

PROTOTYPE VENTILATOR PORTABEL BERBASIS KENDALI LOGIKA FUZZY UNTUK FRACTION OF INSPIRED OXYGEN (FiO₂)

Tesis S-2

Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik
Program Studi Magister Teknik Elektro



Diajukan oleh
Hadi Pranoto
20601800017

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2022**

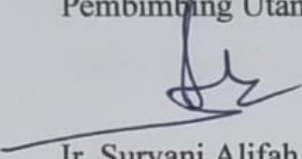
TESIS

PROTOTIPE VENTILATOR PORTABEL BERBASIS KENDALI LOGIKA FUZZY UNTUK FRACTION OF INSPIRED OXYGEN (FiO₂)

Yang disiapkan dan disusun oleh
Hadi Pranoto
20601800017

Susunan Dewan Penguji

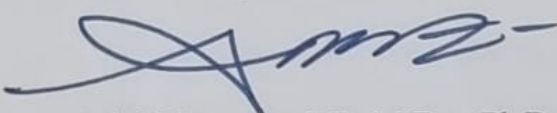
Pembimbing Utama


Ir. Suryani Alifah M.T., Ph.D.
NIDN. 0625036901

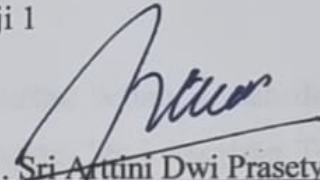
Ketua Penguji


Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301

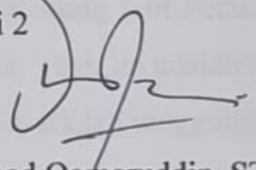
Pembimbing Pendamping


Arief Marwanto S.T., M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0628097501

Penguji 1

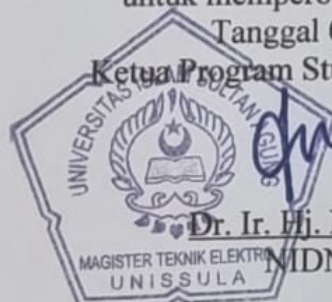

Dr. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si.
NIDN. 0620026501

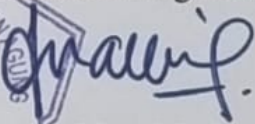
Penguji 2


Muhamad Qomaruddin, ST, M.Sc., Ph.D.
NIDN. 0631057101

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik
Tanggal 07 September 2022

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro




Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, MT.
NIDN. 0015117601

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hadi Pranoto
NIM : 20601800017
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan judul:

“Prototype Ventilator Portabel Berbasis Sistem Kendali Logika Fuzzy Untuk Fraction Of Inspired Oxygen (FiO_2)”

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 10 Agustus 2022

Penulis



Hadi Pranoto
20601800017

PRAKATA

Alhamdulillah, puji dan syukur yang sedalam-dalamnya penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul **“Prototype Ventilator Berbasis Kendali Logika Fuzzy Logic Untuk Presentase Oksigen Dalam Udara Inspirasi (FiO₂)”**.

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mencapai derajat Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA).

Di dalam proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan tepat waktu. Oleh karena itu, ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA).
2. Bapak/Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA).
3. Ibu Ir. Suryani Alifah, MT, PhD. selaku Dosen Pembimbing
4. Bapak Arief Marwanto, ST., M. Eng, Ph. D. selaku Dosen Pembimbing.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran beserta kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, 8 September 2022

Hadi Pranoto

ABSTRAK

Hasil beberapa penelitian untuk ventilator portabel menyatakan bahwa sulitnya pengaturan kadar oksigen inspirasi (FiO_2) yang sesuai dengan yang dibutuhkan secara langsung disaat pelaksanaan terapi oksigen. Beberapa ventilator portabel tidak dapat mengatur nilai FiO_2 , sehingga ventilator bekerja dengan nilai FiO_2 yang tetap.

Untuk mengatasi hal tersebut maka oksigen medis dengan kadar 100% diturunkan kadarnya dengan cara dicampur dengan udara bebas dengan kandungan oksigen sekitar 40%. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan sebuah venturi dengan besar/luas lubang yang bisa diatur dengan menggunakan piringan bercelah diputar oleh motor DC.

Metoda pengendalian putaran menggunakan logika fuzzy Mamdani. Hasil pengujian skala lab menunjukan bahwa sistem kendali logika fuzzy mampu mengendalikan tekanan rata-rata error sebesar 2.1%, lebih baik jika dibandingkan dengan metoda pengendalian on-off, yaitu sebesar 14,5%. Dengan demikian metode logika fuzzy mampu meningkatkan akurasi FiO_2 pada sebuah ventilator portabel.

Kata kunci: ventilator, fuzzy logic, FiO_2

ABSTRAC

The results of several studies for portable ventilators state that it is difficult to regulate the level of inspired oxygen (FiO_2) in accordance with what is needed directly when carrying out oxygen therapy. Some portable ventilators cannot set the FiO_2 value, so the ventilator works with a fixed FiO_2 value.

To overcome this, medical oxygen with 100% levels is reduced by mixing it with free air with an oxygen content of about 40%. Mixing is done by using a venturi with a large / area of the hole that can be adjusted by using a slit disk rotated by a DC motor.

The rotation control method uses Mamdani fuzzy logic. Lab-scale test results show that the fuzzy logic control system is able to control the average pressure error of 2.1%, better than the on-off control method, which is 14.5%. Thus, the fuzzy logic method is able to increase the accuracy of FiO_2 on a portable ventilator.

Keywords: ventilator, fuzzy logic, FiO_2

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
HALAMAN PERNYATAAM	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Keaslian Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Kontribusi Tesis	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Landasan Teori	7
2.2.1. Ventilator Mekanik	7
2.2.2. FiO_2 (Konsentrasi O_2 Onspirasi)	7
2.2.3. Teknik Pemberian Terapi Oksigen (O_2)	8
2.2.4. Venturi Pencampur Oksigen	9
2.2.5. Logika Fuzzy	10
2.2.6. Motor DC	19
2.2.7. Sensor Oksigen	20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian	21
3.2. Sistem Model Penelitian	21
3.2.1. Diagram Blok Sistem Pengendalian	22
3.2.2. Rancangan Rangkaian Elektronik	27
3.2.3. Rancangan Sistem Kendali Fuzzy Logic	27
3.2.3.1. Identifikasi Variabel Input	27
3.2.3.2. Identifikasi Variabel Output	29
3.2.3.3. Fuzzifikasi	29
3.2.3.4. Aturan Fuzzy	30
3.2.3.5. Defuzzifikasi	31
3.2.4. Alat dan Bahan	33
3.2.5. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Pengujian Pengendalian Kadar Oksigen FiO_2	35
4.1.1. Pengujian Pengendalian FiO_2 Metoda On-Off	35
4.1.2. Pengujian Pengendalian FiO_2 Metoda Fuzzy	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
4.1. Kesimpulan	40
4.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pencampuran udara karena perbedaan tekanan	9
Gambar 2.2 Azas bernoulli	9
Gambar 2.3 Prinsip kerja dari logika fuzzy	11
Gambar 2.4 Kurva Linear Naik	14
Gambar 2.5 Kurva Linear Turun	14
Gambar 2.6 Representasi Kurva Segitiga	15
Gambar 2.7 Kurva Trapezium	16
Gambar 3.1 Sistem model pengendali konsentrasi oksigen ventilator	23
Gambar 3.2 Venturi Pencampur Oksigen	24
Gambar 3.3 Perancangan Venturi Pencampur Oksigen Dengan Udara Bebas	24
Gambar 3.4 Rangkaian Elektronik	27
Gambar 3.5 Desain Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Variabel Error	28
Gambar 3.6 Desain Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Variabel Perubahan Error	28
Gambar 3.7 Desain Fungsi Keanggotaan Seigitga Pada Variabel Output Buka Katup Udara Bebas	29
Gambar 3.8 Daerah Hasil Komposisi	32
Gambar 4.1 Venturi Pengatur Kadar Oksigen	35

