

**RANCANG BANGUN VENTILATOR PORTABEL DENGAN  
FUNGSI INVASIF**



OLEH:  
ISHAK  
D022182002

Dosen Pembimbing:  
Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc  
Dr. Hairul Arsyad, ST., MT

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**Rancang Bangun Ventilator Portabel Dengan Fungsi Invasif**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi**

**Teknik Mesin / Konstruksi Mesin**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ISHAK**

**D022182002**

**Kepada**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

# LEMBAR PENGESAHAN

## RANCANG BANGUN VENTILATOR PORTABLE DENGAN FUNGSI INVASIF

Disusun dan diajukan oleh :

**ISHAK**

**D022182002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam  
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 26 Juni 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



**Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar,ST., M.Sc**  
NIP. 19760216 2010121002

Pembimbing Pendamping



**Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST., MT**  
NIP.197503222002121001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin,



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,**  
**ST., MT.,IPM.,ASEAN. Eng**  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi



**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT**  
NIP. 19791122008122002

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ishak  
Nomor Induk Mahasiswa : D022182002  
Program Studi : Teknik Mesin/Konstruksi Mesin  
Jenjang : Magister (S2)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis berupa Tesis dengan judul **"Rancang Bangun Ventilator Portable Dengan Fungsi Invasif"** merupakan hasil karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc dan Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST., MT). Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka Tesis ini.

Gowa, 26 Juni 2023

Yang menyatakan,



ISHAK

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga tesis dengan judul “Rancang Bangun Ventilator Portabel Fungsi Invasif” dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Master Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya tesis ini dapat memberikan manfaat bagi khasanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama menyelesaikan tesis ini, tesis ini tidak akan mungkin dapat penulis selesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya kepada para pihak:

1. Kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak M. Ridwan dan Ibu Darna.
2. Kepada Rektor Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.
3. Kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM.,ASEAN. Eng. dan beserta Staff.
4. pKepada Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.
5. Kepada Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Mesin Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT.
6. Kepada Pembimbing Utama Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar,ST.,M.Sc.
7. Pembimbing Pendamping Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T.
8. Kepada seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Kepada teman-teman kelas seperjuangan S2 Teknik Mesin 2018.
10. Kepada seluruh rekan-rekan Dosen, Laboran dan Staf Politeknik Bosowa.

11. Kepada semua pihak yang kami tidak bisa sebutkan satu persatu.

Akhir kata atas bantuan dan budi baik yang telah penulis dapatkan dari seluruh rekan sekalian penulis haturkan terimakasih sebanyak-banyaknya. Semoga hal baik yang telah diberikan kepada penulis dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa dan diberkahi pahala yang setinggi-tingginya.

Gowa, 26 Juni 2023

Penulis,

Ishak

## ABSTRAK

Ventilator adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk menunjang atau membantu proses bernapas seseorang yang mengalami gangguan pernapasan, sehingga dapat bernapas seperti orang normal. Tujuan pengembangan dan pembuatan ventilator adalah untuk menghasilkan produk ventilator portabel dengan harga murah, dan memiliki kinerja sesuai standar medis. Kinerja ventilator yaitu menghasilkan tidal volume (volume oksigen) yang akurat 0-800 ml, tekanan puncak oksigen 40 cmH<sub>2</sub>O, memiliki pengaturan I/E ratio 1:1-1:5, dan pengaturan respiratory rate 0-40 BPM. Pengembangan menggunakan metode eksperimental aplikatif, yang dimulai dengan perancangan dan pembuatan produk ventilator berdasarkan literatur, kemudian dilakukan pengujian dalam bentuk pengukuran. Pengukuran terdiri dari pengukuran volume oksigen, dan pengukuran tekanan oksigen. Volume oksigen yang keluar diukur berdasarkan perpindahan zat cair dalam gelas/tabung ukur, sedangkan tekanan oksigen diukur menggunakan pressure sensor MPX5010DP. Hasil pengukuran tidal volume yaitu ventilator menghasilkan volume oksigen 50-805 ml. Hasil pengukuran tekanan puncak oksigen (PIP) pada test lung yaitu 16,6 cmH<sub>2</sub>O serta tekanan positif akhir (PEEP) yaitu mulai dari 0,9-12,5 cmH<sub>2</sub>O. Untuk memperoleh perbandingan nilai hasil pengujian dengan standar medis, dilakukan pengujian volume dan tekanan dengan menggunakan Gas Flow Analyzer Fluke Biomedical VT650, diperoleh nilai tidal volume sebesar 220 ml dan tekanan 18,96 cmH<sub>2</sub>O, terdapat selisih volume yaitu 585 ml dan selisih tekanan sebesar 2,36 cmH<sub>2</sub>O. Berdasarkan hasil pengukuran, metode pengukuran tidal volume dengan perpindahan zat cair kurang tepat, sehingga ventilator belum memenuhi standar medis.

Kata kunci : ventilator, solenoid valve, volume, tekanan, portabel.

