

Rancang Bangun Alat Kalibrator Tensimeter NIBP Anak dan Dewasa

Muhammad Valen Brilian^{1*}, Mohamad Sofie², Mohammad Rofi'I³

¹⁻³ Program Studi Diploma III Teknik Elektromedis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: buattorney@gmail.com

Abstract. Blood pressure is a vital parameter for diagnosing and monitoring cardiovascular conditions; therefore, the accuracy of digital blood pressure monitors (NIBP) must be maintained through periodic calibration using standard calibrators. However, commercial calibrators are relatively expensive and difficult to access, particularly for educational laboratories and resource-limited healthcare facilities. This study aimed to design, construct, and test the performance of an NIBP calibrator for pediatric and adult monitors—based on the STM32F407VGT6 microcontroller—capable of generating controlled blood pressure and heart rate simulations. The research methodology involved hardware and software design, circuit voltage measurement point testing, and a comparative performance test against both the developed NIBP simulator and a commercial NIBP simulator (used as a reference). Voltage test results aligned with component datasheet specifications. Performance testing involved five repetitions for systolic and diastolic parameters, comparing the developed calibrator with the commercial one. Results showed that all systolic and diastolic measurements fell within tolerance limits relative to standard settings, with a maximum average deviation of 2.2 mmHg. In the comparative test, all measurement points met the ± 5 mmHg tolerance; the largest deviation was 5 mmHg (diastolic parameter at the highest pressure point of 100 mmHg), placing it exactly at the tolerance limit.

Keywords: Blood Pressure Calibration; Comparative Performance Test; NIBP Simulator; STM32F407VGT6; Tensimeter Calibrator.

Abstrak. Tekanan darah merupakan parameter vital yang penting dalam diagnosis dan pemantauan kondisi kardiovaskular, sehingga akurasi tensimeter digital (NIBP) perlu dijaga melalui kalibrasi berkala menggunakan alat kalibrator standar. Namun, alat kalibrator komersial yang tersedia relatif mahal dan sulit diakses, khususnya oleh laboratorium pendidikan dan fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang, membuat, dan menguji kinerja Alat Kalibrator Tensimeter NIBP Anak dan Dewasa berbasis mikrokontroler STM32F407VGT6 yang mampu menghasilkan simulasi tekanan darah dan detak jantung secara terkontrol. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian titik pengukuran tegangan pada rangkaian, serta uji banding performa alat dengan membandingkan hasil pembacaan Tensimeter terhadap NIBP Simulator buatan dan NIBP Simulator pabrikan sebagai acuan. Hasil pengujian titik tegangan menunjukkan nilai yang sesuai dengan datasheet komponen. Pengujian dilakukan dengan lima kali pengulangan pada parameter Systole dan Diastole, serta dibandingkan antara kalibrator penulis dan kalibrator perusahaan. Hasil uji performa menunjukkan seluruh pengukuran Systole dan Diastole terhadap setting standar memenuhi toleransi, dengan selisih rata-rata maksimal 2,2 mmHg. Pada uji banding, seluruh titik pengukuran memenuhi toleransi ± 5 mmHg, dengan selisih terbesar sebesar 5 mmHg pada parameter Diastole di titik tekanan tertinggi (100 mmHg), tepat berada pada batas toleransi.

Kata Kunci: Kalibrator Tensimeter; Kalibrasi Tekanan Darah; NIBP Simulator; STM32F407VGT6; Uji Banding Performa.

1. LATAR BELAKANG

Tekanan darah merupakan salah satu parameter vital yang sangat penting dalam penilaian kondisi kardiovaskular seseorang. Pengukuran tekanan darah digunakan secara luas dalam proses *skrining*, diagnosis, serta pemantauan terapi pada berbagai penyakit, seperti hipertensi dan gangguan jantung. Saat ini, tensimeter digital atau *Non-Invasive Blood Pressure* (NIBP) semakin banyak digunakan baik di fasilitas pelayanan kesehatan maupun untuk penggunaan mandiri karena kemudahan pengoperasian, kecepatan pembacaan, serta minimnya

ketergantungan pada keterampilan operator dibandingkan tensimeter manual (Utomo, (2025).; Wibowo, 2025).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, keakuratan hasil pengukuran tensimeter digital sangat bergantung pada kondisi sensor tekanan, sistem pneumatik, dan rangkaian elektronik di dalam alat. Seiring waktu dan frekuensi pemakaian, tensimeter digital dapat mengalami penyimpangan hasil pengukuran (*measurement drift*) akibat perubahan karakteristik sensor dan komponen pendukungnya. Ketidakakuratan pengukuran tekanan darah berpotensi menyebabkan kesalahan diagnosis dan pengambilan keputusan klinis, yang pada akhirnya dapat membahayakan keselamatan pasien (Organization, 2022).