Gambar 4.2 Grafik penyimpangan antara set poin dan nilai pembacaan pada alat kalibrasi	37
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Pengendalian FIO ₂ metoda Fuzzy	38
Gambar 4.4 Pengujian dengan set poin 80	39
Gambar 4.5 Pengujian dengan set poin 100	39



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bentuk Kanonikal untuk sebuah sistem fuzzy	17
Tabel 3.1 Inferensi Mamdani untuk pengendalian bukaan katup udara bebas ...	31
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengendalian FIO ₂ metoda on-off	36
Tabel 4.2 Hasil pengujian pengendalian FIO ₂ metoda fuzzy	38



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Infeksi yang disebabkan oleh corona virus jenis baru, yakni: severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2), merupakan salah satu permasalahan kesehatan global [1]. Sampai saat ini, penularan SARS- CoV-2 diyakini melalui droplets yang dikeluarkan ketika seseorang yang terinfeksi bersin atau batuk dan kontak. Droplets tersebut kemudian dapat terhirup secara langsung melalui saluran pernapasan atau masuk ke saluran napas melalui tangan yang terpapar virus karena menyentuh permukaan benda yang terdapat virus [2], [3]. Virus corona merupakan keluarga besar virus yang menyebabkan infeksi saluran pernapasan atas ringan hingga sedang, seperti penyakit flu. Banyak orang terinfeksi virus ini, setidaknya satu kali dalam hidupnya [4]. Virus Corona adalah virus yang menyerang sistem pernapasan. Penyakit karena infeksi virus ini disebut COVID-19. Virus Corona bisa menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan, pneumonia akut, sampai kematian [4]. Ventilator merupakan salah satu alat kesehatan (alkes) penting dalam penanganan pasien virus corona atau Covid-19 yang kondisinya parah [5].

Pada kondisi normal, manusia mampu menghirup udara atmosfer yang mengandung sebanyak 21% oksigen (O_2) dengan tekanan parsial sebesar 150 mmHg melalui sistem respirasi yang selanjutnya ketika sampai di alveoli tekanan parsial-nya akan turun menjadi 103 mmHg akibat pengaruh tekanan uap air yang terjadi pada jalan napas [6], [7]. Sebagian besar reaksi biokimia tubuh bergantung pada ketersediaan oksigen. Suplai oksigen ke jaringan bergantung dari banyak faktor seperti ventilasi, difusi melewati membran alveolar capillary, hemoglobin, cardiac output, dan perfusi jaringan. Terapi oksigen diperlukan jika terjadi kegagalan nafas pada banyak kondisi seperti asma berat, bronkitis kronik, pneumonia, dan juga pada kasus-kasus neurologi terutama pada pasien tidak sadar [8].

Ventilator mekanik merupakan alat bantu pernapasan bertekanan positif atau negatif yang menghasilkan aliran udara terkontrol pada jalan napas pasien sehingga mampu mempertahankan ventilasi dan pemberian oksigen dalam jangka waktu lama. Alat bantu napas mekanik berperan sebagai alat pengganti fungsi pompa dada yang mengalami kelelahan atau kegagalan [9].

Ventilator umumnya digunakan untuk membantu proses pernapasan pada pasien yang tidak dapat bernapas sendiri. Beberapa kondisi atau penyakit yang membuat pasien membutuhkan mesin ventilator adalah [10]:

- Gangguan paru-paru berat, seperti gagal napas, ARDS (acute respiratory distress syndrome), asma berat, pneumonia, PPOK (penyakit paru obstruktif kronis), dan pembengkakan paru (edema paru).
- Gangguan sistem saraf yang menyebabkan kelemahan otot pernapasan, koma, atau stroke.
- Gangguan pada jantung, seperti gagal jantung, serangan jantung, atau henti jantung.
- Keracunan karbon dioksida.
- Gangguan keseimbangan asam basa, yaitu asidosis dan alkalosis.
- Cedera berat, misalnya luka bakar luas dan cedera kepala berat.
- Syok.
- Dalam pengaruh pembiusan total, sehingga kehilangan kemampuan bernapas, misalnya pada pasien yang menjalani operasi [11].

Ventilator mekanik dapat pula digunakan untuk terapi pasien dengan penyakit asma berat [11], [12].

Sulitnya mengatur konsentrasi oksigen dalam udara pada sebuah ventilator mengakibatkan persediaan ventilator yang memiliki mode pengaturan FiO_2 terbatas.

Karena pentingnya terapi oksigen untuk beberapa terapi pengobatan, sedikitnya ketersediaan serta mahalnya ventilator yang dapat mengatur kadar oksigen dalam udara maka pada penelitian ini akan dirancang sebuah ventilator mekanik portabel relatif murah, yang mampu mengendalikan nilai konsentrasi oksigen inspirasi (FiO_2) yang akurat dan stabil sebagai ventilator alternatif yang

dapat digunakan di pelayanan medis umum selain di ruang ICU sebuah rumah sakit besar. Salah satu ventilator portable yang diteliti tidak dapat mengatur kadar oksigen yang masuk ke dalam paru-paru, karena pencampuran udara yang dihasilkan adalah menggunakan venturi dengan lubang yang tetap. Sehingga dalam penelitian ini akan ditambahkan sebuah katup yang dapat mengatur besarnya udara ruang yang dicampurkan dengan oksigen dengan konsentrasi 100% medis dari tabung oksigen medis. Katup tersebut dikendalikan dengan metoda logika fuzzy agar didapat nilai FiO_2 yang sesuai dengan yang diharapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dibuat rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membuat kendali kadar oksigen ventilator mekanik?
- b. Bagaimana algoritma Fuzzy Logic Metode Mamdani diterapkan untuk kendali ventilator mekanik?

1.3 Keaslian Penelitian

Untuk menguji keaslian penelitian, penulis mempelajari beberapa jurnal yang terdapat pada Tabel 1.1.

Penelitian yang dilakukan ini berbeda dengan semua penelitian pada Tabel 1.1. Semua penelitian pada tabel 1.1 tidak membahas mengenai pengaturan konsentrasi oksigen dalam udara yang akan disalurkan ke pasien tetapi membahas mengenai pengaturan volume dan/atau tekanan udara saja.

