

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ventilator mekanik (VM) sangat penting untuk mempertahankan hidup pasien dengan gagal napas berat ataupun gagal napas ringan, karena ventilator mekanik merupakan alat atau perangkat mekanik yang digunakan untuk membantu maupun menggantikan peranan fungsi pernapasan. Khususnya, selama wabah covid-19 yang lalu, kebutuhan dan perhatian mengenai ventilator mekanik meningkat dengan sangat pesat [1].

Ventilator mekanik (VM) adalah alat yang dapat mensupply kebutuhan pernapasan untuk mempertahankan hidup pada pasien yang membutuhkan dukungan ventilasi jangka panjang, karena gangguan atau kegagalan pernapasan [2]. VM perlu didesain dengan akurat karena berhubungan langsung dengan keberlangsungan hidup pasien, namun tantangannya parameter pernapasan cukup rumit sehingga sulit untuk mengembangkan sistem VM yang stabil. VM yang diaplikasikan pada pasien *intensive care unit (ICU)* disebut sebagai *ICU Ventilator*. Elemen dasar pada VM adalah pengontrolan *flow* yang dikirimkan oleh VM kepada pasien, yang mana kontrol *flow* sangat mempengaruhi kontrol lainnya seperti *pressure*, volume, waktu, dan lain sebagainya [3]. Ventilator pada umumnya dipengaruhi oleh *flow* inspirasi sistem, kontrol *flow* pada VM umumnya menggunakan sistem kontrol tertutup. Terdapat beberapa metode kontroller yang pernah digunakan untuk mengontrol *flow* pada VM diantaranya : metode *PID controller* [4], *adaptive PID* [5], *LQR*, dan *PI* [6].

VM telah banyak pengembangannya dan tipe kegunaanya seperti Ventilator *CPAP/BI-PAP*, *ICU ventilator*, *Support Pressure* dan lain sebagainya . Sistem VM juga memiliki beberapa mode diantaranya, mode *pressure-control*, mode volume control, mode *dual controlled*, mode *assisted control*, dan lain sebagainya [7]. Setiap mode memiliki kondisi pemakaiannya tersendiri, dan memiliki kelebihan masing-masing. Mode yang cukup banyak digunakan pada VM adalah mode *pressure-control* dengan mengatur tekanan yang diberikan saat inspirasi (*pressure*

inspirasi) juga mengatur tekanan saat udara dilepaskan (*positif end expiratory pressure*) [8].

Sistem kontrol pada VM mode *pressure-control* juga sulit untuk dikendalikan karena terdapat parameter-parameter yang selalu berubah-ubah saat proses pernapasan yaitu *compliance*, sehingga diperlukan sistem kontrol yang dapat beradaptasi dengan perubahan parameter saat proses pernapasan [9]. Perubahan *compliance* tentunya akan mempengaruhi tercapainya *pressure* inspirasi yang diinginkan, dan *flow* inspirasinya. Tujuan utama dari sistem kontrol pada VM mode *pressure-control* yaitu untuk secepat mungkin mendapatkan *pressure* yang sesuai dan melakukan penyesuaian terhadap parameter-parameternya dengan menyesuaikan nilai *flow* yang diberikan terhadap kondisi pasien (parameter *compliance* dan *resistance*) secara *real-time* [5].

Sistem kontrol VM mode *pressure-control* pada penelitian ini menggunakan *PI controller* yang digunakan untuk mengendalikan *plant proportional flow control valve* udara. Pertimbangan perancangan sistem kontrol pada VM mode *pressure-control* berbasis *PI controller* ini adalah agar sistem dapat mengejar nilai *flow* inspirasi *setpoint* secepat mungkin dan akurat untuk mencapai *pressure* yang diinginkan sehingga tidak terjadi kelainan pernapasan seperti *atelectasis* atau *barotrauma* [3]. Metode ini akan diaplikasikan pada alat ICU ventilator LIPI (ICU VENTLIP) untuk dijadikan sistem kontrol mode *pressure-control* pada ICU VENTLIP.

ICU ventilator LIPI (ICU VENTLIP) merupakan alat bantu pernapasan berupa ventilasi mekanis yang dirancang untuk pasien yang membutuhkan perawatan intensif (ICU) hasil rancangan dan pengembangan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mengacu pada ventilator mekanik (VM) umumnya. ICU VENTLIP ini memiliki 4 mode utama, yaitu mode *Volume Control – Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV)*, *Volume Control – Assist Control (VC-AC)*, *Pressure Control – Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV)*, dan *Pressure Control – Assist Control (PC-AC)*. Penelitian yang dilakukan ditujukan untuk mode *Pressure Control – Continuous Mandatory Ventilation*.