## **ABSTRACT**

A ventilator is a machine that functions to support or help the breathing process of someone who has breathing problems so that they can breathe like normal people. The purpose of developing and manufacturing ventilators is to produce portable ventilator products at low prices and performed according to medical standards. The performance of the ventilator is to produce an accurate tidal volume (oxygen volume) of 0-800 ml, peak oxygen pressure of 40 cmH<sub>2</sub>O, an I/E ratio setting of 1:1-1:5, and a respiratory rate setting of 0-40 BPM. Development using applicative experimental methods, which begins with the design and manufacture of ventilator products based on literature, then testing in the form of measurements. The measurement consists of the measurement of oxygen volume and the measurement of oxygen pressure. The volume of oxygen that comes out is measured based on the displacement of liquid in the measuring glass/tube, while oxygen pressure is measured using the MPX5010DP pressure sensor. The results of the tidal volume measurement are that the ventilator produces an oxygen volume of 50-805 ml. The results of measuring the peak oxygen pressure (PIP) in the lung test are 16.6 cmH<sub>2</sub>O and the final positive pressure (PEEP) is ranging from 0.9-12.5 cmH<sub>2</sub>O. To obtain a comparison of the value of the test results with medical standards, volume, and pressure testing was carried out using the Fluke Biomedical VT650 Gas Flow Analyzer, which obtained a tidal volume value of 220 ml and a pressure of 18.96 cmH<sub>2</sub>O, there was a volume difference of 585 ml and a pressure difference of 2.36 cmH<sub>2</sub>O. Based on the measurement results, the method of measuring tidal volume with liquid displacement is not precise, so the ventilator has not met medical standards.

Keywords: ventilator, solenoid valve, volume, pressure, portable.



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Perancangan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Defenisi dan Fungsi Ventilator.....	5
2.2 Siklus Respirasi dan Tidal Volume.....	7
2.3 Bagian - Bagian Ventilator.....	8
2.4 Standar Minimum Ventilator Mekanik.....	11
2.5 Mode Ventilator.....	13
2.6 Peralatan Penunjang Ventilator.....	14
BAB III. METODE PERANCANGAN.....	16
3.1 Tahapan Perancangan.....	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan.....	18
3.4 Desain.....	19

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Hasil Perancangan.....	23
4.2 Hasil Pengujian .....	26
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Waktu aktual siklus napas pada frekuensi napas 15 BPM.....	27
Tabel 2. Waktu aktual siklus napas pada frekuensi napas 30 BPM.....	29
Tabel 3. Perbandingan data hasil pengujian ventilator. ....	42

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Ventilator tekanan positif .....	6
<b>Gambar 2.</b> Ventilator tekanan negatif.....	6
<b>Gambar 3.</b> Instalasi oksigen sentral .....	9
<b>Gambar 4.</b> Tabung oksigen.....	9
<b>Gambar 5.</b> Breathing Circuit.....	9
<b>Gambar 6.</b> Panel kontrol .....	10
<b>Gambar 7.</b> Ventilator mekanik.....	12
<b>Gambar 8.</b> Solenoid Valve (Galbiati et al., 2020) .....	14
<b>Gambar 9.</b> Sensor MPX5010 (Alan et al., 2021) .....	14
<b>Gambar 10.</b> Board Arduino Mega 2560.....	15
<b>Gambar 11.</b> Catu daya .....	15
<b>Gambar 12.</b> Flowchart tahapan penelitian.....	17
<b>Gambar 13.</b> Dimensi ventilator .....	20
<b>Gambar 14.</b> Bagian-bagian ventilator.....	20
<b>Gambar 15.</b> Komponen utama ventilator.....	21
<b>Gambar 16.</b> Ventilator rancangan 1 .....	22
<b>Gambar 17.</b> Ventilator rancangan 2 .....	22
<b>Gambar 18.</b> Diagram blok pangatur volume udara.....	23
<b>Gambar 19.</b> Hasil produk ventilator, (a) panel kontrol dan kotak komponen, (b) solenoid valve, (c) mikrokontroler.....	24
<b>Gambar 20.</b> Orifice plate flow sensor .....	25
<b>Gambar 21.</b> Diagram blok sistem kontrol dan catu daya.....	26
<b>Gambar 22.</b> Pengukuran waktu siklus respirasi .....	27
<b>Gambar 23.</b> Pengukuran waktu aktual siklus respirasi.....	28
<b>Gambar 24.</b> Siklus respirasi dengan I/E ratio 1:2 .....	28
<b>Gambar 25.</b> Siklus respirasi dengan I/E ratio 1:3 .....	29
<b>Gambar 26.</b> Frekuensi napas 30 BPM dan I/E ratio 1:1 .....	30
<b>Gambar 27.</b> Frekuensi napas 30 BPM dan I/E ratio 1:2 .....	30
<b>Gambar 28.</b> Waktu aktual <i>solenoid valve</i> 1 aktif, I/E 1:1, 15 BPM.....	31
<b>Gambar 29.</b> Waktu aktual <i>solenoid valve</i> 1 aktif, I/E 1:2, 30 BPM.....	32

