

SISTEM MONITORING TEKANAN DARAH BERBASIS MAXIMUM AMPLITUDE ALGORITHM MENGGUNAKAN ANDROID

Brylliano Maza Putra¹, Barlian Henryranu Prasetyo^{*2}, Dahnil Syaury³

^{1,2,3}Universitas Brawijaya, Malang

Email: ¹bryllianozeno@student.ub.ac.id, ²barlian@ub.ac.id, ³dahnil87@ub.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 31 Oktober 2023, diterima untuk diterbitkan: 30 Oktober 2024)

Abstrak

Tekanan darah merupakan tekanan yang ditimbulkan pada pembuluh nadi atau arteri ketika darah dipompa dari jantung ke seluruh tubuh. Nilai dari tekanan darah dapat digunakan untuk dijadikan sebagai acuan dalam menentukan kondisi kesehatan tubuh. Untuk melakukan pengecekan terhadap nilai tekanan darah dapat dilakukan dengan menggunakan metode *invasive* dan *non-invasive*. Pengecekan tekanan darah perlu dilakukan secara langsung oleh tenaga medis dan pasien. Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat pengecekan ini dapat dilakukan oleh tenaga medis tanpa perlu bertemu langsung dengan pasien. Untuk melakukan monitoring ini dapat memanfaatkan *smartphone* untuk menampilkan informasi monitoring terhadap tekanan darah dari orang lain tanpa perlu melakukan pengecekan langsung menggunakan alat terhadap orang lain. Pada penelitian ini digunakan metode *non-invasive* dengan memanfaatkan pembacaan sinyal osilometrik dari perubahan tekanan pada cuff yang terbaca oleh sensor tekanan MPX5500DP untuk melakukan pembacaan tekanan darah yang kemudian ditampilkan pada perangkat android. Dengan menggunakan pendekatan menggunakan sinyal osilometrik ini akan diproses pada mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk mencari nilai *Mean Arterial Pressure*, *systole* dan *diastole* menggunakan metode *Maximum Amplitude Algorithm* (MAA). Pada alat yang dikembangkan nilai hasil pemrosesan menggunakan metode MAA akan dikirimkan menggunakan modul bluetooth HC-05 untuk ditampilkan pada perangkat android. Pada pengujian sistem, didapatkan tingkat akurasi pembacaan nilai *systole* sebesar 78.23% dan tingkat akurasi pembacaan *diastole* sebesar 88.39% yang dibandingkan dengan pembacaan menggunakan tensimeter manual.

Kata kunci: Tekanan darah, *oscillometric*, *systolic*, *diastolic*, MAA, Android

BLOOD PRESSURE MONITORING SYSTEM BASED ON MAXIMUM AMPLITUDE ALGORITHM USING ANDROID

Abstract

Blood pressure is the pressure that exerted on the veins or arteries when blood is pumped from the heart to the rest of the body. The value of blood pressure can be used as a reference in determining the health condition of the body. To check the blood pressure values can be done using invasive and non-invasive methods. Checking blood pressure needs to be done directly by medical personnel and patients. With the rapid development of technology, this medical check can be done by medical personnel without the need to meet directly with patients. To do this medical monitoring, a smartphone can be used to display monitoring information on blood pressure from others without the need to check directly using the tool against others. In this study writer used a non-invasive method by utilizing oscillometric value readings of pressure changes in the cuff are read by the MPX5500DP pressure sensor to perform blood pressure readings are then displayed on the android device. By using this oscillometric value approach will be processed on the Arduino UNO R3 microcontroller to find the value of Mean Arterial Pressure, systole and diastole using the Maximum Amplitude Algorithm(MAA). In the developed tool, the result value of the processing using the MAA method will be sent using the bluetooth module HC-05 to be displayed on the android device. In testing the system, obtained the reading accuracy rate of systole value of 78.23% and diastole reading accuracy rate of 88.39% compared with readings using a manual tensimeter.

Keywords: *blood pressure*, *oscillometric*, *systolic*, *diastolic*, MAA, Android

1. PENDAHULUAN

Tekanan darah merupakan salah satu nilai penentu dari kondisi tubuh manusia yang ada pada dunia kesehatan. Tekanan darah digunakan sebagai penentu ketika terjadinya gejala-gejala yang berkaitan dengan kondisi kesehatan manusia (Pebrisiana, 2022). Nilai tekanan darah dari tiap orang berbeda-beda dan nilai tekanan darah sendiri dapat berubah dari waktu ke waktu. Karena hal ini maka diperlukannya monitoring terhadap perubahan tekanan darah terutama untuk orang-orang yang sudah memiliki gejala-gejala penyakit yang berkaitan dengan tekanan darah seperti hipertensi atau tekanan darah tinggi (Ruslang, 2022).

