

# Perancangan Sistem Tekanan Udara Pada Ventilator Berbasis Arduino (*Design Of Air Pressure System In Ventilator Based On Arduino*)

1<sup>st</sup> Fachri Afif Ramadhan  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
fachriafifr@student.telkomun  
iversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Sony Sumaryo  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
sonysumaryo@telkomunivers  
ity.ac.id

3<sup>rd</sup> Rizki A. Priramadhi  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
rizkia@telkomuniversity.ac.i  
d

## Abstrak

Kita telah ketahui bersama pandemi COVID-19 sedang terjadi di segala penjuru dunia dan pastinya menyebabkan permintaan alat-alat medis meningkat tajam. Salah satu alat medis yang sangat dibutuhkan untuk penyembuhan para penderita COVID-19 adalah ventilator, bahkan sampai hari ini juga banyak instansi kesehatan yang kekurangan alat vital ini yang digunakan untuk menunjang pernapasan pasien yang umumnya kesulitan dalam bernapas. Kekurangan ventilator ini menjadi tujuan dari penelitian yang penulis lakukan dengan harapan penelitian ini dapat berperan dalam pembuatan ventilator *low-cost* khusus pasien COVID-19 yang dapat membantu permintaan di pasar.

Pada tugas akhir ini penulis merancang suatu sistem pada ventilator yang dapat mengetahui nilai tekanan, dimana jenis tekanan yang diukur ada 2 yaitu *Peak Inspiratory Pressure* (PIP), dan *Positive end-expiratory pressure* (PEEP). Penelitian menggunakan sensor MPX5010DP yang disambungkan dengan sensor flow hamilton yang terhubung langsung ke ventilator, lalu data yang diperoleh akan ditampilkan di LCD.

Hasil yang didapat pada penelitian ini didapatkan nilai tekanan *Peak Inspiratory Pressure* (PIP), dan *Positive end-expiratory pressure* (PEEP) yang keduanya dibandingkan dengan data yang sudah terstandarisasi di BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK). Dengan nilai *error* senilai 7,5617 % untuk PIP dan 125% untuk PEEP.

## Abstract

We all know that the COVID-19 pandemic is happening in all corners of the world and is certainly causing the demand for medical equipment to increase sharply. One of the medical devices that are urgently needed for healing COVID-19 sufferers is a ventilator, even today there are also many health agencies. who lack this vital tool which is used to support the breathing of patients who generally have difficulty in breathing. This shortage of ventilators is the goal of the research that the authors are doing with the hope that this research can play a role in the manufacture of low-cost ventilators specifically for COVID-19 patients that can help demand in the market.

In this final project the author designed a system on a ventilator that can determine the pressure value, where there are 2 types of pressure measured, namely *Peak Inspiratory Pressure* (PIP), and *Positive end-expiratory pressure* (PEEP). The study uses the MPX5010DP sensor which is connected to a Hamilton flow sensor which is connected directly to the ventilator, then the data obtained will be displayed on the LCD.

The results obtained in this study obtained *Peak Inspiratory Pressure* (PIP) and *Positive end-expiratory pressure* (PEEP) values, both of which were compared with standardized data at BALAI PENGAMANAN FASILITAS

## I. PENDAHULUAN

Sebagaimana yang kita ketahui saat ini kita berada di tengah-tengah pandemi COVID-19. Berbagai macam penelitian atau pembuatan alat yang diperlukan untuk keperluan melawan pandemi ini sudah dilakukan, namun mahal dan terbatasnya alat medis yang tersedia sekarang ini sedang menjadi masalah utama dalam menangani Pandemi COVID-19.

Diantara alat medis yang sangat dibutuhkan sekarang ini adalah ventilator. Ventilator merupakan salah satu alat medis yang harganya tergolong sangat mahal. Karena mahalnya alat medis ini menjadikan alat ini terbatas dan tidak banyak dimiliki oleh instansi-instansi kesehatan seperti rumah sakit. Alat ini juga termasuk alat dengan permintaan tertinggi oleh instansi-instansi kesehatan. Sudah banyak kasus rumah sakit yang menolak melayani Pasien COVID-19 dikarenakan kurangnya ventilator yang merupakan salah satu alat utama untuk menyembuhkan pasien yang terpapar virus pandemi ini. Dengan tidak terlayannya pasien COVID-19 maka penyebaran virus dan tingkat kematian akan terus bertambah hari demi hari yang tentu saja akan

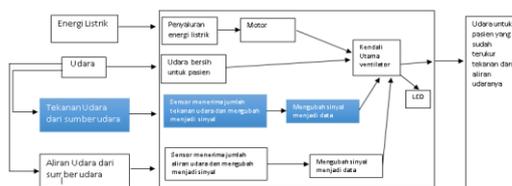
berdampak buruk pada berbagai sektor kehidupan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jeremy Zuckerberg [1], ventilator yang mereka kembangkan mampu memberikan ventilasi yang aman dan andal kepada pasien dengan berbagai penyakit paru-paru dalam pengaturan simulasi. Serta memungkinkan untuk menggunakan ventilator ini dalam situasi darurat dan pengaturan sumber daya rendah.