<b>Gambar 30.</b> Proses pengukuran volume udara ventilator .....	32
<b>Gambar 31.</b> Hasil pengukuran volume udara yang dihembuskan ventilator, (a) 0,1 detik 50 ml (b) 0,43 detik 400 ml (c) 0,74 detik 805 ml. ....	33
<b>Gambar 32.</b> Pressure sensor .....	34
<b>Gambar 33.</b> Posisi selang pressure sensor dan PEEP valve .....	34
<b>Gambar 34.</b> Tidal volume .....	35
<b>Gambar 35.</b> Peak inspiratory pressure.....	35
<b>Gambar 36.</b> Positif end Expiratory Pressure (PEEP) .....	36
<b>Gambar 37.</b> Peak Inspiratory Pressure .....	36
<b>Gambar 38.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 10 BPM dan I/E 1:1) .....	37
<b>Gambar 39.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 10 BPM dan I/E 1:2) .....	38
<b>Gambar 40.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 20 BPM dan I/E 1:1) .....	38
<b>Gambar 41.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 20 BPM dan I/E 1:2) .....	39
<b>Gambar 42.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 30 BPM dan I/E 1:1) .....	39
<b>Gambar 43.</b> Grafik PIP (TV 805 ml, 30 BPM dan I/E 1:2) .....	40
<b>Gambar 44.</b> Hasil pengukuran ventilator tahap pertama. ....	42
<b>Gambar 45.</b> Hasil pengukuran ventilator tahap kedua .....	43
<b>Gambar 46.</b> Hasil pengukuran ventilator tahap terakhir .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Program ventilator.....	50
<b>Lampiran 2.</b> Pengujian ventilator di RS. Dr. Wahidin Sudirohusodo.....	56
<b>Lampiran 3.</b> Pengukuran PIP dengan Sensor MPX 5010 DP.....	57
<b>Lampiran 4.</b> Pengukuran PIP dengan Manometer.....	58
<b>Lampiran 5.</b> Tabel hasil pengukuran tidal volume dan PIP.....	59
<b>Lampiran 6.</b> Tabel hasil pengukuran PEEP.....	61
<b>Lampiran 7.</b> Pengukuran PIP dan PEEP (RR dan I/E berbeda).....	63
<b>Lampiran 8.</b> Pengujian ventilator di BPFK.....	64
<b>Lampiran 9.</b> Data hasil pengujian tahap terakhir di BPFK Makassar.....	65

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ventilator adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk menunjang atau membantu proses bernapas seseorang. Melalui alat ini, seorang pasien yang sulit bernapas akan dibantu untuk mendapatkan udara dan bernapas seperti orang normal.

Virus SARS-CoV-2, yang menyebabkan COVID-19, diketahui menyerang saluran pernapasan dan mengganggu fungsi normal sel-sel pada paru-paru. Saat pasien sakit kritis dan kesulitan untuk bernapas, maka ventilator mempunyai peran penting untuk membantu pasien bernapas. Menurut organisasi kesehatan dunia (WHO), sekitar 80 persen penderita virus Corona (Covid-19), bisa sembuh tanpa membutuhkan penanganan khusus. Namun, 1 dari 6 orang mengalami sakit serius dan kesulitan bernapas. Dalam kasus yang parah, virus menyebabkan kerusakan paru-paru, maka dari itu tujuan mendasar penggunaan ventilator adalah untuk mendorong dan meningkatkan kadar oksigen ke paru-paru, sehingga memungkinkan penyembuhan paru-paru, dan dalam waktu yang sama mengurangi risiko kesalahan diagnosis (iatrogenik) (Pettenuzzo & Fan, 2017).

Ventilator untuk saat ini sangat dibutuhkan dalam jumlah yang banyak, demi membantu petugas medis dalam menyembuhkan pasien yang terinfeksi virus Covid-19. Ventilator mekanik produksi industri kesehatan memiliki harga yang cukup tinggi, dan hanya tersedia di beberapa rumah sakit tertentu. Penanganan bencana massal seperti saat ini akan sangat sulit dan terhambat, karena ketersediaan alat kesehatan tidak memadai. Terlebih pada lingkungan miskin akan sumber daya, tentunya akan sangat berdampak, dengan banyaknya korban jiwa. Oleh karena itu dibutuhkan ventilator murah (Mohsen Al Hussein et al., 2010). Ventilator tidak hanya untuk pasien penderita virus Covid-19, ventilator sudah dari dahulu dikembangkan dan digunakan untuk mengobati

gangguan pernapasan lainnya, seperti gagal napas (*hiperkapni/hipoksemi*), kegagalan kinerja organ paru-paru (*acute respiratory distress syndrom*), dan yang lainnya.