Hipertensi terkadang memiliki gejala yang tidak bisa dirasakan. Hipertensi dapat menyebabkan berbagai komplikasi seperti stroke, penyakit jantung dan lainnya (Ramdani, 2017). Perkembangan teknologi memacu perkembangan pada bidang lain pula, seperti pada bidang medis dimana monitoring terhadap kesehatan dapat dilakukan dengan bantuan android atau teknologi digital lain. Dalam hal ini, monitoring terhadap tekanan darah diaplikasikan untuk melakukan monitoring kepada pasien tanpa harus berhadapan langsung dengan pasien.

Tekanan darah dapat diukur secara *invasive* (langsung) dan *non-invasive* (tidak langsung) (Gibson, 2020). Pada metode *invasive* digunakan untuk melakukan pengukuran tekanan darah alat akan dimasukkan kedalam tubuh pasien. Sedangkan metode *non-invasive* dilakukan tanpa memasukkan alat secara langsung kedalam tubuh untuk membaca tekanan darah. Pada metode *non-invasive* terdapat berbagai macam metode pendekatan diantaranya *Palpitation*, *auscultatory*, dan pada pengukuran dengan menggunakan metode *oscillometry*, tekanan darah akan dibaca dan diproses untuk mendapatkan bentuk sinyal osilometrik yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai *Mean Arterial Pressure*, *systole* dan *diastole* (M. Forouzanfar, 2015). Tekanan darah dapat diukur dengan menggunakan metode *oscillometry* dengan metode pengolahan sinyal tertentu seperti *Maximum Amplitude Algorithm* dan *derivative oscillometry* (Chandrasekhar, 2019).

Gelombang osilometrik merupakan gelombang yang terbentuk dari osilasi aliran darah. Gelombang osilometrik sendiri digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai dari *systolic* dan *diastolic* untuk pengukuran tekanan darah secara noninvasif. Teknologi dan prinsip dari gelombang osilometrik masih digunakan hingga kini namun dengan pemrosesan yang lebih cepat dikarenakan perkembangan mikrokontroler dan mikroprosesor yang semakin canggih, begitu juga dengan kehadiran resolusi *Analog to Digital Converter* yang makin tinggi, diimbangi dengan pemrosesan sinyal digital yang semakin diperbaharui untuk mengidentifikasi dan menganalisa gelombang osilometrik (Alpert, Quinn dan Gallick, 2014).

Salah satu metode pengolahan gelombang osilometrik adalah *Maximum Amplitude Algorithm* (MAA). Pada algoritma ini akan dilakukan perkiraan terhadap nilai dari *Mean Arterial Pressure* (MAP). Lalu akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan nilai dari rasio *systole* dan *diastole* dari alat. Nilai dari rasio ini tidak tetap dan tergantung dari alat yang digunakan. Adapun rasio ini dapat bernilai mulai dari 0.45 hingga 0.73 untuk nilai *systolic* dan 0.69 hingga 0.83 untuk nilai *diastolic* (Mafi, 2011).

Pengembangan teknologi monitoring tekanan darah yang dikembangkan pada penelitian ini akan menyatukan fungsi anatara monitoring dengan perangkat android dimana monitoring terhadap nilai tekanan darah dari pasien tidak perlu dilakukan secara langsung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pada 2022, Isnandar melakukan penelitian dengan judul “Sistem Monitoring Gelombang *Oscillometric* Menggunakan Arduino dan *Smartphone*”. Penelitian ini menerapkan Metode *oscillometric* untuk melakukan pemrosesan terhadap hasil pembacaan tekanan darah. Pada sistem yang dirancang digunakan Arduino UNO R3 untuk melakukan pengolahan data hasil pembacaan dari sensor MPX5500DP yang disatukan dengan manset, serta menampilkan hasil pembacaan dalam bentuk grafik gelombang osilometri pada layer lcd dan android melalui modul bluetooth. Pada penelitian ini rancangan dari alat yang dibuat menggunakan sensor MPX5500DP dengan manset, pompa udara dan solenoid yang didasari dari rancangan tensimeter digital yang digunakan pada umum (Isnandar, 2022).