Dalam penelitian ini kami juga melakukan hal yang sama namun kami ingin membuat ventilator yang harganya lebih terjangkau lagi dari harga yang ada di pasar. Disamping itu harganya yang murah dapat memenuhi tujuan kami dalam penelitian kali ini (low cost) sehingga dapat dijangkau dengan mudah. Hal ini menjadi aspek yang kami unggulkan dalam penelitian kami kali ini dibandingkan penelitian sebelumnya. Pengaplikasian sistem tekanan udara pada ventilator yang menjadi judul saya pada penelitian ini pada umumnya mengatur tekanan udara sebaik mungkin, sehingga pasien dapat bernapas dengan nyaman.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### a. Konsep Desain Solusi



Gambar di atas merupakan diagram konsep alat ventilator yang akan dirancang dan bagian yang ditandai biru merupakan bagian yang difokuskan oleh penulis pada penelitian ini. Secara singkat dalam penelitian ini penulis berfokus pada pembacaan nilai tekanan dimana tekanan yang dibaca ada 2 kategori yaitu *Peak Inspiratory Pressure (PIP)* dan *(PEEP (Positive End Expiratory Pressure))* dan nantinya nilai yang terbaca akan dibandingkan dengan data yang telah distandardisasi oleh BALAI PENGAMANAN FASILITAS KESEHATAN (BPFK).

### b. Covid-19

“Coronavirus menjadi bagian dari keluarga besar virus yang menyebabkan penyakit yang terjadi pada hewan ataupun manusia. Manusia yang terjangkit virus tersebut akan menunjukkan tanda-tanda penyakit infeksi saluran pernapasan mulai dari flu sampai yang lebih serius, seperti *Middle East Respiratory Syndrome (MERS)* dan *Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS)* atau sindrom pernapasan akut berat. Coronavirus sendiri jenis baru yang ditemukan manusia sejak muncul di Wuhan, China pada Desember 2019, dan diberi nama *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARSCOV2)*. Sehingga, penyakit ini disebut dengan *Coronavirus Disease-2019 (COVID-19)* (*World Health Organization/WHO, 2020*)” [2].

### c. Tekanan

Tekanan (P) adalah satuan fisika untuk menyatakan gaya (F) per satuan luas (A). Satuan tekanan sering digunakan untuk mengukur kekuatan dari suatu cairan atau gas.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dimana:

P = tekanan (Pa)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)[3]

Satuan Internasional yang dipakai untuk tekanan adalah *Pascal* dimana 1 *Pascal* bernilai sama dengan 1 N/m<sup>2</sup> namun dibidang kesehatan lebih umum menggunakan mm Hg dimana 1 mmHg setara dengan 133 Pa berikut beberapa satuan tekanan yang biasa dipakai:

#### d. Sistem Pernafasan Manusia

Sistem pernapasan manusia terdiri dari dua bagian yaitu sistem pernapasan atas dan sistem pernapasan bawah dan memiliki organ-organ di setiap bagian sistemnya berikut penjelasannya:



**Gambar 2.2** Sistem Pernafasan Manusia

##### A. Sistem pernapasan atas

Sistem pernapasan atas terdiri dari rongga hidung, sinus, dan laring.

- Rongga hidung memiliki selaput lendir dan rambut-rambut halus yang berfungsi sebagai penyaring kotoran atau debu dan benda-benda asing lainnya yang ikut bersama udara.
- Sinus merupakan rongga berisi udara yang memiliki fungsi mengatur kelembapan dan suhu udara yang dihirup sebelum masuk ke tubuh.
- Laring adalah rongga yang berisikan pita suara.

##### B. Sistem pernapasan bawah

Sistem pernapasan bawah terdiri dari *trakea*, *bronkus*, paru-paru dan diafragma.

- *Trakea* adalah jalan napas utama menuju paru-paru
- Paru-paru merupakan sepasang organ yang dilindungi oleh tulang rusuk.
- *Bronkus* merupakan cabang dari trakea yang membagi udara ke masing-masing sisi paru bronkus memiliki cabang yang lebih kecil lagi bernama bronkiolus yang berisi

alveolus tempat bertukarnya O<sub>2</sub> (oksigen) dengan CO<sub>2</sub> (carbondioksida).