Untuk menjamin keandalan hasil pengukuran, standar metrologi alat kesehatan mensyaratkan agar tensimeter digital dilakukan kalibrasi secara berkala. Kalibrasi bertujuan memastikan kesesuaian antara nilai tekanan yang ditunjukkan oleh tensimeter dengan nilai tekanan referensi dari alat standar. Proses ini umumnya dilakukan menggunakan alat kalibrator tensimeter digital atau NIBP simulator yang mampu menghasilkan tekanan udara terkontrol, baik statis maupun dinamis, dalam satuan mmHg sesuai rentang pengukuran klinis (Pereira, 2025; Siemasz, 2023).

Perkembangan teknologi sensor tekanan digital dan sistem mikrokontroler membuka peluang untuk merancang alat kalibrator tensimeter digital berbasis sistem tertanam (*embedded system*). Dengan memanfaatkan sensor tekanan presisi, sistem pengolahan data berbasis mikrokontroler, serta tampilan digital, alat kalibrator dapat dirancang untuk menghasilkan tekanan referensi yang stabil, menampilkan nilai tekanan secara *real-time*, dan digunakan sebagai alat pembanding dalam proses kalibrasi tensimeter digital (Mahendra, 2024; Standardization, 2022).

2. KAJIAN TEORITIS

Kalibrasi tensimeter digital dilakukan menggunakan alat pembanding berupa kalibrator tekanan yang mampu menghasilkan tekanan udara secara terkontrol dan terukur. Alat kalibrator tensimeter digital dirancang untuk mensimulasikan tekanan darah dalam rentang tertentu, umumnya antara 0-300 mmHg, sehingga hasil pengukuran tensimeter dapat dibandingkan dengan nilai tekanan referensi dari kalibrator. Proses kalibrasi ini sangat penting untuk menjamin keandalan alat ukur serta keselamatan pasien dalam praktik klinis (WHO, 2022).

Penelitian lain oleh Wibowo R. P., (2025) melakukan analisis akurasi pada desain kalibrator tekanan ganda, yaitu tekanan positif dan tekanan negatif, untuk menginvestigasi respons sensor tekanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan sensor tekanan, kestabilan sistem pneumatik, serta metode pengolahan sinyal digital sangat berpengaruh terhadap performa metrologi alat kalibrator. Studi ini menegaskan pentingnya desain sistem kalibrasi yang stabil dan presisi untuk menjamin hasil pengukuran tekanan yang akurat dan konsisten.

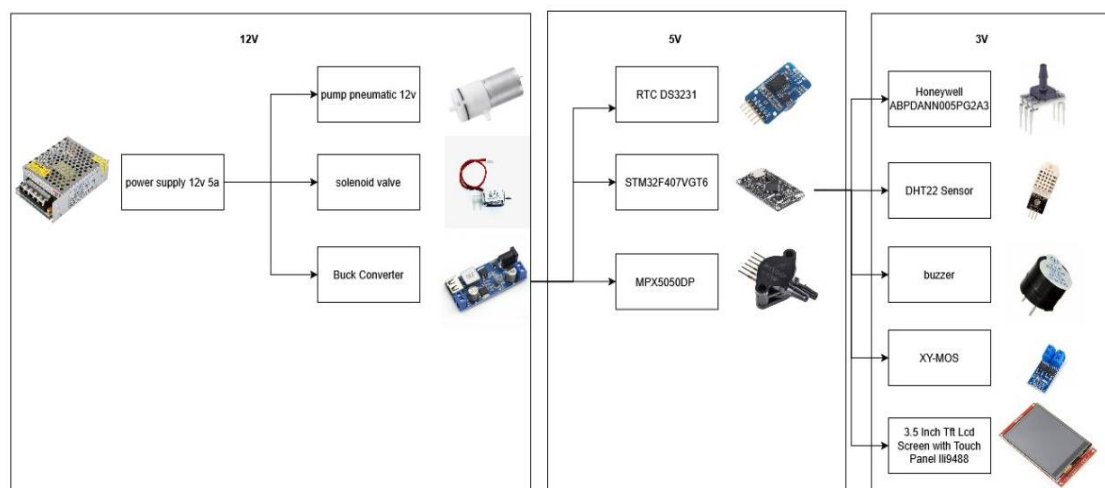
Di tingkat nasional, Mahendra R., (2024) mengembangkan alat kalibrasi tensimeter digital berbasis Arduino Uno dan sensor tekanan MPX5700. Alat ini dirancang untuk menampilkan nilai tekanan referensi secara digital dan digunakan untuk menguji akurasi tensimeter digital pada beberapa titik tekanan tertentu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat kalibrator tersebut mampu memberikan hasil yang konsisten dan memiliki tingkat kesalahan yang masih berada dalam batas toleransi, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif alat kalibrasi di laboratorium pendidikan maupun fasilitas pelayanan kesehatan.