Pada 2016 Aditya mengusulkan “Rancang Bangun Alat Pengukur Tekanan Darah Otomatis Pada Pergelangan Tangan Menggunakan Metode *Oscillometry* Berbasis Arduino Mega”. Penelitian ini menerapkan metode *oscillometric* dengan *Maximum Amplitude Algorithm* (MAA) untuk melakukan pengukuran terhadap tekanan darah secara non-invasif. Pada sistem yang dirancang, digunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang terhubung dengan sensor tekanan *piezoresistive*. Pada sistem yang dirancang pengukuran dilakukan dalam rentang 55 hingga 200 mmHg dengan rentang *heart rate* 0 hingga 300 bpm (*beat per minute*). Pada pengujian sistem ini didapatkan error rata-rata untuk pengukuran sebesar 3.1% untuk *systole*, 6.6% untuk *diastole* % dan 6.5% untuk *heart rate*. Pengujian error ini dilakukan dengan pembandingan alat ukur tekanan darah family Dr TD-3124 (Aditya, 2016).

Pada 2017, Tanjung melakukan penelitian berjudul “Tensimeter Digital Berbasis Arduino Dengan Transfer Data Berbasis Android Melalui Bluetooth”. Penelitian ini menerapkan metode korotkoff sound untuk mengolah hasil pembacaan. Pada sistem yang dirancang, digunakan sensor

MPX5050dp untuk melakukan pembacaan tekanan darah. Lalu, data hasil pembacaan akan diproses oleh mikrokontroler Arduino uno untuk menentukan nilai *systole* dan *diastole*, hasil dari pemrosesan ini akan ditampilkan pada layar lcd pada alat dan pada layar aplikasi android melalui komunikasi Bluetooth HC-05. Dari penelitian ini didapatkan persentase error pada *systole* sebesar 2.06% dan *diastole* sebesar 9.3% (Tanjung, 2017).

2.2 Gelombang Oscillometric

Gelombang *oscillometric* atau osilometrik merupakan gelombang yang terbentuk dari osilasi aliran darah. Gelombang *oscillometric* sendiri digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai dari *systolic* dan *diastolic* untuk pengukuran tekanan darah secara *non-invasive*. Tidak seperti pengukuran secara manual, pengukuran tekanan darah menggunakan metode osilometrik tidak memerlukan pelatihan dan sertifikasi khusus untuk mengetahui nilai *systolic* dan *diastolic* dari tekanan darah.

2.3 Maximum Amplitude Algorithm (MAA)

Maximum Amplitude Algorithm (MAA) merupakan algoritma yang sering digunakan untuk mengolah sinyal *oscillometric*. Pada algoritma ini akan dilakukan perkiraan terhadap nilai dari *Mean Arterial Pressure* (MAP). Lalu akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan nilai dari rasio *systole* dan *diastole* dari alat. Nilai dari rasio ini tidak tetap dan tergantung dari alat yang digunakan. Adapun rasio ini dapat bernilai mulai dari 0.45 hingga 0.73 untuk nilai *systolic* dan 0.69 hingga 0.83 untuk nilai *diastolic* (Mafi, 2011).

3. METODE PENELITIAN

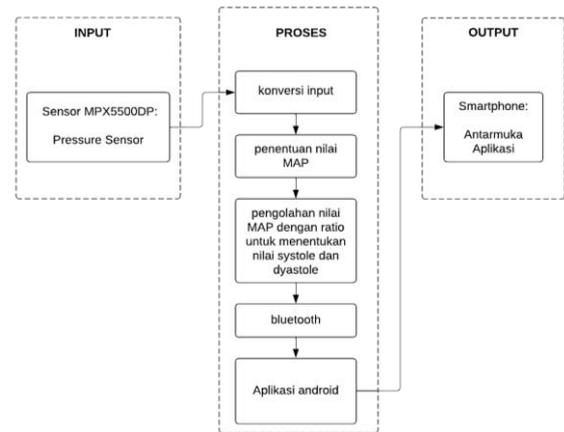
3.1 Gambaran Umum Sistem

Gambaran dasar dari sistem yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 1. Input sistem didapatkan dari perubahan nilai tekanan yang terbaca oleh sensor yang kemudian diproses untuk melakukan konversi input, penentuan nilai MAP dan pengolahan nilai MAP kedalam *systole* dan *diastole* pada mikrokontroler. Lalu, data akan dikirimkan menggunakan komunikasi bluetooth yang akan ditampilkan pada antarmuka aplikasi android.