Kebutuhan akan ventilator mekanik tidak hanya melihat dari sisi harga, namun kemudahan dalam pengoperasian (portabel), dan perawatan (Jürß & Degner, 2018). Ventilator portabel dibutuhkan pada kendaraan medis (ambulance), dalam menangani pasien yang menempuh perjalanan ke rumah sakit utama / rujukan serta digunakan oleh tenaga medis militer dalam menangani korban peperangan atau bencana lainnya (Kerechanin, Cutchis, Vincent, Smith, & Wenstrand, 2004). Ventilator harus mampu menangani pasien berbagai usia. Pernapasan dengan ventilator berarti memberikan tekanan positif ke pasien, di mana udara pada ventilator memiliki tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan tekanan udara pada paru-paru manusia. Ventilator harus mampu menyesuaikan dengan kondisi pasien bukan sebaliknya.

Kemampuan dasar sebuah ventilator secara klinis yaitu memiliki pengaturan *Tidal Volume*, *Respiratory Rate*, *Inspiratory / Expiration Time Ratio* dan mekanisme pembuangan karbondioksida (Jacob et al., 2020). *Tidal volume* adalah volume udara yang diberikan ke pasien dalam satu kali siklus respirasi. *Respiratory rate* adalah jumlah siklus respirasi atau frekuensi napas yang diberikan ke pasien dalam 1 menit. *Inspiratory / expiration time* adalah rasio waktu menghirup dan menghembuskan udara pernapasan. Kemudian parameter oksigen yang harus dipenuhi yaitu keakuratan volume oksigen, kadar oksigen dan suhu oksigen. Kesalahan dalam penggunaan ventilator akan menyebabkan kerusakan paru-paru, sehingga dalam pembuatan ventilator perlu diperhatikan pengaturan volume dan tekanan oksigen yang diberikan ke pasien. Kelebihan tekanan akan menyebabkan *barotrauma* dan kelebihan volume oksigen akan menyebabkan *volutrauma*.

Penelitian mengenai pengembangan ventilator murah dan portabel terus dilakukan, tujuannya agar dapat membantu lingkungan terutama tenaga medis dalam tanggap darurat menangani bencana massal. Hal



tersebut menjadi landasan pemikiran untuk melakukan rancang bangun berupa pembuatan ventilator portabel fungsi invasif dengan *mode* ventilasi oleh mesin (*mandatory ventilation*) dengan tipe kontrol volume (*volume controlled ventilation*) (Buckley & Gillham, 2007). Ventilator akan bekerja berdasarkan pengaturan volume oksigen yang diberikan ke pasien dan nilai volume yang tidak berubah walaupun parameter lain berubah. Pengaturan volume oksigen dibatasi hingga 800 ml. Penentuan volume yang akan diberikan ke pasien yaitu berdasarkan berat badan ideal pasien itu sendiri, umumnya 6-8 ml/kg berat badan ideal. Jika pasien mengalami obesitas, maka tinggi badan menjadi tolak ukur untuk menentukan berat badan ideal dari pasien itu sendiri.

Walaupun ventilator yang dibuat bekerja berdasarkan kontrol volume, namun hal yang tetap menjadi batasan untuk dipenuhi adalah tekanan udara ( $O_2$ ) yang masuk ke paru-paru yaitu maksimal 40 cmH<sub>2</sub>O. Capaian maksimum yang diharapkan dalam rancang bangun ventilator yaitu dihasilkan ventilator mekanik portabel fungsi invasif yang memenuhi standar minimum klinis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, dijabarkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain dan merancang ventilator mekanik portabel fungsi invasif ?.
2. Bagaimana menerapkan siklus respirasi pada katup inspirasi ?.
3. Bagaimana mengatur kapasitas *Tidal Volume* pada proses respirasi ?.

## **1.3 Tujuan Perancangan**

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan antara lain:

1. Mendesain dan merancang ventilator portabel fungsi invasif.
2. Menerapkan siklus respirasi pada katup inspirasi.
3. Mengatur kapasitas *Tidal Volume* pada proses respirasi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian rancang bangun ventilator portable dengan fungsi noninvasif dan invasif antara lain :

1. Volume respirasi yang keluar diukur berdasarkan perpindahan zat cair dalam gelas/tabung ukur.
2. *Tidal Volume* (laju aliran massa) diukur dengan menggunakan *flow meter* manual atau menggunakan sensor *flow*.
3. Spesifikasi ventilator yaitu bekerja berdasarkan kontrol volume, sehingga memiliki parameter pengaturan *tidal volume*, *respiratory rate* dan *I/E ratio* serta dapat menampilkan nilai tekanan udara ( $O_2$ ).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tersebut sebagai berikut :

1. Bagi peneliti, penelitian ini berguna untuk menambah pengetahuan tentang teknologi alat kesehatan.
2. Masyarakat, bermanfaat memberikan pengetahuan mengenai teknologi alat kesehatan, dan yang utama adalah ketersediaan ventilator yang memadai untuk menghadapi bencana massal.
3. Bagi institusi pendidikan Program Magister Jurusan Teknik Mesin bidang Konstruksi Mesin yaitu, dapat digunakan sebagai referensi ilmiah dalam penelitian untuk pengembangan teknologi alat kesehatan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Defenisi dan Fungsi Ventilator