Diafragma adalah otot utama dalam pernapasan yang dapat berkontraksi secara periodik yang memungkinkan udara masuk dan keluar dari paru-paru.

#### e. Ventilator

Ventilator adalah mesin yang berfungsi untuk menunjang atau membantu pernapasan. Ventilator dibutuhkan oleh pasien yang tidak dapat bernapas sendiri, baik karena suatu penyakit atau karena cedera yang parah. Tujuan penggunaan alat ini adalah agar pasien mendapat asupan oksigen yang cukup. Melalui ventilator, pasien yang sulit bernapas secara mandiri dapat dibantu untuk bernapas dan mendapatkan udara layaknya bernapas secara normal. Ventilator akan memompa udara selama beberapa detik untuk menyalurkan oksigen ke paru-paru pasien[5]. Ventilator umumnya memiliki beberapa *setting* yaitu:

-*Tidal volume* (TV ): jumlah udara yang diberikan pada pasien tiap napas (satuan: mL)

-*Respiratory rate* (RR)/*Beat per minute* (BPM): jumlah napas dalam 1 menit (satuan: napas/menit)

-I:E Ratio: perbandingan waktu *inhale* (inspirasi) dan *exhale* (ekspirasi)

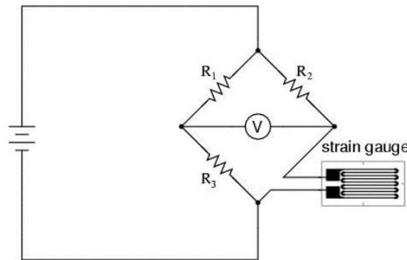
#### f. Volume Paru-Paru

Volume dan kapasitas paru-paru pada setiap orang berbeda-beda, bergantung pada beberapa faktor, misalnya jenis kelamin, usia, postur tubuh, kebiasaan merokok, kebiasaan berolahraga, ketinggian daerah tempat tinggal, kekuatan bernapas, dan cara bernapas.

#### g. Pendeteksian Tekanan Udara

Sensor yang dipakai untuk pengukuran tekanan adalah sensor MPX5010DP dimana sensor ini menggunakan prinsip kerja *strain gauge*. *Strain Gauge* adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain).

Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan *Wheatstone* yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada *Strain Gauge*. [8]



Gambar 2. 3 Bridge-sensor circuit diagram

h. Jenis-jenis Tekanan Dalam Fase Pernapasan

Berikut beberapa istilah tekanan yang ada di dalam pernapasan manusia

1. *Peak Inspiratory Pressure (PIP)*

*Peak Inspiratory Pressure (PIP)* adalah Puncak tekanan saat memberikan volume tidal pada pasien yang nilainya harus dikontrol agar tidak terjadi barotrauma. Barotrauma merupakan cedera pada organ manusia yang disebabkan oleh tekanan yang tinggi, yang salah satunya bisa berasal dari tekanan positif dari ventilasi buatan. [9]

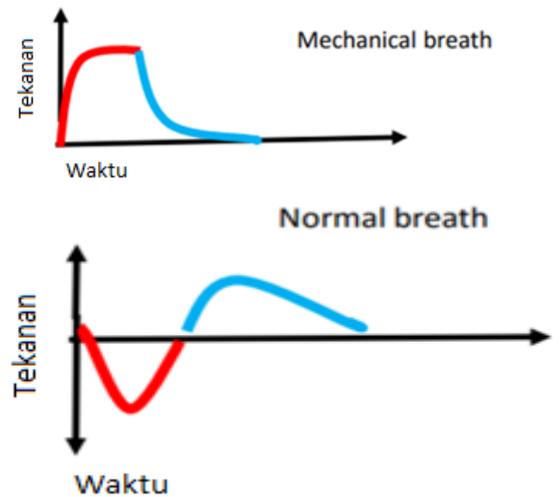
2. *Positive end-expiratory pressure (PEEP)*

*Positive end-expiratory pressure (PEEP)* adalah nilai tekanan pada paru-paru yang dipertahankan pada akhir ekspirasi, pada kebanyakan kasus pasien yang mengalami gangguan pernapasan berat, pasien tidak dapat membuka saluran pernapasan dengan spontan. Dengan mempertahankan suatu nilai tekanan positif di akhir ekspirasi, maka saluran pernapasan pasien tetap terbuka dan ventilasi buatan dapat dilakukan.