Penelitian mengenai ICU VENLIP telah dilakukan sebelumnya oleh (radzi et all, 2021) [10] membahas mengenai sistem kendali *PID* berdasarkan *fraction of inspired oxygen (FiO2)*. Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (radzi et all, 2021) menggunakan *proportional valve* yang berbeda dengan penelitian saat ini, dimana *valve* yang digunakan pada penelitian ini lebih cepat respon time-nya berdasarkan datasheet aktuator. Kondisi ICU VENLIP untuk mode *pressure-control* masih perlu untuk di optimasikan kembali, dikarenakan saat ini sistem kontrol untuk mencapai *flow* yang di inginkan belum optimal dan belum ada analisis untuk parameter pernapasan pasien yaitu *compliance* dan *resistance*. Penerapan metode *PI controller* pada ICU VENLIP mode *PC-CMV* diharapkan dapat mengoptimasikan kinerja dari sistem *pressure-control* tersebut. Penelitian ini juga melanjutkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (radzi et all, 2021).

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka perlu dirancang sebuah sistem kontrol VM mode *pressure-control* menggunakan metode *PI controller* untuk mengatur *flow* inspirasi pada ICU ventilator LIPI, yang mana sistem akan membaca parameter *compliance* dan *resistance*, lalu menghitung nilai *flow* inspirasi yang harus diberikan oleh sistem. Penelitian ini berjudul "Rancang Bangun Pengendali Tekanan Pada Sistem Inspirasi ICU Ventilator".

1.2. State of The Art

State of the art dari penelitian ini yaitu 7 penelitian referensi yang dijadikan sumber utama dasar penelitian dalam sistem *control* dan beberapa penelitian referensi yang dijadikan sumber utama penelitian Mechanical Ventilator. *State of the art* dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1. 1 *State of the art*

Judul	Peneliti	Tahun
<i>ICU and Ventilator Mortality Among Critically Ill Adults With</i>	Auld, S.C., Caridi-Scheible, M., Blum, J.M., Robichaux, C., Kraft, Jacob, T.	2020

Judul	Peneliti	Tahun
<i>Coronavirus Disease 2019</i>		
<i>Duration Of Ventilation Support Usage And Development Of Ventilator-Associated Pneumonia: When Is The Most Time At Risk?,</i>	R. I. Alfaray, M. I. Mahfud, and R. S. Faizun,	2019
<i>Modes of mechanical ventilation</i>	E. Mireles-Cabodevila, A. Duggal, and R. L. Chatburn,	2018
<i>Virtual Patient Modeling and Prediction Validation for Pressure Controlled Mechanical Ventilation</i>	S. E. Morton <i>et al.</i> ,	2020
<i>Modelling and pressure control of the expiratory cycle for mechanical ventilation systems</i>	D. García-Violini, N. Faedo, and E. Cafiero,	2022
<i>Adaptive Control of a Proportional Flow Valve for Critical Care Ventilators,</i>	M. Borrello,	2018
<i>Pressure and Volume Control of a Non-invasive Mechanical Ventilator: A PI and LQR Approach,</i>	S. Morales <i>et al.</i> ,	2021

Penelitian mengenai VM (ventilator mekanik) telah banyak dilakukan sebelumnya seperti yang tertera pada Tabel 1.1, baik penelitian mengenai pemodelan, mode-modanya dan dampaknya terhadap perkembangan virus *COVID-19*. Penelitian-penelitian ini diharapkan dapat menjadi inspirasi dan referensi untuk menunjang proses penelitian rancang bangun pengendali tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator.

Artikel [1] memberikan informasi terkait kematian akibat virus *COVID-19* di ruangan *ICU* dan menggunakan ventilator. Sampai tulisan pada artikel [1] dibuat diperkirakan 15-20% pasien yang membutuhkan rawat inap dan 3-5% memerlukan perawatan kritis. Tingkat kematian meningkat signifikan berkisar 50-97% pada pasien yang membutuhkan ventilator.

Artikel [2] menjelaskan pengertian mengenai ventilator serta menjelaskan hubungan antara lama penggunaan ventilator terhadap gangguan *Ventilator Associated Pneumonia (VAP)*. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 106 pasien, setelah penggunaan ventilator untuk selang waktu tertentu terdapat 41 pasien yang menderita *VAP* dan 65 pasien yang tidak menderita *VAP*.