Selain itu, beberapa penelitian pendukung menunjukkan bahwa pengembangan alat kalibrator tensimeter digital terus mengalami peningkatan dari sisi desain, fitur, dan kemudahan penggunaan. Penelitian pada tahun 2022 melaporkan pengembangan *Digital Pressure Meter* yang dilengkapi dengan fitur penyimpanan data dan pencatatan hasil kalibrasi ke media eksternal, sehingga memudahkan proses dokumentasi hasil uji dan pelacakan riwayat kalibrasi alat kesehatan (Rahman, 2022). Penelitian lain juga menegaskan bahwa pengujian dan kalibrasi tensimeter digital secara berkala merupakan bagian penting dalam sistem penjaminan mutu alat kesehatan untuk menjaga akurasi dan keselamatan penggunaan alat di fasilitas pelayanan kesehatan (Standardization, Non-invasive sphygmomanometers – Requirements and test methods, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (R&D) yang bertujuan merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi kinerja alat kalibrator tensimeter Non-Invasive Blood Pressure (NIBP) untuk pasien anak dan dewasa berbasis mikrokontroler STM32F407VGT6. Pengembangan alat dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan alat, integrasi sistem, serta pengujian kinerja untuk memastikan kesesuaian fungsi alat terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan. Tahapan pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran

alat yang dikembangkan terhadap NIBP Simulator sebagai alat acuan sehingga dapat diketahui tingkat akurasi dan kestabilan pengukuran yang dihasilkan.



Gambar 1. Blok Diagram.

Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem diawali dengan penyusunan blok diagram untuk menggambarkan hubungan antar komponen utama penyusun alat. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler STM32F407VGT6 sebagai pengendali utama yang bertugas mengolah data dari sensor tekanan, mengendalikan pompa udara dan katup solenoid, serta menampilkan informasi pengukuran pada layar TFT LCD. Sensor tekanan Honeywell ABPMANN005PG2A3 digunakan sebagai sensor referensi untuk membaca tekanan udara yang dihasilkan oleh sistem pneumatik.

Udara bertekanan dihasilkan oleh pompa DC 12 V dan dialirkan menuju saluran pengukuran. Besarnya tekanan diatur melalui pengendalian solenoid valve dan pressure release valve sehingga tekanan yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan nilai simulasi yang diinginkan. Nilai tekanan hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real-time pada TFT LCD, serta dapat disimpan ke media penyimpanan SD Card untuk keperluan dokumentasi hasil pengujian. Diagram alir sistem disusun untuk menggambarkan urutan proses mulai dari inisialisasi sistem, pembacaan sensor, pengaturan tekanan, hingga penyimpanan data hasil pengujian

Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

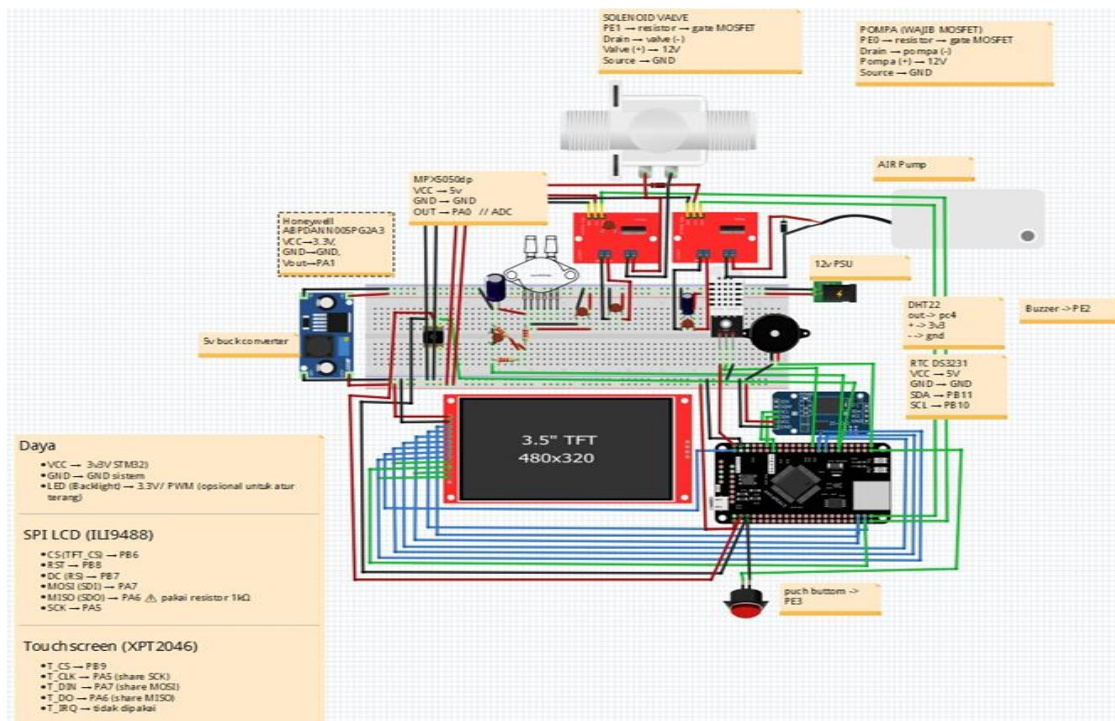
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas mikrokontroler STM32F407VGT6, sensor tekanan Honeywell ABPMANN005PG2A3, pompa udara DC 12 V, solenoid valve, pressure release valve, TFT LCD 3,5 inci sebagai antarmuka pengguna, buzzer sebagai indikator suara, serta SD Card sebagai media penyimpanan data. Seluruh

komponen dirangkai menjadi satu sistem yang mampu menghasilkan simulasi tekanan secara stabil dan terkontrol.

Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan STM32CubeIDE dengan bahasa pemrograman C. Program dirancang untuk mengendalikan seluruh proses kerja alat, meliputi inisialisasi perangkat, pembacaan sensor tekanan, pengendalian pompa dan katup, penampilan data pada TFT LCD, serta penyimpanan hasil pengukuran ke SD Card. Algoritma pengendalian disusun agar mampu mempertahankan tekanan sesuai nilai yang telah ditentukan selama proses kalibrasi berlangsung.

Analisi Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata hasil pengukuran, selisih pengukuran (error), serta persentase kesalahan pada setiap titik pengujian. Nilai yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas toleransi kalibrasi alat ukur tekanan darah yang berlaku untuk menentukan tingkat akurasi dan kelayakan alat kalibrator yang dikembangkan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi terhadap performa sistem selama proses pengujian.



Gambar 2. Wearing Diagram.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan setelah seluruh perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi dengan baik. Tahap pengujian diawali dengan pemeriksaan fungsi setiap komponen, kemudian dilanjutkan dengan pengujian simulasi tekanan pada beberapa titik pengukuran yang mewakili

rentang tekanan sistolik dan diastolik. Pada setiap titik pengujian dilakukan pengambilan data sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai pengukuran yang konsisten.