3. *Plateau pressure (Pplat)*

Tekanan yang diperlukan untuk mempertahankan pengembangan paru saat inspirasi.

i. Perbedaan Grafik Tekanan Terhadap Waktu Pada Pernafasan Manusia Dan Ventilasi Mekanik

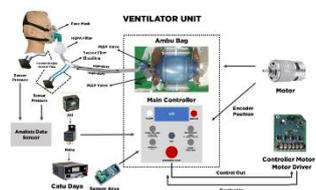


Gambar 2. 5 Grafik Perbedaan Pernafasan

Perbedaan diantara keduanya terletak pada awal pernapasan dimana pada pernapasan manusia butuh nilai tekanan negatif untuk *trigger* masuknya udara ke paru-paru, sedangkan pada ventilasi mekanik nilai tekanan langsung otomatis diberikan dari mesin karena sudah terbukanya jalur pernapasan dikarenakan tekanan positif yang diberikan di akhir ekspirasi sebelumnya.

III. PERANCANGAN SISTEM

a. Diagram Sistem Keseluruhan



Gambar 3. 1 Diagram Sistem Keseluruhan

Dalam tugas akhir ini penulis hanya membuat sistem tekanan udara pada ventilator menggunakan *ambu bag* sebagai sumber udara pasien yang kemudian diteruskan ke sensor *flow hamilton* yang terhubung

dengan sensor tekanan MPX5010DP.

i. Blok Diagram



Gambar 3. 1 Blok Diagram

Gambar diatas merupakan blok diagram dari alat yang ingin dibuat, tekanan udara yang dialirkan *ambubag* melalui sensor *flow hamilton* dibaca tekanannya oleh sensor MPX5010DP yang terhubung ke arduino yang berisi algoritma yang dirancang oleh penulis, lalu kemudian ditampilkan di LCD untuk menampilkan nilai yang terbaca.

## b. Fungsi dan Fitur

Penelitian ini merupakan bagian dari sebuah proyek besar dengan produk akhir berupa ventilator *low-cost* dengan:

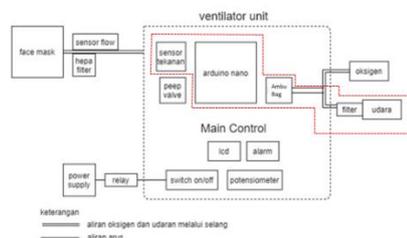
- *Control: Pressure and volume*
- *Tidal volume: 250-800 ml*
- *Respiration rate: 10-30 pernapasan per menit (BPM)*
- *Pressure / Tekanan maksimum: 50 cm H<sub>2</sub>O*
- *PEEP (Positive End Expiratory Pressure): 5 sampai 25 cm H<sub>2</sub>O*
- *Fail-safe: Power Failure Notification, low battery warning (in consideration)*

Fitur yang dimiliki oleh sistem:

1. Nilai laju aliran udara dan volume udara yang terukur dan sesuai dengan *setpoint* yang telah di tentukan
2. Nilai laju aliran udara dan volume udara yang ada di sistem dapat dilihat pada LCD
3. Set Point dapat diatur dengan potensimoter

## b. Desain Perangkat Keras

s

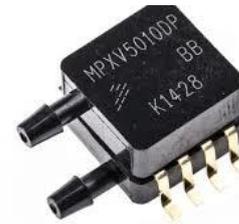


**Gambar 3. 2** Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras pada penelitian ini meliputi perancangan komponen perangkat keras seperti sensor, aktuator, pencatu daya, dan perangkat keras lainnya. Gambar 3.5 di atas merupakan gambar *desain* perangkat keras sistem ventilator secara keseluruhan dengan desain perangkat keras sistem kendali tekanan udara yang dibahas pada tugas akhir ini hanya perangkat keras yang terdapat pada kotak dengan garis warna merah. Adapun perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

## c. Spesifikasi Komponen

### 1.Sensor MPX5010DP



**Gambar 3. 3** Sensor MPX5010DP

Sensor ini menggunakan prinsip kerja *strain gauge*. *Strain Gauge* adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain). Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan *Wheatstone* yang kemudian akan diketahui berapa besar tekanan yang terukur dari voltase hasil dari jembatan *wheatstone*. Sensor ini merupakan sensor tekanan spesifikasi dari sensor MPX5700DP ini adalah sebagai berikut :

Rentang tekanan : 0-10 kPa

Rentang Tegangan : 0,2 V – 4,7 V

*Error rate* :  $\pm 5\%$

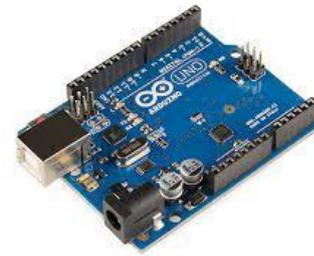
### 2. Flow Hamilton



**Gambar 3. 4** Flow Hamilton

*Flow Hamilton* Sensor aliran proksimal telah menjadi inti dari semua ventilator Medis Hamilton. Sensor ini memberi data penting dari pembuka jalan napas, seluruh proses ventilasi bergantung pada pengukuran dan akurasi. Data volume, aliran, dan tekanan yang tepat memungkinkan penilaian yang lebih baik terhadap kondisi paru-paru pasien. *Flow Hamilton* merupakan sensor aliran sekali pakai. Penelitian telah menunjukkan bahwa volume

tidal untuk pasien berventilasi harus ditentukan dengan sensor aliran yang ditempatkan pada pipa endotrakeal. Secara fisik, sensor aliran adalah membran tipis di dalam wadah plastik.