Tabel 1.1. Penelitian-penelitian ventilator

No	Judul	Author	Metode	Kelebihan	Kekurangan
1	<i>Design And Prototyping Of A Low-Cost Portable Mechanical Ventilator [13]</i>	A. Mohsen Al Hussein, H. Ju Lee J. Negrete, S. Powelson, A. Tepper Servi, A. H. Slocum	Ventilator menggunakan ambu bag ditekan lengan <i>cam</i> berputar	Dapat beroperasi secara hening	Tidak ada kendali pintar
2	Desain Dan Prototipe Portable Mechanical Ventilator Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Pasien Covid-19 [14]	R. Hidayadi	Ventilator berbasis fuzzy menggunakan ambubag	Dapat beroperasi secara hening	Tidak bisa untuk CPAP
3	Rancang Bangun Alat Bantu Pernafasan Ventilator Berbasis Wireless Sensor Network [15]	A. Dwi Oktavian	Otomasi ventilator dan pemantauan ventilator melalui smart phone	Pemantauan jarak jauh	Tidak membuat prototipe
4	Ventilator/Respirator Hardware And Software Design Specification [17]	F. Semiconductor Inc	Ventilator menggunakan kompresor udara dengan kendali PID		
5	Control System Design For A Continuous Positive Airway Pressure Ventilator	Z. L. Chen, Z. Y. Hu, H. De Dai	Ventilator dengan mode CPAP menggunakan blower dengan sistem kendali PID	Tekanan terkendali dengan baik	
6	Perancangan Prototype Ventilator Mekanik Dengan Teknologi IOT (Internet Of Things) Berbasis Arduino [18]	I. S. Mubarak, S. Supriyadi, And A. Burhanudin	Ventilator dengan sistem pemantauan IoT	Pemantauan pasien jarak jauh	Tidak ada kendali pintar
	<i>A Novel Methodology For The Design Of A Portable Ventilator [19]</i>	P. Subha Hency Jose, P. Rajalakshmy, P. Manimegalai, And K. Rajasekaran	Ventilator dengan kompresor dan katup udara	Bisa untuk CPAP	Tidak ada kendali pintar
7	Prototyping Of A Cost Effective And Portable Ventilator [20]	J. M. Ghafoor, M. Naseem, F. Ilyas, M. S. Sarfaraz, M. I. Ali, And A. Ejaz	Ventilator menggunakan ambu bag yang ditekan lengan mekanik		Tidak bisa untuk CPAP
8	Desain Mekanik Untuk Ventilator Sistem Kendali Adaptif [5]	Suwarsono	Desain ventilator kendali adaptif	Kendali lebih baik	Tidak dibuat prototipenya

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan kendali kadar oksigen dalam sebuah ventilator mekanik portabel.
2. Menerapkan logika fuzzy untuk mengendalikan kadar oksigen dalam udara (FiO_2) sesuai dengan set point yang diinginkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Di samping merupakan sebuah sumbangan bagi ilmu pengetahuan, pembuatan prototype ini diharapkan dapat ikut memberikan solusi bagi para tenaga medis dalam memberikan perawatan pasien-pasien yang harus diterapi dengan cara terapi oksigen. Khususnya untuk pasien dalam kondisi darurat yang terkena serangan penyakit paru-paru. Pembuatan prototype menggunakan komponen bahan dan komponen elektronik yang relatif banyak tersedia dipasaran lokal dengan harga yang relatif murah.

1.6 Kontribusi Tesis

Prototype ventilator mekanik dengan sistem kontrol Fuzzy Logic untuk mengendalikan nilai FIO_2 yang dirancang dapat diproduksi untuk menjadi sebuah alat yang digunakan untuk pasien yang membutuhkan terapi oksigen. Nilai FIO_2 dapat diatur sesuai dengan set point yang diatur secara mudah oleh tenaga medis yang menggunakannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pembuatan ventilator mekanik yang menggunakan ambubag sebagai sumber udara. Sebuah lengan penggerak CAM, digerakkan oleh motor listrik DC [13].

Prototype ventilator portable yang telah menerapkan logika fuzzy metode Mamdani untuk mengendalikan lengan mekanik yang menekan alat Bag-Valve Mask (BVM). Motor DC sebagai pengendali lengan mekanik berdasarkan PWM (Pulse Width Modulation) [14].

Sistem pemantau otomasi ventilator secara real time berbasis Wireless Sensor Network. Sensor pernapasan/menit untuk mengukur tekanan udara yang masuk ke alat ventilator, Modul ESP8266 sebagai kontrolernya [15].

Sebuah prototipe dibangun dengan memanfaatkan impeller sentrifugal untuk membuat aliran udara. Sakelar mekanis yang peka terhadap tekanan terhubung ke motor DC digunakan untuk mengatur tekanan [16].

Ventilator CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) menggunakan motor/blower CPAP. Sistem menggunakan sistem kontrol proporsional-integral-derivatif (PID). Metode Ziegler dan Nichols digunakan untuk menyetel parameter kontroler PID [17].

Perancangan Prototype Ventilator dengan Teknologi IOT (Internet of Things) berbasis arduino. Sistem menitikberatkan kepada sistem monitoring kadar oksigen dalam darah pasien [18].

Rancangan ventilator menggunakan sebuah compressor dan katup udara (valve) untuk mengontrol besarnya flow udara [19].

Prototype ventilator portable yang menggunakan pinion-rack sebagai lengan mekanik untuk menekan alat Bag-Valve Mask (BVM). Ambu bag menjadi sumber tekanan udara sebagai fungsi utama dari ventilator [20].

Desain mekanik untuk ventilator sistem kendali adaptif dengan tanpa membuat prototype-nya dan tidak menjelaskan secara spesifik sistem kontrol apa yang digunakannya [5].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Ventilator Mekanik

Ventilasi mekanik mempunyai tujuan untuk mencapai oksigen arteri dan kadar karbondioksida (CO_2) yang normal, meminimalkan usaha napas yang berat dan mengoptimalkan rasa nyaman pada pasien [21]. Pertukaran gas pada ventilasi mekanik dipertahankan dengan meminimumkan kerusakan paru (kerusakan alveolar, edema, inflamasi, dan fibrosis paru), gangguan hemodinamik, dan efek samping lain seperti kerusakan syaraf. Ventilator menginduksi kerusakan paru dengan barotrauma (tekanan yang tinggi), volutrauma (volume yang besar), atelektrauma dan biotrauma (meningkatkan inflamasi) [21].

Tujuan di atas dapat dicapai dengan mengatur parameter pada ventilator [21]:

1. PEEP (Positive End Expiratory Pressure)
2. PIP (Peak Inspiratory Pressure)
3. Ventilator Rate
4. Inspiratory to Expiratory Ratio (I:E)
5. FiO_2 (konsentrasi O_2 inspirasi)
6. Flow rate.

2.2.2 FiO_2 (Konsentrasi O_2 Inspirasi)

Oksigen harus dapat masuk ke jaringan, ketika dikonsumsi selama metabolisme aerobik. Hipoksemia arteri seringkali didefinisikan sebagai PaO_2 rendah (tekanan parsial oksigen pada darah arteri). Definisi untuk hipoksemia arteri ($\text{PaO}_2 < 60 \text{ mmHg}$) umum digunakan, namun demikian, hal ini sepertinya tidak diperlukan. Terkadang, hipoksemia arteri digunakan untuk menggambarkan PaO_2

yang rendah dibandingkan dengan yang diperkirakan berdasarkan pada konsentrasi oksigen yang terinspirasi (FiO_2) [22].