3.2 Perancangan Program dan metode MAA

Program yang dirancang dibentuk dalam 3 tahap yaitu tahapan konversi, pemrosesan dan pengiriman data. Pada tahapan konversi akan dilakukan perubahan terhadap data *raw* hasil pembacaan sensor kedalam bentuk kPa yang kemudian dikonversi kedalam satuan mmHg.

$$V_{out} = V_s * (0.0018P_{kPa} + 0.04) \quad (1)$$



Gambar 1. blok diagram sistem

Berdasarkan rumus pada persamaan 1 V_{out} merupakan nilai *raw* dari data yang diambil, dan V_s merupakan nilai voltase yang digunakan oleh sensor dengan nilai 5V dan P nilai tekanan dalam kPa. Dimana didapatkan nilai dari P sesuai dengan persamaan 2.

$$P_{kPa} = \frac{(V_{out}-0.2)}{0.009} \quad (2)$$

Setelah didapatkan nilai tekanan dalam kPa selanjutnya akan dilakukan konversi kedalam satuan mmHg.

$$P_{mmHg} = P_{kPa} * 7.50062 \quad (3)$$

Tekanan akhir yang telah dikonversi kedalam satuan mmHg akan digunakan sebagai data masukan yang akan diproses menggunakan metode MAA. Metode MAA digunakan untuk mengolah sinyal osilometrik. Metode MAA menggunakan nilai MAP sebagai dasar terhadap perubahan nilai dari *systole* dan *diastole*. Nilai tekanan yang diterima akan difilter menggunakan *highpass filter* untuk menentukan nilai MAP dari sinyal.

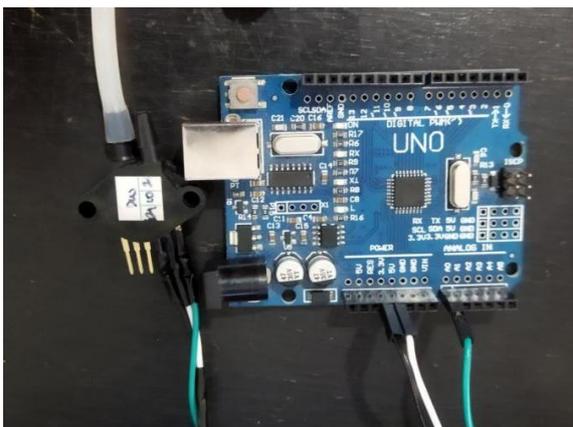
Untuk menentukan nilai *systole* dan *diastole* dilakukan dengan perhitungan terhadap rasio tertentu. Pada metode MAA nilai rasio dapat bernilai mulai dari 0.45 hingga 0.73 untuk nilai *systole* dan 0.69 hingga 0.83 untuk nilai *diastolic*. Rasio ini digunakan untuk menentukan nilai *systole* dan *diastole* yang akan diambil. Berdasarkan nilai MAP yang didapatkan, rasio *systole* dan *diastole* akan digunakan untuk memilih nilai dari hasil pemfilteran untuk menemukan titik *systole* dan *diastole*.

Nilai hasil pemrosesan yang berupa nilai MAP, nilai *highpass*, nilai *systole* dan nilai *diastole* akan dikirimkan menuju perangkat android menggunakan modul bluetooth.

3.3 Perancangan dan Implementasi Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras meliputi perancangan terhadap aktuator, sensor,

mikrokontroler, dan modul komunikasi. Pada skematik alat, digunakan aktuator berupa mini air pump dan *solenoid valve* yang terhubung dengan selang, selang ini juga terhubung dengan dengan *cuff* dan sensor tekanan, untuk sensor pada alat digunakan sensor tekanan MPX5500. Hasil pembacaan pada sensor ini akan diproses menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk menentukan nilai MAP, *systole* dan *diastole* dari hasil pembacaan tekanan. Kemudian data yang telah diproses dikirimkan menggunakan modul komunikasi bluetooth HC-05 menuju android.



Gambar 2. implementasi sensor

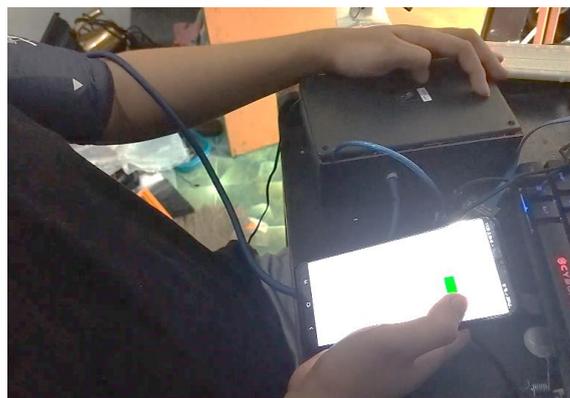
Pada Gambar 2 ditunjukkan implementasi dari sensor tekanan MPX5500DP dan mikrokontroler Arduino UNO R3. *Pressure* Sensor atau sensor tekanan MPX5500DP merupakan sensor *piezoresistif*. Dimana sensor akan aktif ketika sensor diberi tekanan. Sensor Tekanan MPX5500DP memiliki rentang pengukuran antara 0 kPa sampai 500 kPa atau 0 mmHg sampai 375 mmHg. Dengan rentang pengukuran ini sensor dianggap mampu untuk melakukan pengukuran terhadap tekanan darah manusia.