Specification	Range
Flow	0 – 30 L/min
Work Temperature	-15°C - 40°C

-SRAM :1 kbyte (ATmega168) dan 2 kbyte

(ATmega328)

-EEPROM :512 byte (Atmega168) dan 1 kbyte

(Atmega328)

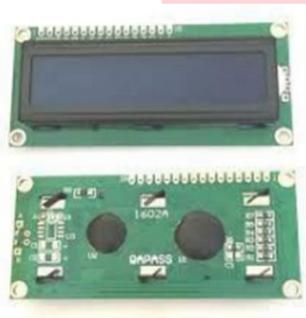
-Kecepatan clock : 16 MHz

-Ukuran board : 4,5 mm x 18 mm

-Berat : 5 gram

Arduino Nano diciptakan berbasis mikrokontroler ATmega328, untuk Duemilanove, tetapi dengan beberapa spesifikasi yang berbeda.

3.LCD



Gambar 3. 8 LCD

Tegangan	5 Volt
Pin	16 Pin

4.Arduino

-Mikrokontroler : ATmega168 atau Atmega328

Gambar 3. 9 Arduino

-Tegangan kerja : 5 Volt

-Tegangan input : 7 – 12 Volt

-Digital pin I/O :14 pin dilengkapi dengan 6 pin PWM

-Analog pin : 8 pin yaitu pin A0 sampai pin A7

-Arus listrik maksimum : 40 mA

-Flash memori :32 Kb (Atmega328) atau 16 Kb(Atmega168)

#### d. Desain Perangkat Lunak



**Gambar 3. 5** Diagram Alir Sistem Tekanan Pada Ventilator

Alur digram diatas adalah sebagai berikut:

1. Sistem dimulai dengan menginisialisasi variable.
2. Untuk memulai motor ada beberapa parameter yang dapat diatur sesuai keinginan yaitu:
  - TV = *Tidal Volume*
  - RR = *Respiration rate*
  - IE = *Inhale/Exhale Ratio*
3. Pembacaan nilai tekanan oleh sensor
4. LCD akan menampilkan nilai tekanan yang terba

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada BAB ini akan dilakukan pengujian dan analisis dari alat yang telah dirancang, Untuk kalibrasi akan dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran dengan nilai alat ukur (manometer). Untuk pengujian akan membandingkan nilai pengukuran dengan nilai standar yang sudah ditetapkan oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK). Parameter-parameter yang akan diuji yaitu sebagai berikut:

1. Kalibrasi Sensor Tekanan MPX5010DP
2. Pengujian Nilai PIP
3. Pengujian Nilai PEEP

Untuk mendapatkan nilai akurasi dengan nilai error dari setiap percobaannya, penulis menggunakan persamaan berikut:

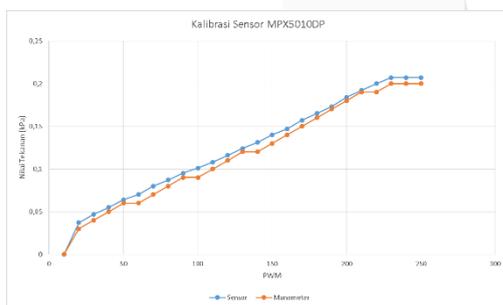
$$Akurasi = 100\% - \%error \quad (4.1)$$

$$dengan, \quad 100\%error = \left| \frac{Nilai Pengukuran - Nilai Seben}{Nilai Sebenarnya} \right| \quad (4.2)$$

a. Kalibrasi Sensor MPX5010DP

Kalibrasi pada sensor MPX5010DP ini menggunakan blower dengan nilai PWM 10-250 dan membandingkan nilai yang terukur di sensor dan alat ukur (manometer) berikut tabel hasil pengukuran.