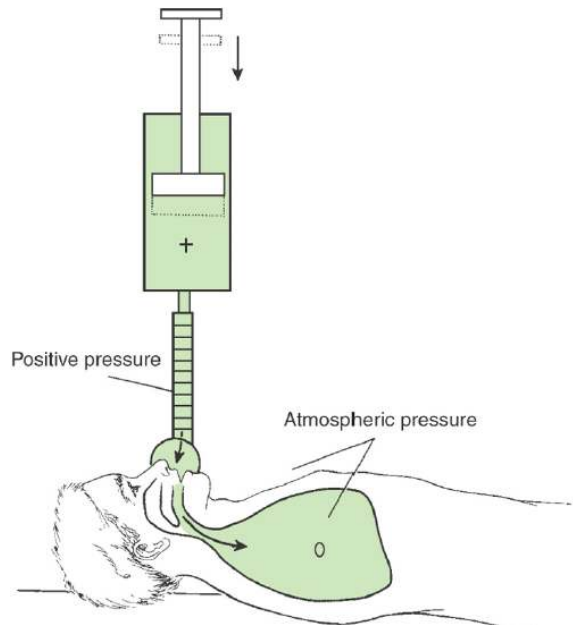
Ventilator mekanik adalah mesin yang berfungsi untuk menunjang atau membantu proses bernapas seseorang. Melalui alat ini, seorang pasien yang sulit bernapas akan dibantu untuk mendapatkan udara dan bernapas seperti orang normal (Warner & Patel, 2012).

Ventilator mekanik memiliki fungsi noninvasif dan invasif. Pasien dengan gejala yang lebih ringan bisa diberikan alat bantu pernapasan atau ventilasi "noninvasif" berupa sungkup muka, masker hidung atau corong mulut yang memungkinkan udara bertekanan atau campuran gas didorong ke dalam paru-paru (Garmendia et al., 2020), sedangkan orang dengan kegagalan pernapasan diberikan alat bantu pernapasan atau ventilasi "invasif" berupa pipa atau selang yang dimasukkan ke dalam batang tenggorokan/trakeostomi (Buckley & Gillham, 2007).

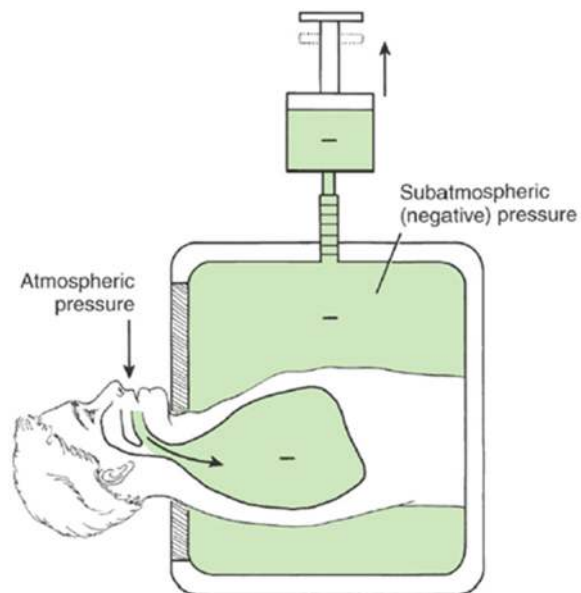
Berdasarkan penyaluran tekanan oksigen, ventilator mekanik dibagi menjadi 2 yaitu : a). Ventilator tekanan positif pada Gambar 1 dan, b). Ventilator tekanan negatif pada Gambar 2. Ventilator tekanan positif bekerja dengan cara menyalurkan langsung oksigen bertekanan tinggi ke dalam paru-paru, sedangkan ventilator tekanan negatif bekerja dengan cara menyalurkan oksigen tidak secara langsung ke dalam paru-paru, lingkungan disekitar dada dibuat bertekanan negatif, sehingga menyebabkan udara atmosfer tertarik masuk ke dalam paru-paru (Kenaan & Hyzy, 2019).

Ventilator mekanik dengan tekanan positif lebih banyak digunakan, sebab ventilator jenis ini dapat menangani gangguan pernapasan akut (kritis), selain itu sejak ventilator tekanan positif noninvasif ditemukan, ventilator tekanan negatif jarang digunakan. Ventilator terdiri dari *tubing circuit* (sirkuit selang) untuk mempertahankan sistem tetap tertutup,

kemudian oksigen harus melalui *heated humidifier* (alat pelembab udara) (Larsson, Larsson, & Yang, 2009).