2.2.3 Teknik Pemberian Terapi Oksigen (O_2)

Sangat banyak teknik dan model alat yang dapat digunakan dalam terapi oksigen (O_2) yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pemilihan teknik dan alat yang akan digunakan sangat ditentukan oleh kondisi pasien yang akan diberikan terapi oksigen (O_2) [6].

Teknik dan alat yang akan digunakan dalam pemberian terapi oksigen (O_2) hendaknya memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Mampu mengatur konsentrasi atau fraksi oksigen (O_2) (FiO_2) udara inspirasi.
- b. Tidak menyebabkan akumulasi karbon dioksida (CO_2).
- c. Tahanan terhadap pernapasan minimal.
- d. Irit dan efisien dalam penggunaan oksigen (O_2).
- e. Diterima dan nyaman digunakan oleh pasien [6].

Cara pemberian terapi oksigen (O_2) dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Sistem arus rendah
2. Sistem arus tinggi.

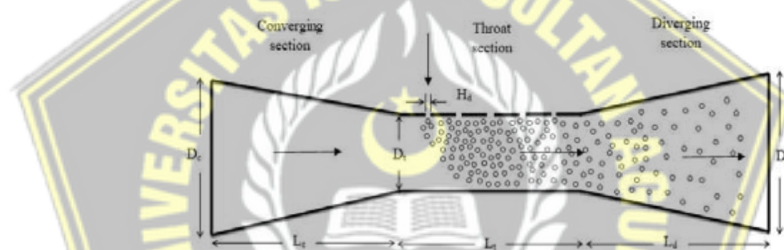
Pada sistem arus rendah, sebagian dari volume tidal berasal dari udara kamar. Alat memberikan fraksi oksigen (O_2) (FiO_2) 21%-90%, tergantung dari aliran gas oksigen (O_2) dan tambahan asesoris seperti kantong penampung. Alat-alat yang umum digunakan dalam sistem ini adalah: nasal kanul, nasal kateter, sungkup muka tanpa atau dengan kantong penampung dan oksigen (O_2) transtrakeal. Alat ini digunakan pada pasien dengan kondisi stabil, volume tidalnya berkisar antara 300-700 ml pada orang dewasa dan pola napasnya teratur.

Pada sistem arus tinggi, adapun alat yang digunakan yaitu sungkup venturi yang mempunyai kemampuan menarik udara kamar pada perbandingan tetap

dengan aliran oksigen sehingga mampu memberikan aliran total gas yang tinggi dengan fraksi oksigen (O_2) (FiO_2) yang tetap. Keuntungan dari alat ini adalah fraksi oksigen (O_2) (FiO_2) yang diberikan stabil serta mampu mengendalikan suhu dan humidifikasi udara inspirasi sedangkan kelemahannya adalah alat ini mahal, mengganti seluruh alat apabila ingin mengubah fraksi oksigen (O_2) (FiO_2) dan tidak nyaman bagi pasien [6].

2.2.4 Venturi Pencampur Oksigen

Proses pencampuran oksigen dapat dilakukan dengan menggunakan azas kontinuitas dan persamaan Bernoulli[23].



Gambar 2.1. Proses pencampuran udara karena perbedaan tekanan [23].



Gambar 2.2. Azas Bernoulli [23].

Keterangan:

P1 : Tekanan 1

A1 : Luas penampang 1

V1 : Volume 1

P2 : Tekanan 2

A2 : Luas penampang 2

V2 : Volume 2

P3 : Tekanan udara bebas

Banyaknya masa yang masuk dan masa yang keluar adalah sama [24], [25]

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{time}} \dots\dots\dots [2.1]$$

Volume fluida yang melewati penampang pipa dalam selang waktu tertentu (Δt) dapat dinyatakan sebagai hasil kali luas penampang pipa (A) dikalikan jarak yang ditempuh fluida (Δx) [24], [25]:

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{time}} = \frac{A \times \Delta x}{\Delta t} = AV \dots\dots\dots [2.2]$$

Di mana ($\Delta x/\Delta t$) ada hasil substitusi dari kecepatan fluida V . Oleh karena itu, kita dapat menghitung laju aliran volumetrik fluida hanya dengan mengukur kecepatan fluida. Pengukuran kecepatan dapat dicapai dengan menerapkan konsep yang dibahas di atas pada pipa dengan penampang yang bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) \dots\dots\dots [2.3]$$

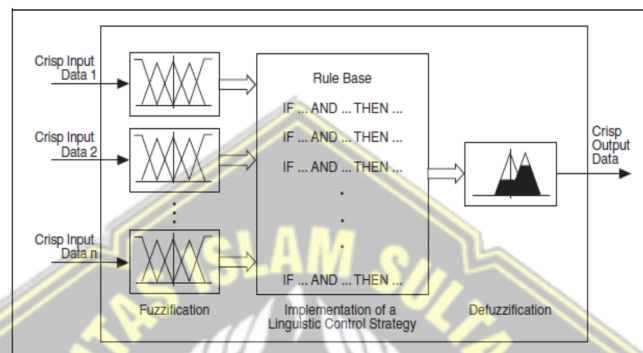
$$\rho A_1 V_1 \Delta t = \rho A_2 V_2 \Delta t \dots\dots\dots [2.4]$$

2.2.5 Logika Fuzzy

Logika fuzzy telah banyak diterapkan dalam bidang kontrol otomatis dan industri, diantaranya digunakan sebagai pengontrol pemrosesan citra, kendali motor, kendali robot, kendali pesawat terbang dan lain-lain. Telah banyak aplikasi sistem kontrol dengan menggunakan sistem fuzzy, karena proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan [26].

Prinsip kerja dari logika fuzzy diperlihatkan pada Gambar 2.3. Input yang memiliki nilai tegas mengalami proses fuzzyfikasi. Proses fuzzyfikasi adalah proses untuk mengubah input sistem yang memiliki nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan fuzzy.

Proses selanjutnya adalah mesin inferensi, yaitu proses untuk mengubah input fuzzy menjadi output fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan (IF-THEN Rules) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan fuzzy. Tahap selanjutnya adalah Defuzzifikasi, yaitu mengubah output fuzzy yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzifikasi [27].



Gambar 2.3 Prinsip kerja dari logika fuzzy[26]

Keterangan Gambar 2.3:

1. Crisp Input data
Data berbentuk crisp (tegas) merupakan bentuk data yang merepresentasikan data yang pasti. Seperti dalam merepresentasikan hitam dan putih.
2. Fuzzifikasi
Proses untuk mengubah input sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan.
3. Rule Base
Proses untuk mengubah input fuzzy menjadi output fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan (IF-THEN RULES) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan fuzzy.
4. Defuzzifikasi
Mengubah output fuzzy yang diperoleh dari rule base menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzifikasi [27].

Dasar-dasar Logika Fuzzy

Istilah-istilah dalam logika fuzzy, yaitu [27]:

1. Linguistik, yaitu nama suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa alami, misalnya besar dan kecil mewakili variabel ukuran.
2. Numeris, yaitu suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, misalnya 10, 35, 40, dan sebagainya.
3. Variabel fuzzy, yaitu variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contoh : tegangan, arus, dan sebagainya.
4. Himpunan fuzzy, yaitu suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam variabel fuzzy.
5. Domain himpunan fuzzy, yaitu seluruh nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy

Operator Dasar Operasi Himpunan Fuzzy [27].

1. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad \dots\dots\dots [2.5]$$

2. Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad \dots\dots\dots [2.6]$$

3. Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu[x] \quad \dots\dots\dots [2.7]$$

Fuzzifikasi

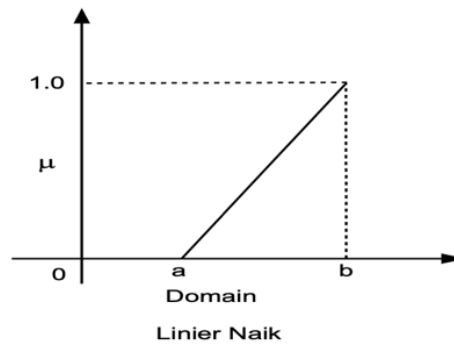
Fuzzifikasi adalah proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (crisp) menjadi fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk-bentuk himpunan fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. Hal ini dikarenakan banyak dari kuantitas yang kita pertimbangkan menjadi crisp tidak bisa dilakukan karena memiliki nilai yang tidak pasti. Jika bentuk ketidakpastian muncul karena ketidak presesisian, dan ketidakpastian, akibatnya variabel menjadi tidak jelas dan dapat dinyatakan dengan sebuah fungsi keanggotaan (membership function) [27].

Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah kurva yang mendefinisikan bagaimana setiap titik dalam ruang input dipetakan ke nilai keanggotaan (atau tingkat keanggotaan) antara 0 dan 1 [[27].

Kurva Linear

- a. Kurva Linear adalah pemetaan input ke derajat keanggotannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Pada representasi linear terdapat 2 kemungkinan, yaitu: Kurva Linier Naik dapat dilihat pada gambar 2.4 [25].



Gambar 2.4 Kurva Linear Naik

Kurva linier naik merupakan himpunan yang dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke arah kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi [27].

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots [2.8]$$

Keterangan:

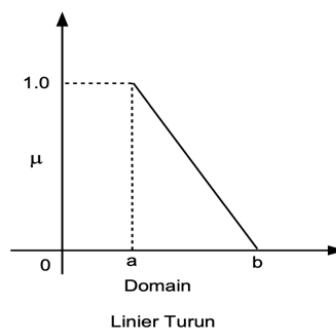
μ = fungsi keanggotaan himpunan

a = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

b. Kurva Linier Turun, dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Kurva Linear Turun

Kurva linier turun seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 merupakan himpunan dimana dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah [27].

Fungsi Keanggotaan [26]:

$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots [2.9]$$

Keterangan:

μ = fungsi keanggotaan himpunan

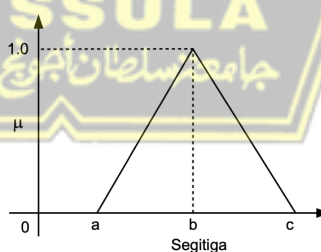
a = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

Kurva Segitiga

Pada gambar 2.6 dapat dilihat representasi dari kurva segitiga [27].



Gambar 2.6 Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga yang ditunjukkan pada gambar 2.4 pada dasarnya terbentuk dari gabungan antara 2 garis (linear).

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b < x < c \end{cases} \dots\dots\dots [2.10]$$

Keterangan:

μ = fungsi keanggotaan himpunan

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

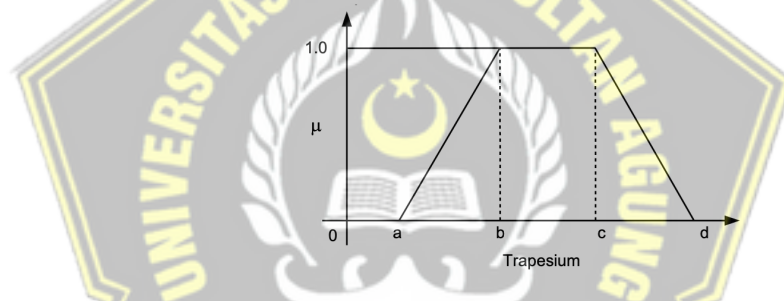
c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = Nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

Dimana parameter $\{a,b,c\}$ (dengan $a < b < c$) yang menentukan koordinat x dari ketiga sudut segitiga tersebut.

Kurva Trapesium

Pada gambar 2.7 dapat dilihat kurva trapesium [27].



Gambar 2.7 Kurva Trapesium

Kurva trapesium seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 pada dasarnya kurva trapesium adalah kurva segitiga, namun ada beberapa titik ditengah yang mempunyai nilai keanggotaan 1 [27].

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu [x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots [2.11]$$

Keterangan :

μ = fungsi keanggotaan himpunan

a = Nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = Nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

- c = Nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- d = Nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- x = Nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

Dimana, parameter $\{a,b,c,d\}$ (dengan $a < b < c < d$) yang menentukan koordinat x dari keempat sudut trapesium tersebut.

Pembentukan Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule-Based System)

Dalam ruang lingkup kecerdasan buatan (kecerdasan mesin), terdapat berbagai cara untuk mewakili ilmu pengetahuan. Cara yang paling umum digunakan untuk mewakili pengetahuan manusia adalah dengan mengubahnya kedalam bentuk bahasa alami yang dinyatakan dalam bentuk [28]:

IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent)

Bentuk pernyataan pada persamaan umumnya disebut dengan bentuk IF-THEN rules-based. Bentuk ini umumnya disebut sebagai bentuk deduktif. Ini biasanya dianggap sebuah dugaan seperti halnya kita mengetahui sebuah fakta (premis, hipotesis), kemudian ditarik kesimpulan. Tabel 2.1 menunjukkan bentuk kanonikal untuk sebuah sistem fuzzy rule-based [28].

Tabel 2.1 Bentuk Kanonikal untuk sebuah sistem fuzzy

Rule 1 :	IF <i>Condition</i> C^1 , THEN <i>restriction</i> R^1
Rule 2 :	IF <i>Condition</i> C^2 , THEN <i>restriction</i> R^2
Rule r :	IF <i>Condition</i> C^r , THEN <i>restriction</i> R^r

Jika dugaan awal lebih dari satu, maka aturan pembentukan rule-nya adalah :

$$\text{IF } x \text{ is } A^1 \text{ and } A^2 \dots \text{ and } A^n \text{ THEN } y \text{ is } B^n \quad \dots\dots\dots [2.12]$$

Metode Fuzzy Mamdani

Metode Mamdani sering dikenal sebagai metode Max-min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan [29]:

- Pembentukan Himpunan Fuzzy
Pada metode mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan Fuzzy.
- Aplikasi Fungsi Implikasi
Pada metode mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah min.
- Komposisi Aturan
Ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem Fuzzy, yaitu max, additive dan probabilistik OR (probor).

1. Metode Max(Maximum)

Pada metode ini, solusi himpunan Fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah Fuzzy, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (union). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan Fuzzy yang mereflesikan kontribusi dari tiap-tiap proposi. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] = \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

Di mana :

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi Fuzzy sampai aturan ke-i. $\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen Fuzzy aturan ke-i.