Pada saat melakukan kalibrasi selang sensor flow hamilton yang dipakai hanya satu



dikarenakan kedua alat ini sama-sama berprinsip *differential pressure* di mana salah satu *port* pada manometer dan sensor berfungsi sebagai pembaca tekanan udara yang ada di atmosfer yang nantinya akan dikurangi dengan nilai yang terbaca oleh sensor di *port* yang satunya

Tabel 4. 1 Kalibrasi Sensor MPX5010DP

No.	Nilai PWM	Sensor(kPa)	Manometer(kPa)	Akurasi (%)
1	10	0	0	100
2	20	0,037	0,037	76,69
3	30	0,047	0,047	87,50
4	40	0,055	0,055	90,00

5	50	0,064	0,064	90,62
6	60	0,07	0,07	92,86
7	70	0,08	0,08	95,00
8	80	0,087	0,087	96,47
9	90	0,095	0,095	97,89
10	100	0,101	0,101	99,01
11	110	0,108	0,108	100,00
12	120	0,116	0,116	100,00
13	130	0,124	0,124	100,00
14	140	0,131	0,131	100,00
15	150	0,14	0,14	100,00
16	160	0,147	0,147	100,00
17	170	0,157	0,157	100,00
18	180	0,165	0,165	100,00
19	190	0,173	0,173	100,00
20	200	0,184	0,184	100,00
21	210	0,192	0,192	100,00
22	220	0,2	0,2	100,00
23	230	0,207	0,207	100,00
24	240	0,207	0,207	100,00
25	250	0,207	0,207	100,00



Gambar 4. 2 Kalibrasi Sensor MPX5010DP

Hasil kalibrasi menunjukkan rata-rata akurasi yaitu sebesar 92,7114 persen dimana nilai tekanan yang diukur sensor cukup akurat ketika dibandingkan dengan nilai tekanan yang diukur di manometer.

i. Pengujian Nilai PIP

Pada pengujian ini dilakukan percobaan dengan beberapa parameter yang ada di ventilator, yaitu sebagai berikut:

1. Tidal Volume
2. BPM (Breath Per Minute)
3. I:E Ratio (Inspiration/Expiration)

Untuk I:E Ratio, BPM dan Tidal Volume yang dipilih pada penelitian ini

merupakan sebagian dari beberapa parameter yang ada dikeluaran sistem. Dimana parameter yang disediakan pada ventilator ini nantinya dapat dipergunakan sesuai dengan kebijakan dokter terhadap

kondisi pasien. Nantinya nilai yang terbaca oleh sensor tekanan dengan *TV, BPM* dan *IE Ratio* tertentu akan dibandingkan dengan nilai tekanan dengan *TV, BPM* dan *IE Ratio* tertentu yang sudah distandardisasi oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK).

#### ii. Pengujian Saat Volume 300 ml

1. Parameter pengujian yaitu 25 BPM (*BREATH PER MINUTE*) dan 1:1 *Ratio*

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E *Ratio* 1:1 dan 25 *Breath per Minute* (*BPM* (*BREATH PER MINUTE*)) dengan nilai tidal volume 300 ml.

**Tabel 4. 2** 25 BPM dan 1:1 *Ratio*

Nilai Tekanan (Ventilator)	Nilai Tekanan (BPFK)	Persentase Error(%)
25,96	23,38	11,03
26,77	23,26	15,09
26,6	23,22	14,55

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata-rata nilai error sensor yaitu sebesar 13,55% dan untuk akurasi bernilai 86,45%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (*TV*:300 ml, 25 *BPM* dan 1:1 *Ratio*) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* kurang dari 5%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (*TV*:300 ml, 25 *BPM* dan 1:1 *Ratio*) yang masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

2. Parameter pengujian yaitu 30 BPM (*BREATH PER MINUTE*) dan 1:1 *Ratio*

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E *Ratio* 1:1 dan 30 *Breath per Minute* (*BPM*) dengan nilai volume 300 ml.

**Tabel 4. 3** 30 BPM dan 1:1 *Ratio*

Nilai Tekanan (Ventilator)	Nilai Tekanan (BPFK)
28,09	26,81
28,04	26,88
27,34	26,68

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata-rata nilai error sensor yaitu sebesar 3,82% dan untuk akurasi didapatkan nilai 96,18%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (*TV*:300 ml, 30 *BPM* dan 1:1 *Ratio*) memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* kurang dari 5%.

3. Parameter pengujian yaitu 20 BPM dan 1:2 *Ratio*

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E *Ratio* 1:2 dan 20 *Breath per Minute* (*BPM*) dengan nilai volume 300 ml.

**Tabel 4. 4** 20 BPM dan 1:2 *Ratio*

Nilai Tekanan (Ventilator)	Nilai Tekanan (BPFK)
24,33	23,09
25,75	23,24
24,86	23,23

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata-rata nilai error sensor yaitu sebesar 7,72% dan untuk akurasi didapatkan nilai 92,28%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (*TV*:300 ml, 20 *BPM* dan 1:2 *Ratio*) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95%

atau dengan *error* lebih kecil dari 5%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (TV:300 ml, 20 BPM dan 1:1 Ratio) yang

masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

4. Parameter pengujian yaitu 25 BPM dan 1:2 Ratio

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E Ratio 1:2 dan 30 *Breath per Minute* (BPM) dengan nilai volume 300 ml.

