebagai pengganti standar kalibrasi tertelusur.

Kesimpulan

Digital Pressure Meter berbasis IoT berhasil dikembangkan dengan fungsi zeroing, tampilan mmHg, Pa, dan bar, pembacaan suhu dan kelembapan, serta penyimpanan data ke Google Spreadsheet. Pada empat setting nonnol, error pembacaan mmHg berada pada rentang 1,75-4,02% dengan MAPE 2,68%, sedangkan CV berada pada rentang 0,40-2,95%. Hubungan antara setting dan pembacaan sangat linear ($R^2 = 0,9996$), dan perbedaan relatif terhadap rerata DPM pembanding rata-rata 2,61%. Sistem penyimpanan daring berfungsi, tetapi format desimal satuan bar memerlukan perbaikan. Berdasarkan data yang tersedia, perangkat dapat digunakan sebagai prototipe alat bantu pengujian tekanan dan dokumentasi suction pump; penggunaannya sebagai standar kalibrasi memerlukan evaluasi ketertelusuran dan ketidakpastian lebih lanjut.

Saran

Penelitian berikutnya perlu melakukan kalibrasi multipoint dengan standar yang memiliki sertifikat tertelusur, menyusun anggaran ketidakpastian, menguji tekanan dalam urutan naik dan turun untuk menilai histeresis, serta melakukan pengulangan pada hari dan unit suction pump yang berbeda. Pengujian juga perlu mencakup response time, kestabilan catu daya, kebocoran, dan keandalan komunikasi. Pada sisi perangkat lunak, format angka harus dibuat konsisten antara TFT, payload ESP8266, dan Google Spreadsheet, terutama untuk nilai desimal kecil pada satuan bar.

Kontribusi Penulis

FAH melaksanakan konseptualisasi, studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan, pengambilan data, analisis, dan penyusunan draf naskah. MUNA menyusun metodologi, melakukan supervisi, memvalidasi hasil analisis, serta meninjau dan menyempurnakan naskah. M melakukan supervisi, mengevaluasi hasil penelitian, dan melakukan peninjauan akhir.

Seluruh penulis membaca dan menyetujui naskah final.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Bina Trada Semarang atas dukungan fasilitas selama penelitian, kepada dosen pembimbing atas arahan selama pengembangan perangkat dan penyusunan naskah, serta kepada Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang atas izin dan fasilitas pengujian alat.

Daftar Rujukan

1. Junaidi R, Jailani MS, Nasution FH. Prinsip-prinsip pengembangan kalibrasi. 2024;15(2):11-19.
2. Putra N. Rancang bangun suction pump berbasis digital dengan indikator level cairan penuh. 2024;5(1):22-31.
3. Hapipi LR, Hidayat MA, Anggraynie RD. Rancang bangun alat kalibrasi Digital Pressure Meter menggunakan Arduino Uno. Med Trada. 2022;2(1).
4. Adnyana IGS, Sukadana IW. Rancang bangun Digital Pressure Meter berbasis Arduino Nano untuk meningkatkan tingkat akurasi peralatan. J-Eltrik. 2021;3(2):91-99.
5. Tegar P. Modifikasi kalibrator suction pump dilengkapi pengukuran suhu dan kelembapan ruang. 2022.
6. Sari HM, Hariyono MA, Akbar MM. Rancang bangun Digital Pressure Meter berbasis Internet of Things. JEMPOL J Elektron Mhs Polanka. 2024;2(1):1-9.
7. Nur S, Erdyansyah W, Hamzah T, Titisari D. Digital pressure meter equipped with pressure leak detection. 2021;14(2):56-61.
8. Tri Handini I, Yulkifli Y, Darvina Y. Rancang bangun sistem pengukuran tekanan udara menggunakan DT-Sense barometric pressure berbasis Internet of Things dengan display smartphone. J Teor Apl Fis. 2020;8(1):1-10.
9. Freescale Semiconductor. MPX5050DP series integrated silicon pressure sensor: on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated [Internet]. 2010. Tersedia dari: <https://datasheet4u.com/datasheets/freescale-semiconductor/mpx5050dp/914417>
10. Arduino. Arduino Mega 2560 product overview [Internet]. Ivrea: Arduino. Tersedia dari: <https://www.arduino.cc>
11. Espressif Systems. ESP8266 datasheet [Internet]. 2015. Tersedia dari: <http://bbs.espressif.com/>
12. ILI Technology Corp. ILI9341: a-Si TFT LCD single chip driver [Internet]. Hsinchu: ILI Technology Corp.; 2011. Tersedia dari: <http://www.ilitek.com>
13. Liu T. DHT22 data sheet. Tanpa tahun:1-10.
14. Nanjing Top Power ASIC Corp. TP4056 1A standalone linear Li-ion battery charger with thermal regulation in SOP-8 package. Tanpa tahun:1-3.
15. Kim YS, Roh SW. Rechargeable lithium-ion battery INR21700 M50 18.20 Wh [Internet]. LG Chem; 2016. Tersedia dari: <https://www.dnkpowers.com/wp-content/uploads/2019/02/lg-inr21700-m50-datasheet.pdf>
16. Aba MUN, Kromen YR. Rancang bangun elektrosimulator berbasis Arduino Mega 2560. 2023;4(2):53-57.
17. Fatimah LA. Analisis hasil studi kasus kalibrasi pressure transmitter dengan metode zero calibration. 2024;5(1).