2. Metode Additive (sum)

Pada metode ini, solusi himpunan Fuzzy diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua output daerah Fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] = \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i])$$

Di mana:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi Fuzzy sampai aturan ke-i. $\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen Fuzzy aturan ke-i.

3. Metode Probabilistik OR (Probor)

Pada metode ini, solusi himpunan Fuzzy diperoleh dengan melakukan product terhadap semua output daerah Fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf} [xi] = (\mu_{sf} [xi] + \mu_{kf} [xi]) - (\mu_{sf} [xi] * \mu_{kf} [xi]) \quad \dots\dots\dots [2.13]$$

Di mana:

$\mu_{sf} [xi]$ = nilai keanggotaan solusi Fuzzy sampai aturan ke-i. $\mu_{kf} [xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen Fuzzy aturan ke-i.

4. Defuzzifikasi

Penegasan (defuzzy) Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Defuzzifikasi yang digunakan adalah Metode Centroid (Composite Moment), solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan:

$$z = \frac{\sum_{i=0}^n z_i * \mu_C(z_i)}{\sum_{i=0}^n \mu_C(z_i)} \quad \dots\dots\dots [2.14]$$

$$(5) \quad z = \frac{\int_{R_1}^{R_2} z \mu_C(z) dz}{\int_{R_1}^{R_2} \mu_C(z) dz} \quad \dots\dots\dots [2.15]$$

2.2.6 Motor DC

Motor listrik yaitu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor listrik beroperasi karena interaksi medan magnet dan konduktor, pembawa arus untuk menghasilkan putaran motor. Motor DC sendiri memiliki komponen penyusun seperti rotor dan stator. Rotor terdiri dari as, inti, kumparan jangkar dan komutator. Motor DC yang dipakai untuk pembuatan alat ini

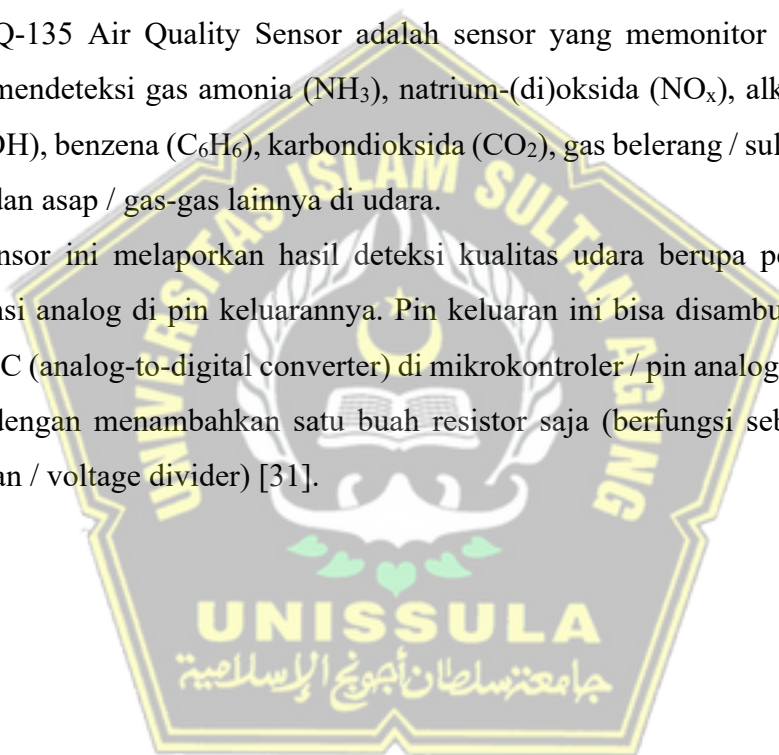
adalah jenis motor DC penguatan terpisah. Jenis motor DC penguatan terpisah mempunyai kumparan medan yang disuplai oleh sumber lain yang bebas. Motor DC penguatan terpisah, kinerja dari motor ini yaitu

menambah kemampuan daya dan kecepatan karena memiliki fluks medan yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah[30].

2.2.7 Sensor Oksigen

MQ-135 Air Quality Sensor adalah sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH_3), natrium-(di)oksida (NO_x), alkohol / ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), benzena (C_6H_6), karbondioksida (CO_2), gas belerang / sulfur-hidroksida (H_2S) dan asap / gas-gas lainnya di udara.

Sensor ini melaporkan hasil deteksi kualitas udara berupa perubahan nilai resistensi analog di pin keluarannya. Pin keluaran ini bisa disambungkan dengan pin ADC (analog-to-digital converter) di mikrokontroler / pin analog input Arduino Anda dengan menambahkan satu buah resistor saja (berfungsi sebagai pembagi tegangan / voltage divider) [31].



BAB III

METODE PENELITIAN

Pembahasan dalam tesis ini bertujuan untuk mendapatkan kestabilan kadar oksigen dalam aliran udara (FIO_2) dalam sebuah ventilator dengan menggunakan metode fuzzy logic. Proses pengolahan variabel dilakukan dengan fuzzy inference sistem model Mamdani untuk mengendalikan motor dc pada pengatur besar lubang udara masuk ke ventilator.

3.1 Tahapan penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1., sebagai berikut:

1. Menentukan latar belakang serta tujuan dari penelitian. Studi literatur dilakukan untuk memperdalam pemahaman tentang cara kerja metode Mamdani serta tahapan-tahapan apa saja yang harus dilakukan dalam menganalisis kestabilan kadar oksigen sehingga metode Mamdani dapat diterapkan dalam penelitian ini. Studi literatur dikumpulkan melalui berbagai sumber kepustakaan, baik berupa buku, jurnal, prosiding, tesis dan lain-lain sebagai bahan pendukung. Penyusun juga berkonsultasi dengan dosen pembimbing agar penulisan tesis lebih terarah.
2. Analisa kebutuhan, pada tahap ini ditentukan kebutuhan apa saja yang diperlukan dalam menyusun perhitungan sistematis pada metode fuzzy inferensi Mamdani, terutama menyusun himpunan fuzzy dan membership function menggunakan piecewise linear function triangular dalam fuzzyfikasi, mengetahui atribut linguistik dan numeris yang digunakan dalam fungsi keanggotaan fuzzy, serta aturan-aturan yang digunakan untuk mesin inferensi. Himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan untuk fuzzyfikasi dalam kontrol kestabilan kadar oksigen.
3. Pengumpulan data Tahap ini berupa observasi untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk kepentingan penelitian. Data yang diperoleh adalah data inputan dari sebuah sensor oksigen.
4. Pembuatan prototype ventilator portable.

5. Implementasi metode Mamdani melalui tahap fuzzyfikasi, proses inferensi dan defuzzifikasi.
6. Analisa hasil penilaian kestabilan kadar oksigen dengan menggunakan metode Mamdani.
7. Memberikan kesimpulan dan saran.