Sensor juga terhubung dengan selang yang terhubung dengan *cuff*. Pompa dan *solenoid valve* terhubung dengan mikrokontroler dengan bantuan relay. pompa dan solenoid terhubung dengan satu selang yang langsung menghubungkan dengan *cuff* dan sensor. Tekanan pada manset hanya harus dapat mencapai tekanan minimum 200mmHg. Pompa yang dibutuhkan harus berukuran kecil dan tidak lebih besar dari 7cm baik dari segi lebar, tinggi atau panjang pompa. Daya yang digunakan juga tidak perlu menghabiskan daya yang cukup besar dengan rentang antara 4- 12V. Karena pompa yang digunakan tidak mengharuskan adanya spesifikasi khusus selain dari ukuran pompa yang tidak begitu besar dan dan daya yang kecil, maka *Micro Air Pump* dapat digunakan sebagai pompa bagi alat.

Mini solenoid valve digunakan untuk memperlambat penurunan tekanan. Ketika solenoid ini aktif katup yang terdapat pada solenoid akan ditutup sehingga udara yang dipompa masuk hanya dapat keluar secara perlahan. Solenoid ini bekerja

pada tegangan diantara 4.6-7.2V. Ketika solenoid aktif udara yang keluar kurang dari 15mmHg/menit.

Data yang perlu dikirimkan dari alat menuju perangkat berupa data nilai pembacaan tekanan saat ini, MAP, *systole* dan *diastole*. Modul Bluetooth HC – 05 merupakan perangkat berbasis protocol komunikasi *wireless Bluetooth SPP (Serial Port Protocol)*. Modul ini bekerja pada frekuensi 2.4 GHz untuk melakukan komunikasi antar perangkat. Modul ini diintegrasikan dengan board Arduino Uno sebagai modul komunikasi. Pada Gambar 3 menunjukkan gambaran pemakaian alat yang sudah diimplementasikan secara keseluruhan.



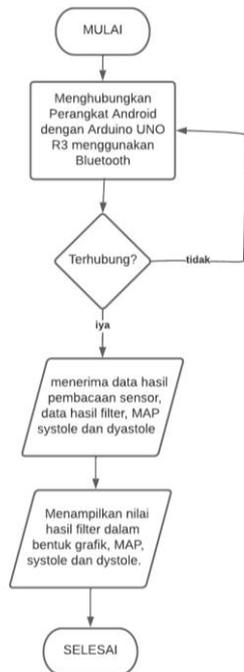
Gambar 3. implementasi penggunaan alat

3.4. Perancangan Aplikasi Android

Aplikasi dibuat menggunakan platform MIT AppInventor2. Aplikasi ini digunakan sebagai tampilan utama untuk memberikan informasi terkait hasil monitoring yang ditampilkan kepada user. Berdasarkan dari diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 4 Aplikasi akan menghubungkan perangkat android dengan mikrokontroler Arduino UNO R3 melalui *Bluetooth* dan menampilkan hasil pembacaan dan pemrosesan dari tekanan darah yang dilakukan oleh sistem.

Pada Gambar 5 menampilkan implementasi dari tampilan antarmuka aplikasi android yang dikembangkan. Pada aplikasi ini diberikan informasi berupa nilai MAP, *highpass*, *systole*, *diastole* dan grafik pembacaan tekanan darah yang dikirimkan dari alat yang dikembangkan. Untuk melakukan koneksi dengan modul bluetooth pada MIT AppInventor akan digunakan komponen Bluetooth Client dan fungsi *clock*. Komponen bluetooth client digunakan untuk aplikasi agar dapat menerima data yang terkirim dari perangkat lain.

Data yang sudah diterima akan diproses untuk ditampilkan pada antarmuka aplikasi android. Pada antarmuka aplikasi android digunakan komponen label, kanvas dan *clock*. Data yang berupa nilai seperti nilai MAP, *bandpass*, *systole* dan *diastole* ditampilkan menggunakan label. Grafik ditampilkan berdasarkan perubahan nilai dari nilai *highpass*. Perubahan nilai pada grafik diatur sesuai dengan perubahan *clock*.