Nilai Tekanan (Ventilator)	Nilai Tekanan (BPFK)	Persentase Error(%)
26,73	28,05	4,70
26,05	28,03	7,06
27,14	27,01	0,48

**Tabel 4. 5** 25 BPM dan 1:2 Ratio

Nilai Tekanan (Ventilator)	Nilai Tekanan (BPFK)	Persentase Error(%)
27,28	25,75	5,94
28,03	25,59	9,53
27,14	25,62	5,93

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata rata nilai error sensor yaitu sebesar 7,13% dan untuk akurasi yang didapatkan nilai 92,87%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (TV:300 ml, 25 BPM dan 1:2 Ratio) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* lebih kecil dari 5%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (TV:300 ml, 25 BPM dan 1:2 Ratio) yang masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

**iii. Pengujian Saat Volume 400 ml**

1. Parameter pengujian yaitu 25 BPM dan 1:1 Ratio

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E Ratio 1:2 dan 30 *Breath per Minute* (BPM) dengan nilai volume 400 ml.

**Tabel 4. 6** 25 BPM dan 1:1 Ratio

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata rata nilai error sensor yaitu sebesar 4,08% dan untuk akurasi yang didapatkan nilai 95,92%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (TV:400 ml,

25 BPM dan 1:1 Ratio) memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* kurang dari 5%.

2. Parameter pengujian yaitu 30 BPM dan 1:1 Ratio

Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan I:E Ratio 1:2 dan 30 *Breath per Minute* (BPM) dengan nilai volume 400 ml.

**Tabel 4. 7** 30 BPM dan 1:1 Ratio

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata rata nilai error sensor yaitu sebesar 9,12% dan untuk akurasi yang didapatkan nilai 90,88%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (TV:400 ml,

30 BPM dan 1:1 Ratio) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasi harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* lebih kecil dari 5%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (TV:400 ml, 30 BPM dan 1:1 Ratio) yang masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

**b. Pengujian Nilai PEEP**

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan nilai PEEP sebesar 5 cmH<sub>2</sub>O dan nilai BPM sebesar 16, serta dengan 2 jenis tidal volume yang berbeda yaitu 300 ml dan 400 ml.

### c. Pengujian Saat Volume 300 ml

Parameter pengujian yaitu PEEP=5 cmh<sub>2</sub>O. Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan dan 16 *Breath per Minute (BPM)* dengan nilai volume 300 ml.

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata-rata nilai error sensor yaitu sebesar 200%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (TV:300 ml dan 16BPM) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasinya harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* lebih kecil dari 5%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (TV:300 ml, 16 BPM) dan algoritma yang masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

### d. Pengujian Saat Nilai Volume 400 ml

Parameter pengujian yaitu PEEP=5 cmh<sub>2</sub>O, 16 BPM dan TV 400. Pengujian ini menggunakan parameter ventilator dengan dan 16 *Breath per Minute (BPM)* dengan nilai volume 400 ml.

Dari hasil pengujian yang didapat untuk rata-rata nilai error sensor yaitu sebesar 50%. Dimana nilai akurasi yang didapatkan pada parameter (TV:400 ml dan 16BPM) tidak memenuhi standar BPFK yaitu akurasinya harus bernilai lebih dari 95% atau dengan *error* lebih kecil dari 5%.%. Penyebab tidak tercapainya akurasi kemungkinan ada pada pengaturan motor yang mengapit *ambubag* pada saat parameter (TV:400 ml, 16 BPM) dan algoritma yang masih harus diperbaiki lagi agar nilai pembacaannya dapat memenuhi standar BPFK.

## V. KESIMPULAN

### a. Kesimpulan

Berikut beberapa kesimpulan dan tingkat keberhasilan alat :

1. Pada penelitian kali ini algoritma yang dibuat penulis berhasil membaca nilai tekanan yang menjadi parameter di penelitian kali ini. Serta sistem yang dirancang dapat diketahui nilai akurasi dan *error* nya melalui proses perbandingan data dengan data yang ada di BPFK.
2. Berdasarkan hasil kalibrasi sensor MPX5010DP yang dibandingkan dengan manometer memiliki tingkat akurasi yang cukup bagus yaitu sebesar 92,71% .