Artikel [7] menjelaskan informasi mengenai mode-mode pada ventilator mekanik (VM) yaitu mode *volume-control*, *pressure-control*, *assisted-control*, *synchronized intermittent mandatory*, dan *pressure-support*. Artikel juga menjelaskan berbagai model ventilator mekanik yang ada, seperti : Dragger Medical (model perseus A500, Apollo), GE healthcare, Medec, dan lain sebagainya. Artikel menjelaskan mode-mode, dan spesifikasi kinerja ventilator yang ada pada berbagai model ventilator mekanik diatas.

Artikel [8] memaparkan sistem pemodelan pada paru-paru untuk pengendalian tekanan. Artikel ini juga menjelaskan penurunan rumus untuk mencari *flow* inspirasi yang diperlukan sistem untuk mencapai *pressure* inspirasi tertentu. Artikel ini menjelaskan variable yang tidak pasti pada saat pernapasan yaitu *compliance* dan *resistance* yang dimodelkan dengan *lung*.

Artikel [3] menjelaskan parameter-parameter pernapasan dan ventilator. Artikel ini menjelaskan mengenai pengertian parameter *flow*, parameter

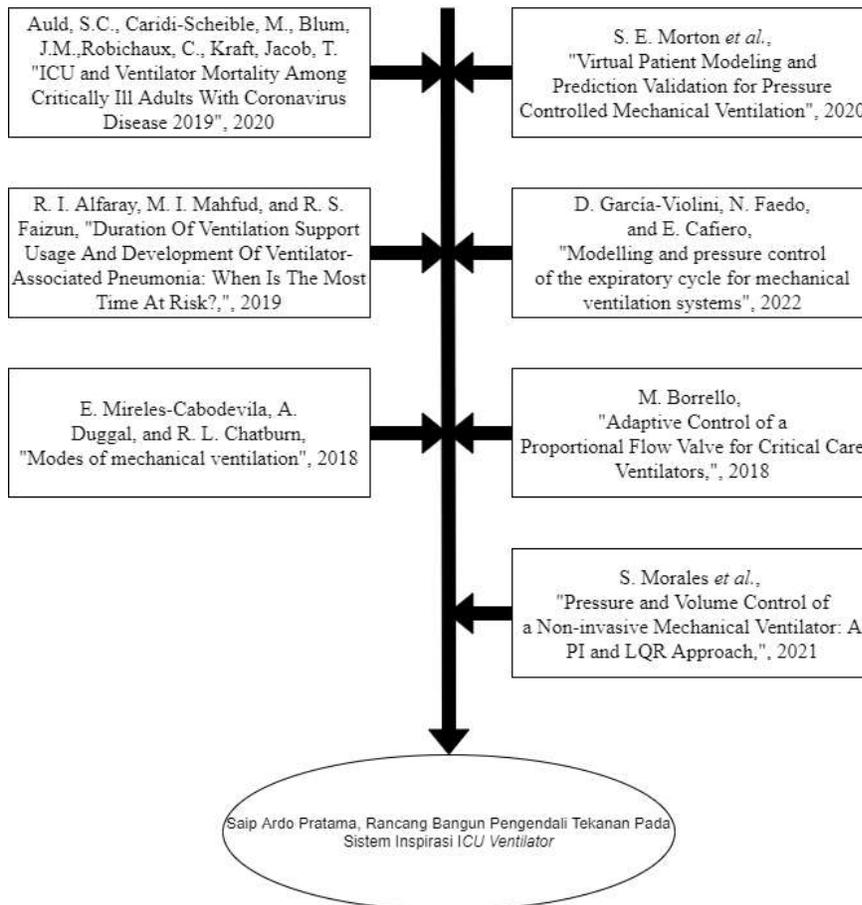
compliance, *resistance*, waktu inspirasi, dan lain sebagainya. Artikel ini juga menyajikan sistem kendali *PID* untuk sistem kendali tekanan.

Artikel [5] memaparkan metode selain kendali *PI* untuk mengendalikan tekanan, dan volume pada ventilator. Artikel ini menyajikan metode *Model Reference Adaptive Control (MRAC)*, yang mana pada kendali tersebut ventilator digunakan untuk mode-mode yang lebih lanjut.

Artikel [6] memaparkan pemodelan sistem kendali *PI* dan *LQR* pada sistem kendali *pressure* dan volume. Artikel ini menjelaskan tahapan pemodelan sistem kendali *PI* dan *LQR* untuk proportional flow valve, dan hasil uji kendali *PI* dan *LQR*. Artikel ini juga menjelaskan perbandingan penggunaan kendali *PI* dan kendali *LQR*.

Secara garis besar referensi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.