Gambar 4. diagram alir aplikasi



Gambar 5. implementasi aplikasi

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1 Pengujian sensor

Berdasarkan pengujian sensor yang dilakukan dengan cara melihat perubahan nilai pembacaan sensor ketika tekanan pada *cuff* dirubah menggunakan aktuator tekanan didapatkan hasil pembacaan yang ditampilkan pada Tabel 1. tekanan pada *cuff* akan naik ketika pompa aktif dan turun ketika pompa dimatikan. Dari hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel, didapatkan bahwa sensor dapat bekerja mengikuti perubahan tekanan yang terjadi pada *cuff*.

Tabel 1. Pengujian bacaan tekanan pada sensor

No	Pompa	Pembacaan Tekanan (mmHg)
1	Hidup	49
2	Hidup	65
3	Hidup	89
4	Hidup	114
5	Hidup	142
6	Hidup	175
7	Hidup	191
8	Mati	208
9	Mati	195
10	Mati	183
11	Mati	175
12	Mati	167
13	Mati	159
14	Mati	155
15	Mati	151

4.2 Pengujian Jarak optimal konektivitas Bluetooth

Pengujian modul bluetooth dilakukan untuk melihat kerja dari modul pada jarak tertentu. Jarak ini digunakan sebagai batasan penggunaan antara perangkat android dengan alat.

Tabel 2. Rancangan Analisis Komputasi

No	Jarak(m)	Hasil Pengiriman data
1	1	Berhasil
2	2	Berhasil
3	4	Berhasil
4	6	Berhasil
5	7	Berhasil
6	8	Berhasil
7	9	Berhasil
8	10	Tidak Berhasil
9	11	Tidak Berhasil
10	12	Tidak Berhasil

Berdasarkan pada Tabel 2 didapatkan bahwa modul dapat bekerja dengan baik dalam jarak 1 hingga 9-meter dan sudah tidak dapat melakukan pengiriman data lagi ketika alat sudah melewati jarak 10 meter.

4.3 Pengujian Akurasi Pembacaan Systole

Pengujian pembacaan *systole* dilakukan dengan melakukan pengujian alat terhadap 6 orang subjek yang dibandingkan dengan pembacaan menggunakan tensimeter manual dan dilakukan pengujian berulang pada tiap subjek sebanyak 5 kali. Hasil pembacaan ini akan diolah untuk mendapatkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang akan digunakan sebagai dasar untuk mencari akurasi dari pembacaan alat dari tiap subjek. Untuk mendapatkan nilai akurasi ini dapat dilihat pada persamaan 4 dan 5.

$$MAPE = \frac{\sum \left(\frac{|\text{pembacaan alat pengembangan} - \text{pembacaan alat pembanding}|}{\text{pembacaan alat pembanding}} \right)}{\text{jumlah data}} \quad (4)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - MAPE \quad (5)$$

Tabel 3(a). Pengujian systole pada subjek 1

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	159,77	129	23,85
2	165,09	124	33,13
3	181,02	130	39,24
4	181,02	128	41,42
5	175,71	134	31,12
MAPE:			33,75
Akurasi:			66,25

Tabel 3(b). Pengujian systole pada subjek 2

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	143,84	104	38,30
2	170,4	104	63,84
3	143,84	109	31,96
4	122,59	100	22,59
5	133,22	106	25,67
MAPE:			36,47
Akurasi:			63,53

Tabel 3(c). Pengujian systole pada subjek 3

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error(%)
1	127,9	130	1,61
2	133,22	132	0,92
3	138,53	128	8,22
4	122,59	124	1,13
5	165,09	130	26,99
MAPE:			7,77
Akurasi:			92,23

Tabel 3(d). Pengujian systole pada subjek 4

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error(%)
1	122,59	112	9,45
2	143,84	118	21,89
3	149,15	116	28,57
4	143,84	116	24
5	122,59	114	7,53
MAPE:			18,29
Akurasi:			81,71

Tabel 3(e). Pengujian systole pada subjek 5

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	175,71	128	37,27
2	170,4	122	39,67
3	165,69	130	27,45
4	122,59	122	0,48
5	181,02	130	39,24
MAPE:			28,82
Akurasi:			71,18

Tabel 3(f). Pengujian systole pada subjek 6

<i>systole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	122,59	128	4,22
2	138,53	130	6,56
3	122,59	128	4,22

4	138,53	124	11,72
5	133,22	132	0,92
MAPE:			5,53
Akurasi:			94,47

Tabel 3(g). Pengujian akurasi systole

Subjek	Akurasi
1	66,25
2	63,53
3	92,23
4	81,71
5	71,18
6	94,47
Akurasi Total	78,23

4.4 Pengujian Akurasi Pembacaan Diastole

Pada pengujian pengukuran *diastole* dilakukan dengan metode yang sama dengan pengujian pada *systole*. Akurasi pada pengujian ini dihitung dengan menggunakan metode yang sama dengan persamaan 4 dan 5. Berdasarkan hasil pengukuran akurasi dari alat yang ditunjukkan pada Tabel 4(g), akurasi pengukuran *diastole* alat yang dikembangkan sebesar 88.39%. Pengukuran pada subjek 2 mendapatkan tingkat akurasi yang paling rendah.