3. Berdasarkan data hasil pengujian PIP pada sistem yang menggunakan sensor tekanan MPX5010DP dan sensor *flow* hamilton, dengan beberapa parameter (RR,I:E Ratio,BPM),yang dibandingkan dengan data yang sudah terstandarisasi oleh BPFK. Dengan hasil akhir 2 parameter memenuhi standar BPFK (TV=300 ml, 30 BPM, I:E Ratio 1:1 dan TV=400 ml, 25 BPM dan 1:1 Ratio) dan sisanya 4 parameter masih belum memenuhi standar BPFK dan memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 92,43 % dan *error* sebesar 7,57%.
4. Berdasarkan data hasil pengujian PEEP pada sistem yang menggunakan sensor tekanan MPX5010DP dan sensor *flow* hamilton dengan beberapa parameter (RR,I:E Ratio,BPM),yang dibandingkan dengan data yang sudah terstandarisasi oleh BPFK. Dengan hasil akhir 2 parameter masih belum memenuhi standar BPFK (TV:300 ml dan 16 BPM dan TV:400 ml dan 16BPM) dan memiliki nilai error rata-rata sensor sebesar 125 %.
5. Untuk PIP dan PEEP standar pengukuran dari BPFK berupa toleransi *error* sebesar 5% dan pada penelitian kali ini hasil itu belum tercapai dimana ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran seperti pengaturan motor yang mengapit *ambubag* yang harus diperbaiki lagi agar nilainya mendekati standar yang sudah ditetapkan, jenis sensor yang dipakai, algoritma sensor, tidak adanya ADC pada sistem dan kemungkinan-kemungkinan lain.
6. Berdasarkan hasil pengujian sensor tekanan MPX5010DP pada bab 4, Nilai tekanan yang diukur telah sesuai dengan tujuan dari penelitian ini yaitu dapat mengukur tekanan 0-60 cmH<sub>2</sub>O.

### b. Saran

Adapun saran untuk mengembangkan dan meningkatkan kinerja dari alat yang dirancang : Menggunakan sensor tekanan yang memiliki akurasi yang lebih tinggi lagi agar dapat hasil pengukuran yang lebih mendekati nilai yang sebenarnya.

## REFERENSI

- [1] J. Zuckerberg, M. Shaik, K. Widmeier, T. Kilbaugh, and T. D. Nelin, "A lung for all: Novel mechanical ventilator for emergency and low-resource settings," *Life Sci.*, vol. 257, no. June, p. 118113, 2020, doi: 10.1016/j.lfs.2020.118113.
- [2] Nasution, N. H., & Hidayah, A. (2021). Gambaran Pengetahuan Masyarakat Tentang Pencegahan COVID-19 Di Kecamatan Padangsidimpuan Batunadua, Kota Padangsidimpuan. *Jurnal Kesehatan Ilmiah Indonesia (Indonesian Health Scientific Journal)*, 6(1), 107-114.
- [3] Handrizal, D., & Setyoko, B. (2015). *RANCANG BANGUN ALAT PERAGA PENGUKUR TEKANAN (DESIGN BUILD VIEWER TOOL FOR MEASURING PRESSURE)* (Doctoral dissertation, D3 Teknik Mesin).

- [4] Nareza (2020, Mei 3). *Seperti Ini Cara Kerja Sistem Pernapasan pada Manusia*. Retrieved from alodokter: <https://www.alodokter.com/seperti-ini-cara-kerja-sistem-pernapasan-pada-manusia>
- [5] Setyana, d. M. (2019, 7 31). *Mengenal Ventilator, Manfaat, dan Kekurangannya*. Retrieved from Alodokter: <https://www.alodokter.com/mengenal-ventilator-manfaat-dan-kekurangannya>
- [6] Nina Hertiwi Putri (2020, Februari 3). *pentingnya kapasitas total paru-paru untuk kesehatan manusia*. Retrieved from sehatq: <https://www.sehatq.com/artikel/pentingnya-kapasitas-total-paru-paru-untuk-kesehatan-manusia>
- [7] C. G. Lausted, A. T. Johnson, W. H. Scott, M. M. Johnson, K. M. Coyne, and D. C. Coursey, "Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes," *Biomed. Eng. Online*, vol. 5, pp. 1–6, 2006, doi: 10.1186/1475-925X-5-29
- [8] Hermawan, A. (2016, 10). seputar dunia elektro. Retrieved from Sensor strain gauge: <http://seputarduniaelektro.blogspot.com/2016/12/malah-sensor-strain-gauge.html>
- [9] Hamilton-Farrell, M., & Bhattacharyya, A. (2004). Barotrauma. *Injury*, 35(4), 359-370.
- [10] *Apa itu Arduino IDE dan Arduino Sketch ?* (2017, 10 26). Retrieved from allgoblog: <http://allgoblog.com/apa-itu-arduino-ide-dan-arduino-sketch>