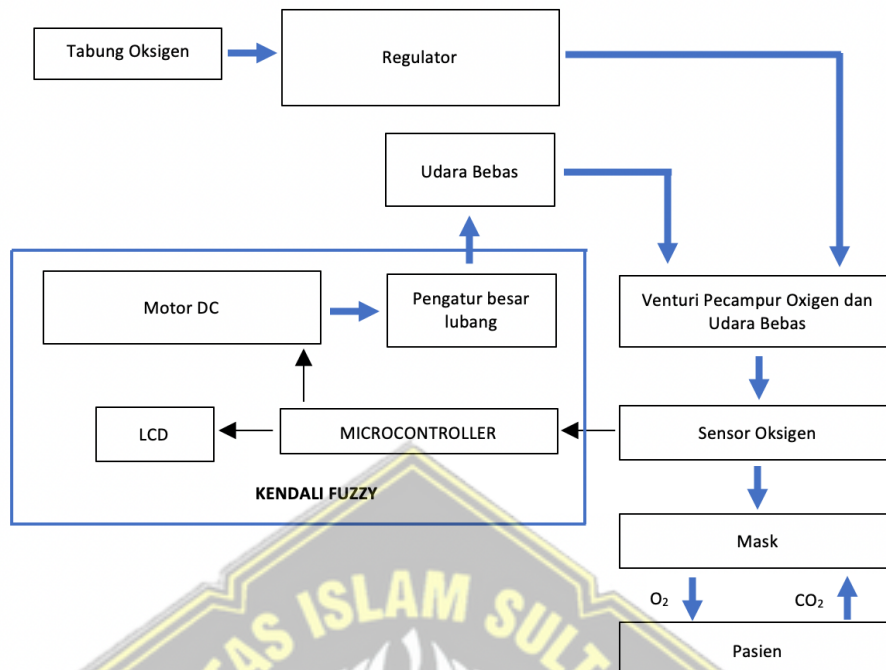
Sistem kestabilan kadar oksigen dengan menggunakan metode fuzzy Mamdani ini dimulai dari input himpunan fuzzy yang mencakup nilai kadar oksigen. Kemudian melakukan proses fuzzifikasi untuk menentukan derajat keanggotaan setiap nilai fuzzy. Setelah itu lakukan proses inferensi sesuai dengan aturan fuzzy yang digunakan sehingga dapat diperoleh nilai sesuai aturan fuzzy. Selanjutnya lakukan proses defuzzifikasi sehingga dapat diperoleh besarnya nilai sudut stepper motor yang terhubung dengan pada katup untuk mengatur besarnya aliran oksigen murni yang akan dicampur dengan udara ruang pada ruang pencampur. Terakhir dilakukan diagnosa untuk menentukan persentase kenaikan nilai kadar oksigen.

3.2 Sistem Model Penelitian

Oksigen dengan kadar 100% yang berasal dari tabung oksigen medis dialirkan melalui sebuah venturi. Kemudian dicampur dengan udara bebas melalui lubang-lubang udara pada venturi tersebut. Besarnya udara bebas yang masuk melalui lubang diatur oleh sebuah piringan yang diputar oleh sebuah motor dc. Besarnya lubang bukaan tergantung pada besarnya sudut putaran motor dc yang dikendalikan dengan metoda fuzzy logic.

3.2.1. Diagram Blok Sistem Pengendalian

Diagram blok dari sistem pengendalian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Sistem model pengendali konsentrasi oksigen ventilator

Udara bebas

Udara yang akan dimasukan ke dalam sistem diperoleh dari udara ruangan (kering). Kandungan udara kering adalah 78,09% nitrogen, 20,95% oksigen, 0,93% argon, 0,04% karbon dioksida, dan gas-gas lain yang terdiri dari neon, helium, metana, kripton, hidrogen, xenon, ozon, radon. Sebelum masuk ke bagian pencampur udara difilter dulu dengan menggunakan filter udara [21].

Tabung O₂

Tabung oksigen yang digunakan adalah tabung oksigen untuk medis. Pada umumnya tersedia dalam ukuran 6 m³ dan 1 m³.

Regulator Valve

Regulator oksigen diperlukan untuk menurunkan tekanan dari tabung. Regulator dapat mengatur tekanan oksigen 0 - 3500 lbf/in² (241,3 bar) [32]. Tekanan oksigen sesuai Peraturan Menteri Kesehatan, PMK no-4 tahun 2016 tentang

Penggunaan gas Medik dan Vakum Medik pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan, adalah 4-5 bar [33].

Venturi Pencampur Udara dan O₂

Oksigen murni dicampur dengan udara bebas menggunakan sebuah venturi. Karena tekanan P1 besar dengan luas penampang A1 kecil dan luas penampang A2 besar, maka tekanan P2 akan lebih kecil dari P3. Hal ini mengakibatkan udara bebas dengan tekanan P3 akan masuk ke venturi melalui lubang-lubang pada ventilator tersebut dan oksigen murni akan tercampur dengan udara bebas.



Keterangan:

P1 : Tekanan oksigen murni (sekitar 5bar)

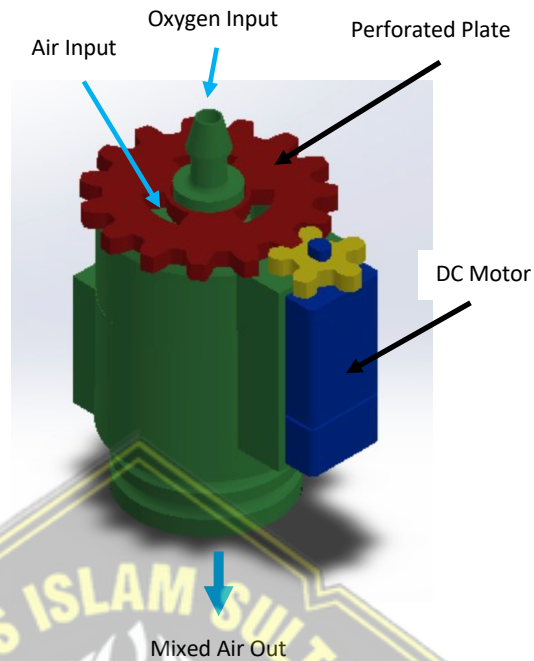
A1 : Luas penampang lubang oksigen masuk

P2 : Tekanan ruang pencampuran

A2 : Luas penampang lubang pencampuran

P3 : Tekanan udara bebas

Untuk mengatur besarnya kadar oksigen pada udara campuran yang keluar, dibuat sebuah piringan berlubang yang dapat berputar yang dapat mengatur besarnya udara bebas yang masuk ke venturi. Piringan tersebut diputar oleh sebuah motor DC.



Gambar 3.3 Perancangan Venturi Pencampur Oksigen Dengan Udara Bebas

Sensor Oksigen

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, pada penelitian ini digunakan sensor oksigen merk Maxtec, tipe Max 550E.