**Gambar 1.** Ventilator tekanan positif



**Gambar 2.** Ventilator tekanan negatif

## 2.2 Siklus Respirasi dan Tidal Volume

### 2.2.1 Siklus Respirasi

Siklus respirasi adalah saat mulai inspirasi sampai kembali mulai inspirasi di mana terdiri dari 2 fase (Buckley & Gillham, 2007) :

#### 1. Fase Inspirasi/Inhalasi (Menghirup)

Fase di mana udara masuk ke dalam rongga paru-paru manusia dengan diawali kontraksi otot antar tulang rusuk, sehingga rongga dada terangkat dan paru-paru membesar, akibatnya tekanan dalam rongga dada menjadi lebih kecil dari tekanan udara di luar, sehingga udara luar yang mengandung oksigen dapat masuk ke dalam paru-paru dan akan bertukar dengan karbondioksida pada alveolus dalam paru-paru.

#### 2. Fase Ekspirasi/Exhalasi (Menghembuskan)

Fase selanjutnya setelah inspirasi. Otot antara tulang rusuk kembali ke posisi semula yang diikuti oleh turunnya tulang rusuk sehingga rongga dada menjadi kecil, menyebabkan tekanan di dalam rongga dada menjadi lebih besar dari tekanan luar, sehingga udara yang mengandung karbondioksida dengan uap air dapat keluar.

Setiap fase inspirasi ditambah satu fase ekspirasi adalah satu respirasi. Pada siklus respirasi memiliki perbandingan waktu fase inspirasi dan ekspirasi yang disebut dengan *I/E ratio*. Kondisi normal *I/E Ratio* bernilai 1:2, di mana waktu ekspirasi lebih lama dibanding inspirasi.

Adanya gangguan pernapasan menyebabkan hambatan sirkulasi udara, sehingga untuk mengatasi hambatan tersebut maka kondisi terbaik yaitu waktu ekspirasi lebih dari setengah siklus respirasi. Waktu inspirasi dan ekspirasi (siklus respirasi) diperoleh dari nilai *I/E Ratio* dan nilai *Respiratory Rate* (RR).

*Respiratory Rate* (RR) adalah jumlah siklus respirasi yang diberikan pada pasien tiap 1 menit. Sebagai contoh, jika nilai RR 10 BPM, maka waktu siklus respirasi yaitu 6 detik. Apabila nilai *I/E ratio* 1:2, maka diperoleh waktu inspirasi 2 detik dan waktu ekspirasi 4 detik.

### **2.2.2 Tidal Volume**

Volume udara yang diberikan ke pasien setiap satu kali siklus respirasi, yaitu pada fase inspirasi. Nilai *Tidal Volume* ( $V_T$ ) diberikan berdasarkan berat badan ideal pasien. Umumnya berkisar 6-8 ml/kg berat badan ideal (Giri, Kshirsagar, & Wanjari, 2021). Misalnya, untuk pasien dengan berat badan 50 Kg, maka volume udara yang diberikan yaitu 400ml setiap satu respirasi (Tehrani, 2008).

### **2.2.3 Inspiratory Flow Rate**

Kecepatan aliran udara yang dialirkan dalam satu menit untuk memenuhi kebutuhan volume udara pada proses respirasi. Untuk memperoleh nilai kecepatan aliran udara dibutuhkan nilai *Tidal Volume* dan waktu inspirasi, apabila waktu inspirasi 1 detik dan *Tidal Volume* 400 ml, maka kecepatan aliran udara yaitu 24 l/menit. Untuk orang dewasa dalam keadaan normal membutuhkan *Inspiratory Flow Rate* sebesar 30-40 l/menit (Shunker & Icu, 2016).

## **2.3 Bagian - Bagian Ventilator**

Ventilator mekanik tekanan positif fungsi invasif lebih banyak digunakan oleh rumah sakit / tenaga medis. Ventilator mekanik tekanan positif terdiri dari tiga (3) bagian utama yaitu sebagai berikut :

### **1. Oksigen Medik Bertekanan Tinggi.**

Sistem oksigen sentral langsung disalurkan ke beberapa ruangan di rumah sakit, sedangkan untuk kondisi darurat digunakan tabung oksigen sebagai wadah seperti pada Gambar 4. Tentunya kedua sistem tersebut sama-sama memiliki regulator pengatur tekanan. Untuk rumah sakit, sangat tepat jika menggunakan instalasi oksigen sentral seperti pada Gambar 3, karena memudahkan tenaga medis dan tidak perlu dilakukan penggantian tabung oksigen. Tekanan oksigen pada instalasi rumah sakit yaitu 2,8-6 bar disebut HPO (*Hight Pressure Oxygen*), sedangkan tekanan pada tabung kurang dari 6 bar yang disebut LPO (*Low Pressure Oxygen*).



**Gambar 3.** Instalasi oksigen sentral



**Gambar 4.** Tabung oksigen

## 2. Saluran Respirasi Buatan (*Breathing Circuit*).

Pada Gambar 5 memperlihatkan bentuk saluran respirasi pada sistem ventilator, yang terdiri dari selang inspirator dan ekspirator, pelembab udara, kawat pemanas pada selang inspirasi dan selang ekspirasi.