Hasil pengukuran alat yang dikembangkan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan NIBP Simulator sebagai alat pembanding. Selisih antara kedua hasil pengukuran dihitung untuk mengetahui tingkat akurasi alat. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kestabilan tekanan selama proses simulasi untuk memastikan bahwa sistem mampu mempertahankan tekanan sesuai nilai yang diatur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Alat

Penelitian ini berhasil menghasilkan alat kalibrator tensimeter Non-Invasive Blood Pressure (NIBP) yang dirancang untuk simulasi pengujian tensimeter digital pada mode pasien anak dan dewasa. Sistem terdiri atas mikrokontroler STM32F407VGT6 sebagai pengendali utama, sensor tekanan Honeywell ABPMANN005PG2A3 sebagai sensor referensi, pompa udara DC 12 V, solenoid valve, pressure release valve, TFT LCD sebagai antarmuka pengguna, serta SD Card sebagai media penyimpanan data. Integrasi seluruh komponen menghasilkan sistem yang mampu menghasilkan tekanan udara sesuai nilai yang ditentukan dan menampilkan hasil pengukuran secara real-time.



Gambar 1. Alat kalibrator Tensimeter NIBP.

Alat yang dikembangkan dilengkapi dengan menu pengoperasian berbasis layar sentuh sehingga pengguna dapat memilih mode pengujian, menentukan nilai tekanan simulasi, serta melakukan penyimpanan hasil pengujian secara otomatis. Implementasi antarmuka ini bertujuan meningkatkan kemudahan penggunaan sekaligus meminimalkan kesalahan operator selama proses kalibrasi.

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat dalam menghasilkan tekanan simulasi sesuai nilai yang telah ditentukan. Setiap titik pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan untuk memperoleh data yang representatif. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan NIBP Simulator sebagai alat acuan.

Tabel 1. Data hasil pengujian NIBP simulator penulis terhadap tensimeter.

No	Parameter	Setting Standart (mmHg)	1	2	3	4	5	Rata-rata	Toleransi
1	Systole	60	59	58	59	59	59	58,8	+5 mmHg
	MAP	40							
	Diastole	30	31	31	32	31	32	31,4	
2	Systole	120	120	119	119	119	120	119,4	
	MAP	93							
	Diastole	80	81	83	83	81	83	82,2	
3	Systole	150	151	151	150	148	150	150	
	MAP	117							
	Diastole	100	102	101	103	101	102	101,8	

Tabel 2. Data uji banding NIBP simulator pabrikan dengan penulis.

No	Setting Standart pada alat kalibrator (mmHg)	Nilai rata-rata pengukuran tensimeter digital (mmHg)		Selisih	Toleransi
		Kalibrator Penulis	Kalibrator Perusahaan		
1	Systole	60	58	59	1
	MAP	40			
	Diastole	30	32	31	
2	Systole	120	119	117	2
	MAP	93			
	Diastole	80	81	77	
3	Systole	150	151	149	2
	MAP	117			
	Diastole	100	101	106	

Berdasarkan hasil pengujian, alat mampu menghasilkan tekanan yang stabil pada setiap titik pengukuran. Nilai tekanan yang ditampilkan memiliki selisih yang relatif kecil dibandingkan dengan alat pembanding sehingga menunjukkan bahwa sistem pneumatik dan sensor tekanan mampu bekerja secara optimal.

Analisis Akurasi Pengukuran

Analisis dilakukan dengan menghitung selisih antara hasil pengukuran alat yang dikembangkan dengan nilai referensi dari NIBP Simulator. Selisih tersebut digunakan sebagai indikator tingkat akurasi sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata selisih pengukuran pada seluruh titik pengujian masih berada dalam batas toleransi yang diperkenankan untuk proses kalibrasi

tensimeter. Hal ini menunjukkan bahwa sensor Honeywell ABPMANN005PG2A3 mampu memberikan pembacaan tekanan yang stabil dan memiliki tingkat presisi yang baik. Selain itu, algoritma pengendalian tekanan yang diterapkan pada mikrokontroler STM32F407VGT6 mampu mengendalikan pompa dan katup secara responsif sehingga fluktuasi tekanan dapat diminimalkan.

Nilai kesalahan pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang baik dan layak digunakan sebagai alat bantu kalibrasi tensimeter digital.

Titik Setting 1 (60/30 mmHg)

Pada parameter sistolik, kalibrator penulis mencatat 58 mmHg sedangkan kalibrator perusahaan mencatat 59 mmHg, dengan selisih 1 mmHg. Pada parameter diastolik, kalibrator penulis mencatat 32 mmHg dan kalibrator perusahaan 31 mmHg, dengan selisih 1 mmHg. Kedua selisih ini tergolong sangat kecil dan menunjukkan kesesuaian yang baik antara kedua kalibrator pada rentang tekanan rendah.