Gambar 1. 1 *State of the art*

Berdasarkan Gambar 1.1 diatas telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai sistem inspirasi *pressure-control* pada ventilator mekanik (VM). Pada penelitian yang akan dilakukan ini, juga akan membahas mengenai sistem inspirasi *pressure-control* pada ICU ventilator namun dengan metode kendali yang berbeda, yaitu kendali *PI* untuk mengendalikan *flow* yang diberikan oleh sistem, namun disertai dengan analisis parameter pernapasan *compliance* dan *resistance* untuk menentukan *flow* inspirasi yang harus diberikan oleh sistem. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Pengendali Tekanan Pada Sistem Inspirasi ICU Ventilator".

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Bagaimana rancang bangun pengendalian tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator?
2. Bagaimana kinerja dari rancang bangun pengendalian tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Merancang dan membangun pengendalian tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator.
2. Menentukan parameter K_p dan K_i yang tepat untuk mengendalikan *flow* inspirasi berbasis PI dan menentukan *flow* inspirasi *setpoint* berdasarkan *resistance* dan *compliance* yang tepat untuk mengendalikan tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator.

1.4.2. Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat bagi Bidang Akademis
Menambah dan memperkaya khazanah suatu bidang ilmu pengetahuan sistem kendali serta metode kendali PI yang dapat diterapkan pada pengendalian sistem inspirasi *pressure-control ICU* ventilator.
2. Manfaat Praktis
Dengan menggunakan kendali PI pada *proportional flow control valve* dan perhitungan *flow* inspirasi *setpoint* yang tepat diharapkan akan memberikan pengendalian yang mudah, cepat dan aktual antara *pressure setpoint* dengan nilai sebenarnya pada *ICU* ventilator.

1.5. Batasan Masalah

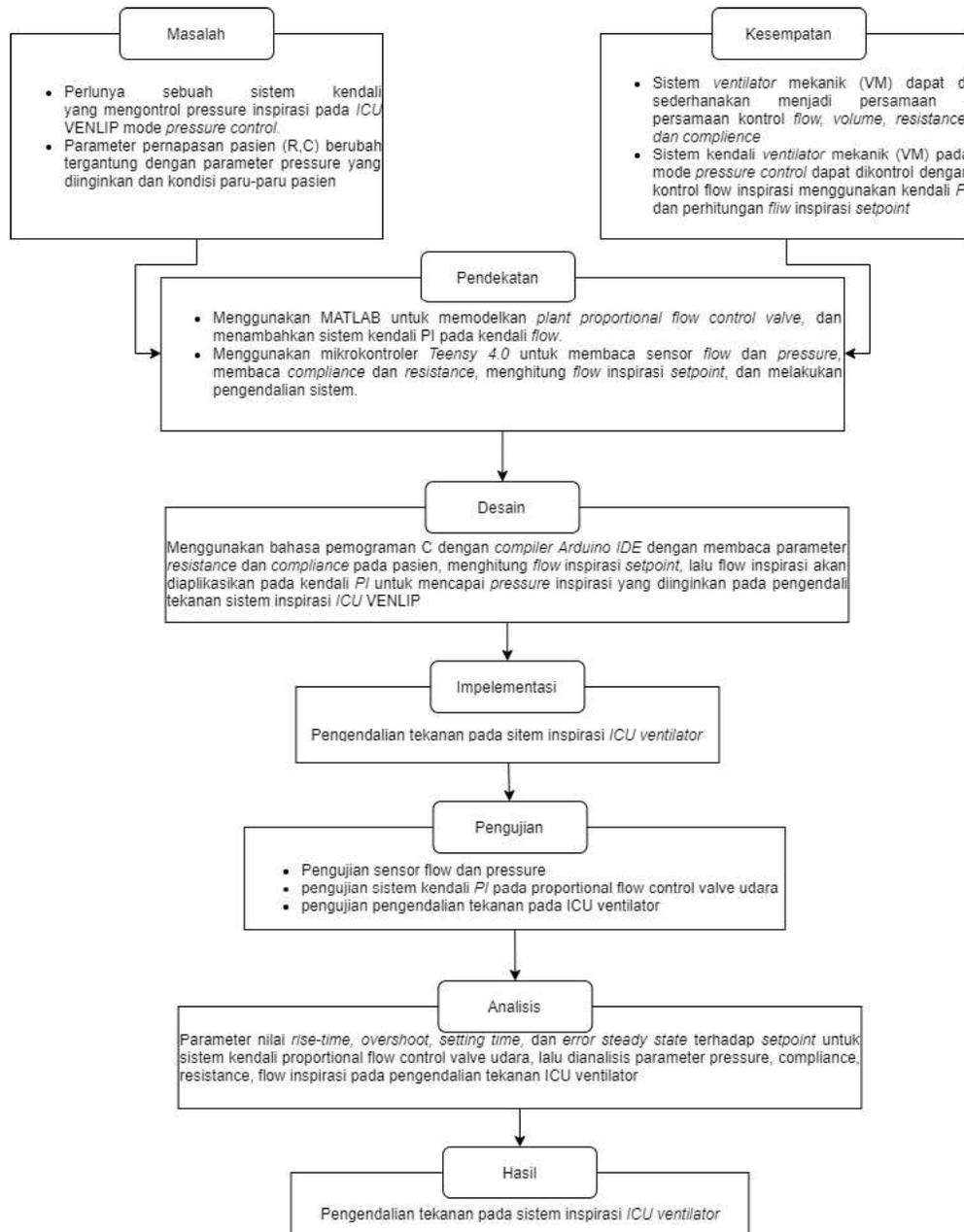
Penelitian mengenai pengendalian tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator berbasis PI ini diperlukan batasan masalah untuk memperoleh hasil

penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut batasan masalah pada penelitian ini:

1. Tekanan yang dikendalikan pada penelitian yaitu kendali tekanan pada sistem inspirasi, sedangkan tekanan pada sistem ekspirasi diatur menggunakan *pressure regulation valve* yang sudah ditentukan outputannya.
2. Aplikasi ICU_VENTILATOR.apk pada komputer *interface* didesain oleh peneliti Badan Riset dan Inovasi Nasional diluar penelitian yang dilakukan.
3. Pembacaan dan pengendalian sistem dilakukan menggunakan mikrokontroler Teensy 4.0.
4. MATLAB digunakan untuk menentukan model *plant proportional flow control valve*, menentukan desain sistem kendali, simulasi, dan analisis pengujian sistem.
5. Menentukan model *plant proportional flow control valve* udara dilakukan menggunakan *system identification tools* MATLAB
6. Menentukan parameter kendali konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i) pada *plant proportional flow control valve* udara dilakukan menggunakan *control system designer tools* MATLAB, dengan cara *try and error*.
7. Simulasi sistem kendali pada *software* dilakukan pada *simulink* MATLAB
8. Parameter FIO_2 (*Fraction of inspired oxygen*) yang digunakan adalah 21 % (diasumsikan sebagai udara bebas), sehingga *proportional flow control valve* yang dioperasikan hanya 1 buah yaitu *valve* udara sedangkan *valve* oksigen tidak pakai.

1.6. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir dari penelitian ini adalah seperti yang tertera pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 kerangka berfikir penelitian

Kerangka berfikir pada penelitian yang dilakukan tertera pada Gambar 1.2, kerangka berfikir terdiri dari masalah, kesempatan, pendekatan, desain, implementasi, pengujian, analisis, dan hasil. Terdapat 2 masalah yang akan diselesaikan pada penelitian yaitu diperlukan sistem kendali yang mengontrol tekanan pada ICU ventilator, lalu pada pengendalian tekanan, parameter

compliance berubah ketika *pressure inputannya* berubah. Terdapat 2 kesempatan pada penelitian yaitu sistem ventilator dapat disederhanakan menjadi persamaan-persamaan tertentu, dan sistem *pressure control* dapat dikendalikan dengan mengendalikan *flow* inspirasi pada sistem, selanjutnya terdapat pendekatan yang dilakukan dalam penelitian. Hasil pendekatan penelitian didapatkan desain penelitian yang diimplementasikan dan diuji serta analisis sehingga menghasilkan penelitian pengendalian tekanan pada sistem inspirasi *ICU* ventilator.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini, sistematika penulisan terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, *state of the art*, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini membahas mengenai teori hal-hal pokok sebelum melakukan sebuah penelitian seperti dasar teori dan pandangan umum terkait penelitian.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan metode dan tahapan – tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini menjelaskan perancangan sistem dengan rinci, baik perancangan *pneumatic*, elektrik, sensor, kalibrasi sensor, perancangan *PI*, dan perancangan analisis parameter pernapasan. Pada bab ini juga berisi implementasi sistem dari *pneumatic* sistem hingga elektrik sistem

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini berisi tentang pengujian mengenai sistem yang dibuat beserta dengan analisis dari hasil kinerja sistem untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian

BAB VI PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang bagian penutup dari penelitian, yaitu kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.