Pada pengukuran yang dilakukan menggunakan alat pembanding, hasil akurasi pengukuran *diastole* yang didapatkan pada subjek 2 yang ditampilkan pada Tabel 4(b) lebih rendah dibanding dengan pengukuran pada subjek yang lain. Berdasarkan hasil pengujian ini, alat masih belum bisa mendapatkan hasil yang akurat untuk subjek yang memiliki nilai *diastole* yang kecil.

Tabel 4(a). Pengujian diastole pada subjek 1

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	97,53	98	0,47
2	100,77	98	2,82
3	110,5	96	15,10
4	110,5	100	10,5
5	107,26	98	9,44
MAPE:			7,67
Akurasi:			92,33

Tabel 4(b). Pengujian diastole pada subjek 2

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	87,8	78	12,56
2	104,02	74	40,56
3	87,8	70	25,42
4	74,83	74	1,12
5	81,32	68	19,58
MAPE:			19,85
Akurasi:			80,15

Tabel 4(c). Pengujian diastole pada subjek 3

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	78,08	92	15,13
2	81,32	94	13,48
3	84,56	94	10,04

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
4	74.83	88	14.96
5	100.77	94	7.20
		MAPE:	12.16
		Akurasi:	87.84

Tabel 4(d). Pengujian *diastole* pada subjek 4

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error (%)
1	74.83	76	1.53
2	83.8	80	4.75
3	91.05	82	11.03
4	87.8	82	7.07
5	74.83	80	6.46
		MAPE:	6.17
		Akurasi:	93.83

Tabel 4(e). Pengujian *diastole* pada subjek 5

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error(%)
1	107.26	100	7.26
2	104.02	98	6.14
3	100.77	100	0.77
4	74.83	88	14.96
5	110.5	94	17.55
		MAPE:	9.33
		Akurasi:	90.67

Tabel 4(f). Pengujian *diastole* pada subjek 6

<i>diastole</i>			
No	Alat yang Dikembangkan (mmHg)	Alat Penguji (mmHg)	error(%)
1	74.83	88	14.96
2	84.56	96	11.91
3	74.83	95	21.23
4	84.56	88	3.90
5	81.32	102	20.27
		MAPE:	14.45
		Akurasi:	85.55

Tabel 4(g). Pengujian akurasi *diastole*

Subjek	Akurasi
1	92.33
2	80.15
3	87.84
4	93.83
5	90.67
6	85.55
Akurasi Total	88.39

Hasil pengukuran akurasi dari alat, akurasi total pengukuran pada 6 orang subjek didapatkan dari pengukuran pada pengujian terhadap nilai *systole* dan *diastole* dari alat. Tingkat akurasi *systole* alat yang dikembangkan sebesar 78.22% dan akurasi *diastole* alat yang dikembangkan sebesar 88.39%. pada pengukuran ini akurasi pengukuran nilai *systole* lebih kecil 10% dibandingkan dengan akurasi *diastole*. Berdasarkan hasil pengukuran, sistem masih belum bisa mendapatkan hasil yang akurat untuk menentukan nilai tekanan darah.

4.5 Analisis Hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian terhadap alat. Dalam pengujian tingkat akurasi pembacaan nilai *systole* yang didapatkan cukup rendah, hal ini disebabkan oleh hasil penggunaan ratio yang digunakan untuk menentukan *systole* dan *diastole* tidak tepat. Pembacaan yang dilakukan oleh sistem yang dikembangkan terkadang mendapatkan hasil pembacaan *diastole* yang mendekati hasil pembacaan *systole* dari alat pembanding tetapi pada hasil pembacaan *systolenya* justru jauh dari *systole* hasil pembacaan dari alat pembanding. Pengujian terhadap subjek yang memiliki hasil pembacaan tekanan darah yang rendah pada alat pembanding, alat yang dikembangkan tidak mampu melakukan perhitungan yang akurat terhadap nilai *systole* dan *diastole* pada subjek tersebut. Pada subjek 2 yang cenderung memiliki nilai *systole* dan *diastole* yang rendah pada perhitungan menggunakan pembanding memiliki tingkat akurasi yang rendah untuk pembacaan nilai *systole* dan *diastole* oleh alat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengukuran yang dilakukan oleh alat yang dikembangkan mampu melakukan pengukuran nilai *systole* dan *diastole* dengan tingkat akurasi pembacaan sebesar 78.23% untuk *systole* dan 88.39% untuk *diastole*. Alat yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan dalam melakukan pengukuran, dimana tingkat akurasi alat menjadi sangat rendah ketika melakukan pengukuran terhadap subjek yang memiliki tekanan darah yang rendah.