Titik Setting 2 (120/80 mmHg)

Pada parameter sistolik, selisih antara kedua kalibrator meningkat menjadi 2 mmHg (119 mmHg vs 117 mmHg). Pada parameter diastolik, selisih meningkat lebih jauh menjadi 4 mmHg (81 mmHg vs 77 mmHg), hampir mendekati batas toleransi ± 5 mmHg meskipun secara teknis masih dinyatakan memenuhi. Peningkatan selisih pada titik ini mengindikasikan mulai munculnya perbedaan sensitivitas pembacaan antar kedua kalibrator seiring meningkatnya tekanan yang diuji.

Titik Setting 3 (150/100 mmHg)

Pada parameter sistolik, selisih tercatat 2 mmHg (151 mmHg vs 149 mmHg), konsisten dengan pola peningkatan selisih yang terlihat sejak titik 1. Pada parameter diastolik, kalibrator penulis mencatat 101 mmHg sedangkan kalibrator perusahaan mencatat 106 mmHg, menghasilkan selisih sebesar 5 mmHg. Nilai ini berada tepat pada batas toleransi (± 5 mmHg), sehingga masih dinyatakan memenuhi, namun perlu dicermati karena berada di ambang batas atas.

Selisih 5 mmHg ini konsisten dengan pola yang teramati sejak titik setting 1, di mana selisih antar kalibrator cenderung meningkat seiring naiknya tekanan yang diuji:

1. Titik 1 (30 mmHg): selisih 1 mmHg
2. Titik 2 (80 mmHg): selisih 4 mmHg
3. Titik 3 (100 mmHg): selisih 5 mmHg

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler STM32F407VGT6 dengan sensor tekanan Honeywell ABPMANN005PG2A3 mampu menghasilkan sistem kalibrator NIBP yang bekerja secara stabil selama proses pengujian. Sensor tekanan memberikan respons yang cepat terhadap perubahan tekanan sehingga nilai yang ditampilkan pada TFT LCD memiliki keterlambatan yang sangat kecil.

Keberhasilan sistem dalam mempertahankan tekanan selama proses simulasi dipengaruhi oleh mekanisme pengendalian pompa udara dan solenoid valve yang dikendalikan secara otomatis oleh mikrokontroler. Ketika tekanan belum mencapai nilai target, pompa akan bekerja untuk meningkatkan tekanan. Sebaliknya, apabila tekanan melebihi nilai yang ditentukan, pressure release valve akan membuka sehingga tekanan kembali berada pada rentang yang diinginkan. Mekanisme pengendalian ini menghasilkan kestabilan tekanan yang diperlukan dalam proses kalibrasi alat kesehatan.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan mikrokontroler Arduino atau sistem pengendalian sederhana, penggunaan STM32F407VGT6 pada penelitian ini memberikan keunggulan dalam kecepatan pemrosesan data, kapasitas memori, dan kemampuan pengendalian sistem secara real-time. Selain itu, penggunaan TFT LCD berbasis layar sentuh memberikan kemudahan dalam pengoperasian alat dibandingkan antarmuka berbasis tombol konvensional.

Keunggulan lain dari alat yang dikembangkan adalah adanya fasilitas penyimpanan data menggunakan SD Card sehingga seluruh hasil pengujian dapat didokumentasikan secara otomatis. Fitur ini mendukung proses pencatatan hasil kalibrasi dan mempermudah pelacakan data pengujian. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian hanya dilakukan pada rentang tekanan tertentu sesuai kebutuhan kalibrasi tensimeter NIBP anak dan dewasa. Selain itu, pengujian masih menggunakan satu jenis alat pembanding sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi simulator dan rentang tekanan yang lebih luas untuk memperoleh validasi yang lebih komprehensif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa alat kalibrator yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan sistem yang mampu mensimulasikan tekanan darah secara stabil, akurat, dan mudah dioperasikan. Dengan karakteristik tersebut, alat berpotensi digunakan sebagai media pendukung proses kalibrasi tensimeter digital di laboratorium elektromedik maupun institusi pelayanan kesehatan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan alat kalibrator tensimeter Non-Invasive Blood Pressure (NIBP) untuk pasien anak dan dewasa berbasis mikrokontroler STM32F407VGT6. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan sensor tekanan Honeywell ABPMANN005PG2A3, pompa udara, solenoid valve, pressure release valve, serta antarmuka TFT LCD menjadi satu kesatuan sistem yang dapat menghasilkan simulasi tekanan secara stabil dan mudah dioperasikan.