**Gambar 5.** Breathing Circuit

Pelembab berfungsi untuk menghindari kekeringan membran pada paru-paru. Kawat pemanas berfungsi untuk mempertahankan suhu udara/gas agar tetap sama atau mendekati suhu tubuh, sehingga menurunkan kondensasi udara yang lembab dan mencegah terbentuknya air.

### 3. Panel Kontrol

Panel kontrol pada Gambar 6 terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yaitu :

- a. Tombol pengatur (*control setting*), terdiri dari beberapa pengaturan, mulai dari mode ventilasi, pengaturan volume oksigen, tekanan oksigen, kecepatan respirasi, kadar oksigen ( $FiO_2$ ), tekanan positif akhir ekspirasi (PEEP), dan pengaturan lainnya sesuai diagnosa tenaga medis.
- b. Alarm, berfungsi untuk memberikan tanda bahwa ventilator bekerja sesuai dengan pengaturan yang telah diberikan. Alarm menandakan batas tertinggi dan terendah yang diinginkan berdasarkan pengaturan.
- c. Layar (*display*), berfungsi menampilkan nilai pengaturan dan hasil yang diterima oleh pasien.



**Gambar 6.** Panel kontrol



## 2.4 Standar Minimum Ventilator Mekanik

Ventilator mekanik buatan industri kesehatan tentunya telah memiliki standarisasi yang diakui oleh dunia, baik itu segi material, fungsi, dan ketahanan. Oleh karena itu, dalam penelitian dan pembuatan ventilator ini tetap mengacu pada standar yang telah ditetapkan. Adapun standar minimum secara klinis dari sebuah ventilator mekanik yaitu sebagai berikut (MHRA, 2020) :

1. Memiliki parameter yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan pasien:
  - a. *Respiratory Rate* (RR), yaitu rata-rata tarikan/frekuensi napas permenit (BPM) antara 8-40.
  - b. *Tidal Volume* (TV), yaitu volume udara yang dihirup masuk ke dalam paru-paru pasien antara 0-800 ml/detik dan berdasarkan berat badan ideal pasien.
  - c. *I/E Rasio* (rasio waktu menghirup/mengeluarkan napas) : dapat di atur antara kisaran 1:1-1:5.
  - d. Pendeteksi / pemicu (*trigger*), sinyal untuk memulai proses inspirasi pasien dengan bantuan ventilator. Sinyal tersebut dapat berupa tekanan atau aliran udara.
2. Tekanan udara yang masuk ke pasien harus dapat dipantau/dimonitor :
  - a. *Peak Inspiratory Pressure* (PIP) adalah tekanan maksimum yang dibatasi 40 cmH<sub>2</sub>O pada saat pemberian *tidal volume* ke pasien. *Plateau Pressure* adalah tekanan yang dibutuhkan untuk mempertahankan pengembangan paru-paru. Nilai plateau pressure kurang dari 30 cmH<sub>2</sub>O. Tekanan dibatasi agar pasien tidak mengalami *Barotrauma* dan *Volutrauma* (kerusakan paru-paru akibat tekanan tinggi). Untuk itu tenaga medis membutuhkan pembacaan *Peak Inspiratory Pressure* dan *Plateau Pressure* pada ventilator.
  - b. *Positif end Expiratory Pressure* (PEEP), yaitu tekanan positif akhir ekspirasi, dibutuhkan pengaturan PEEP yaitu 5 cmH<sub>2</sub>O - 15 cmH<sub>2</sub>O. Fungsi PEEP adalah menjaga agar alveoli tetap terbuka, agar proses penyerapan oksigen dapat berlangsung dan dialirkan ke darah. Untuk

pernapasan normal dibutuhkan tekanan PEEP sebesar 3 cmH<sub>2</sub>O - 5 cmH<sub>2</sub>O (Warner & Patel, 2012). Untuk gejala ARDS (*acute respiratory distress syndrome*) yaitu 7 cmH<sub>2</sub>O - 11 cmH<sub>2</sub>O (Chi, He, & Long, 2020).

3. Jika terjadi kondisi kegagalan, maka penanganan secara manual dapat dilakukan.
4. Dibutuhkan campuran oksigen murni dan udara luar, namun pada kondisi darurat cukup menggunakan oksigen murni. Kadar oksigen 20 % - 100 % (Tsuzuki et al., 2021).
5. Dibutuhkan filtrasi HEPA/HME sebagai penyaring antara unit ventilator dan pasien (ujung selang atau masker), agar tenaga medis dapat terhindar dari infeksi tertentu (Ashry & Modrykamien, 2014).
6. Kelembaban udara harus terjaga agar mencegah peradangan pada saluran nafas (mukosa).
7. Apabila terjadi kegagalan/kerusakan, alarm ventilator wajib memberi tanda kepada tenaga medis.