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pengembangan lebih lanjut atau yang serupa. Pada alat yang dikembangkan dapat digunakan algoritma lain yang lebih akurat atau tetap menggunakan algoritma yang sama tetapi dengan menambahkan fungsi lain agar sistem dapat membaca nilai *systole* dan *diastole* yang lebih akurat dengan nilai pembanding yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- ADITYA, A., RIYADI, M. A., & DARJAT, D., 2016. Rancang Bangun Alat Pengukur Tekanan Darah Otomatis Pada Pergelangan Tangan Menggunakan Metode Oscillometry Berbasis Arduino MEGA 2560. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 1-7
- ALPERT, B.S., QUINN, D., & GALLICK, D., 2014. Oscillometric blood pressure: a review for clinicians. *Journal of the American Society of Hypertension : JASH*, 8 12, 930-8
- CHANDRASEKHAR, A., YAVARIMANESH, M., HAHN, J-O., SUNG, S-H., CHEN, C-H., CHENG, H-M., MUKKAMALA, R. 2019. Formulas to Explain Popular Oscillometric Blood Pressure Estimation Algorithms.

- Frontiers in Physiology, Sec. Computational Physiology and Medicine .
- CHEN, S., GROZA, V. Z., BOLIC, M., & DAJANI, H. R., 2009. *Assessment of algorithms for oscillometric blood pressure measurement*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference
- FAROUZAFRAN, M., DAJANI, H. R., GROZA, V. Z., BOLIC, M., & BATKIN, I., 2015. Oscillometric Blood Pressure Estimation: Past, Present, and Future. IEEE Reviews in Biomedical Engineering
- GIBSON, LAUREN E. MD; HENRIQUES, TERESA S. PHD; COSTA, MADALENA D. PHD; DAVIS, ROGER B. SCD; MITTLEMAN, MURRAY A. MD, DRPH; MATHUR, POOJA BA; SUBRAMANIAM, BALACHUNDHAR MD, MPH., 2020. Comparison of Invasive and Noninvasive Blood Pressure Measurements for Assessing Signal Complexity and Surgical Risk in Cardiac Surgical Patients. *Anesthesia & Analgesia* 130(6):p 1653-1660, June 2020.
- ISNANDAR, M.F.D., PRASETIO, B., & ICHSAN, M.H.H., 2022. Sistem Monitoring Gelombang Osilometrik Menggunakan Arduino dan Smartphone. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 9(7), 1333-1340.
- MAFI, M., RAJAN, S., BOLIC, M., GROZA, V. Z., & DAJANI, H. R., 2011. Blood pressure estimation using oscillometric pulse morphology. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)
- PEBRISIANA, P., TAMBUNAN, L. N., & BARINGBING, E. P., 2022. Hubungan Karakteristik dengan Kejadian Hipertensi pada Pasien Rawat Jalan di RSUD Dr. Doris Sylvanus Provinsi Kalimantan Tengah: The Relationship of Characteristics with the Event of Hypertension in Outpatient Patients in RSUD Dr. Doris Sylvanus Central Kalimantan Province. *Jurnal Surya Medika (JSM)*, 8(3), 176–186.
- RAMDANI, H. T., RILLA, E. V., & YUNINGSIH, W., 2017. Hubungan Tingkat Stres Dengan Kejadian Hipertensi Pada Penderita Hipertensi. *Jurnal Keperawatan 'Aisyiyah*, 4(1), 37-45.
- RUSLANG, DARWIS, N., AZIS, A.Y., ANUGERAH, AMAS, R.R., NISMAYANTI, HASBI, RIADI, A., 2022. Penyuluhan Penyakit Hipertensi dan Pengukuran Tekanan Darah Pada Lansia di Desa Salotengnga Kecamatan Sabbangparu. *JurDikMas Sosiosaintifik*.
- TANJUNG, S.D.P., Ratnasari N.R., 2017. Tensimeter Digital Berbasis Arduino Dengan Transfer Data Berbasis Android Melalui Bluetooth. Diploma thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.