Berdasarkan hasil pengujian, alat mampu menghasilkan nilai tekanan yang mendekati nilai referensi pada NIBP Simulator dengan selisih pengukuran yang masih berada dalam batas toleransi yang diperkenankan untuk proses kalibrasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang baik sehingga layak digunakan sebagai media kalibrasi tensimeter digital pada mode pasien anak maupun dewasa.

Selain memiliki performa pengukuran yang baik, alat juga dilengkapi dengan fitur antarmuka layar sentuh dan penyimpanan data menggunakan SD Card yang mendukung kemudahan pengoperasian serta dokumentasi hasil pengujian. Dengan demikian, alat yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif kalibrator NIBP yang lebih praktis, ekonomis, dan dapat diterapkan sebagai media pendukung pembelajaran maupun proses kalibrasi di laboratorium elektromedik.

DAFTAR REFERENSI

- (AAMI), A. f. (2022). ANSI/AAMI/ISO 81060-2:2019/(R)2022 Non-invasive Sphygmomanometers. Arlington: AAMI.
- Indonesia, K. K. (2023). Pedoman Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. Jakarta: Kemenkes RI.
- Mahendra, A. R. (2024). Digital Pressure sebagai Alat Kalibrasi Tensimeter Digital, Tesis, Program Studi Teknik Elektromedik. Universitas Widya Husada Semarang.
- Mahendra, R. (2024). "Rancang Bangun Alat Kalibrasi Tensimeter Digital Berbasis Arduino Uno,". Jurnal Elektromedik Indonesia, vol. 6, no. 2, pp. 67–74.
- Organization, W. H. (2022). Medical Device Technical Series: Blood Pressure Measuring Devices. WHO Press. Geneva: World Health Organization.
- Pereira, J. M. (2025). "A Flexible, Low-Cost and Algorithm-Independent Calibrator for Automated Blood Pressure Measuring Devices,". Applied Sciences, vol. 15, no. 6, pp. 1–16.
- Pereira, L. S. (2025). "Low-Cost and Flexible Pressure Calibrator for Non-Invasive Blood Pressure Devices,". Biomedical Engineering Online, vol. 24, no. 3, pp. 1–15.
- Rahman, F. N. (2022). "Development of Digital Pressure Meter with Data Logging Feature for Medical Device Calibration,". Journal of Instrumentation and Measurement, vol. 9, no.

1, pp. 33–40.

Siemasz, A. K. (2023). “Automatic Calibration of a Device for Blood Pressure Waveform Measurement,”. *Sensors*, vol. 23, no. 18, pp. 1–14.

Siemasz, A. K. (2023). “Automatic Calibration System for Non-Invasive Blood Pressure Measurement Devices,”. *Measurement*, vol. 210, pp. 112–120.

Standardization, I. O. (2022). *ISO 81060-2: Non-Invasive Sphygmomanometers – Clinical Investigation of Automated Measurement Type*. Geneva: International Organization for Standardization.

Standardization, I. O. (2023). *Non-invasive sphygmomanometers – Requirements and test methods*. ISO 81060-1, ISO 81060-1.

Utomo, A. H. (2025). “Design of Low-Cost Digital Pressure Meter for Digital Sphygmomanometer Calibration,”. *Journal of Medical Instrumentation Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 45–52.

Utomo, H. d. (2022). “Digital Pressure Meter Design to Calibrate a Sphygmomanometer Unit Equipped with Data Calibration Recording to External Memory,”. *Jurnal Teknokes*, vol. 14, no. 2, pp. 85–92.

Utomo, H. H. ((2025).). Design a low-cost digital pressure meter equipped with temperature and humidity parameters. *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 7(1), 1–8.

WHO. (2022). *Medical Equipment Maintenance Programme Overview*. WHO Press. Geneva: WHO.

Wibowo, A. P. (2025). Accuracy analysis on dual pressure (positive and negative) calibrator design to investigate the sensor response. *journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, 7(1), 9–17.

Wibowo, R. P. (2025). “Accuracy Analysis of Dual-Pressure Calibrator for Blood Pressure Measurement Devices,”. *International Journal of Biomedical Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 101–109.