**Gambar 7.** Ventilator mekanik

Gambar 7 memperlihatkan salah satu contoh ventilator mekanik yang digunakan pada rumah sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

## 2.5 Mode Ventilator

Mode ventilator adalah beberapa metode atau pengaturan pada ventilator mekanik, yang digunakan untuk ventilasi pasien. Pemilihan mode ventilasi bergantung pada kondisi pasien, gejala gangguan pernapasan, serta hasil diagnosa tenaga medis. Ventilator mekanik pada umumnya memiliki 3 mode utama (Kenaan & Hyzy, 2019) :

### 1. *Control Mode.*

Mode tersebut membuat mesin mengontrol secara terus menerus proses bantuan pernafasan pasien. Metode digunakan untuk pasien yang pernafasannya buruk, lemah, dan kondisi apnea dengan menghiraukan upaya pasien untuk mengawali inspirasi. Apabila pasien sadar dan berusaha bernafas sendiri bisa terjadi tabrakan antara udara inspirasi dan ekspirasi, sehingga tekanan dalam paru meningkat menyebabkan alveoli pecah serta terjadi *pneumothorax*.

### 2. *Sincronized Intermitten Mandatory Ventilation Mode.*

Mode ini disingkat SIMV, yaitu metode pemberian bantuan nafas secara bergantian dengan nafas pasien itu sendiri, proses pernapasan diawali/dipicu pasien. Metode SIMV digunakan pada pasien yang sudah dapat bernafas spontan namun belum normal sehingga masih tetap membutuhkan bantuan pernapasan.

### 3. *Assisted Spontaneous Breathing.*

Mode ini disingkat ASB, namun lebih dikenal dengan *Pressure Support Mode* (PSM). Metode ini diperuntukkan pada pasien yang sudah bisa bernafas spontan (sebagai *trigger*) tetapi dengan volume tidal yang tidak mencukupi kebutuhan paru-paru, hal tersebut disebabkan oleh kemampuan bernafas pasien yang dangkal dan tekanannya lemah.

Ventilator generasi terbaru telah memiliki sistem *back up mode* antara *assisted mode* dan *mandatory mode*. *Back up mode* aktif otomatis ketika pasien tidak memberikan *trigger* tarikan atau hembusan nafas, sehingga secara otomatis mode akan berpindah ke *control mode* untuk menjaga pasien tetap bernafas.

## 2.6 Peralatan Penunjang Ventilator

Peralatan yang akan digunakan untuk menunjang desain dan rancangan ventilator portabel fungsi invasif yaitu :

### 1. Solenoid Valve

*Solenoid Valve* pada Gambar 8 adalah penggerak katup yang prinsip kerjanya menggunakan sistem elektromagnetik yang akan menggerakkan torak (*piston*) sehingga katup pengarah bekerja, sehingga dapat mengarahkan aliran fluida cair atau fluida gas (Galbiati et al., 2020). *Solenoid Valve* memiliki tipe dengan tegangan kerja DC dan AC.



**Gambar 8.** Solenoid Valve (Galbiati et al., 2020)

### 2. Sensor Tekanan

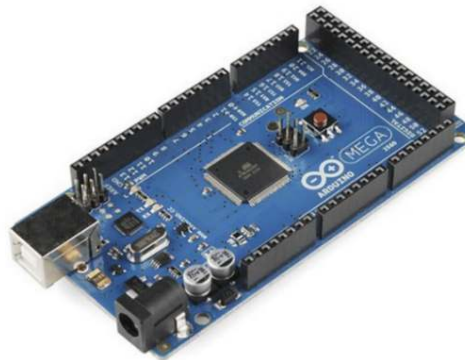
Sensor tekanan seri MPX5010 dapat mengukur tekanan dari 0-10 kPa (0.2-4.7 Volt DC *Output*) dan dirancang untuk berbagai aplikasi, sangat cocok untuk pengguna mikrokontroler atau mikroprosesor dengan input analog atau digital. Pengaktifan sensor MPX5010 pada Gambar 9, tidak memerlukan daya eksternal, melainkan menggunakan jalur data pada mikrokontroler yang digunakan.



**Gambar 9.** Sensor MPX5010 (Alan et al., 2021)

### 3. Modul Mikrokontroler

Pengontrolan menggunakan Arduino Mega 2560. Kontroller tersebut dirancang untuk proyek yang lebih kompleks, dengan 54 pin I/O digital, 16 input analog dan ruang yang lebih besar untuk sketsa program, serta direkomendasikan untuk proyek dengan jumlah penggunaan sensor dan aktuator yang banyak dan kompleks, bentuk fisik modul mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Board Arduino Mega 2560.

### 4. Catu Daya

Gambar 11 adalah catu daya yang digunakan berupa *switching power supply* 12 Volt DC 15 Ampere dengan tegangan sumber 220 Volt AC atau dapat menggunakan baterai 12 Volt DC 7 Ampere.



**Gambar 11.** Catu daya