Dengan spesifikasi teknis:

- Range of Measurement: 0 to 100%
- Output Range: 10.5 to 15 mV
- Zero Offset: ≤ 0.50 mV
- Response Time: ≤ 15 s
- Linearity: $\leq 2\%$
- Expected Lifetime: 1,500,000 %O₂ hours
- Temperature Compensation: NTC
- Operational Temperature Range: 15° to 40°C
- Storage Temperature Range: -15° to 50°C
- Humidity Range: 0 to 95% RH, non-condensing
- Ambient Pressure Range: 800-1013 mbar

- Interference: per EN ISO 80601-2-55
- Electrical Interface: 3-pin stereo jack

LCD Display dan I2C Interface

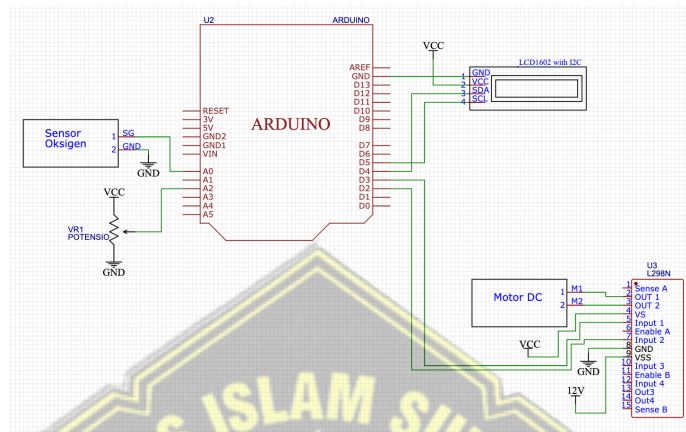
Jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan[34].

Modul I2C Backpack LCD I2C/TWI LCD, merupakan modul yang dipakai untuk mengurangi penggunaan kaki di LCD. Modul ini memiliki 4 pin yang akan dihubungkan ke Arduino. Arduino uno sudah mendukung komunikasi I2C dengan module I2C lcd, maka dapat mengontrol LCD Karakter 16x2 dan 20x4 hanya menggunakan 2 Pin yaitu Analog Input Pin 4 (SDA) dan Analog Input Pin 5 (SCL)[34].

Arduino Board

Arduino digunakan sebagai kit elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Modul mikrokontroler ini sudah siap pakai dengan menggunakan software IDE. Sehingga tidak perlu sistem minimum dan programmer dikarenakan sudah built in dalam satu board.[35]

Setelah desain *prototype* ventilator mekanik portabel dibuat, maka dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.4 Rangkaian Elektronik

Untuk merubah nilai set point digunakan potensiometer sebagai pembagi tegangan. Nilai tegangan mempresentasikan nilai set point yang diinginkan.

3.2.3. Rancangan Sistem Kendali Fuzzy Logic

3.2.3.1. Identifikasi Variabel Input

Untuk menghitung besarnya kadar oksigen yang dikendalikan. Dalam identifikasi fungsi keanggotaan fuzzy inferensi sistem, penulis membutuhkan data input yang terdiri dari dua variabel input.

Variabel input fuzzy terdiri dari :

1. Variabel error kadar oksigen (E).

Adalah nilai kadar oksigen yang seharusnya dikurangi kadar oksigen terukur.

- ## 2. Variabel perbedaan error kadar oksigen (ΔE)

Adalah nilai error kadar oksigen saat teretentu dikurangi error kadar oksigen sebelumnya.

Pada variabel error tersebut akan digunakan sebagai parameter fungsi keanggotaan fuzzy yang terdiri dari 3 daerah linguistik, yaitu Error Negatif (EN), Error Zero (EZ), Error Positif (EP). Pada variabel perubahan error, data yang digunakan sebagai parameter keanggotaan fuzzy terdiri dari 3 daerah linguistik, yaitu Delta Error Kecil (DK), Delta Error Sedang (DS), dan Delta Error Besar (DB).

Variabel Error

Desain fungsi keanggotaan fuzzy Segitiga untuk variabel error konsentrasi oksigen terdiri dari 3 daerah linguistik yaitu Error Negatif, Error Zero dan Error Positif. Masing-masing nilai sebagai berikut: EN (-50, -25, 0), EZ (-25, 0, 25), dan EP (0, 25, 50).

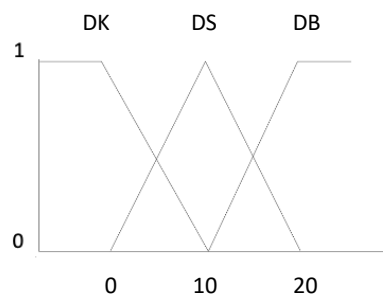


Gambar 3.5 Desain Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Variabel Error

Variabel Perubahan Error (Delta Error)

Desain fungsi keanggotaan fuzzy Segitiga untuk variabel perubahan error terdiri dari 3 daerah linguistik yaitu Delta Kecil, Delta Sedang, dan Delta Besar.

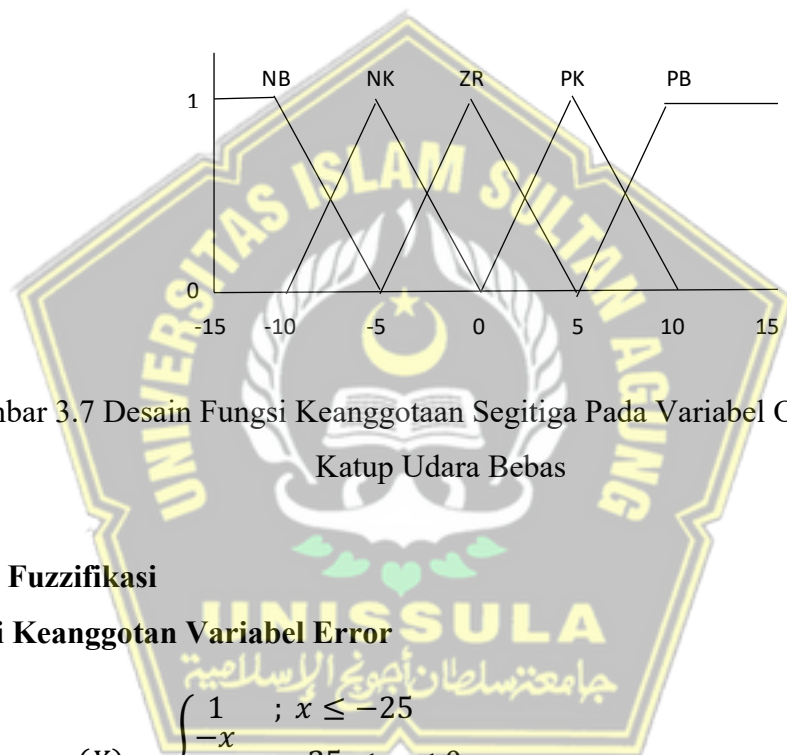
Masing-masing nilai sebagai berikut: DK(0, 0,10), DS (0, 10, 20) dan DB (10, 20, 20).



Gambar 3.6 Desain Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Variabel Perubahan Error

3.2.3.2. Identifikasi Variabel Output

Ada satu output yang dihasilkan sistem kontrol, yaitu untuk mengatur besarnya bukaan katup udara bebas. Desain fungsi keanggotaan fuzzy Segitiga untuk variabel sudut bukaan valve udara bebas terdiri dari 5 daerah linguistik yaitu Negatif Besar (menutup besar), Negatif Kecil (menutup kecil), Zero, Positif Kecil (membuka kecil), Positif Besar (membuka besar). Masing-masing nilai sebagai berikut: NB(-100, -100, -50), NK(-100,-50,0), ZR(-50, 0, 50), PK(0,50,100), dan PB(50,100,100).



Gambar 3.7 Desain Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Variabel Output Buka Katup Udara Bebas

3.2.3.3 Fuzzifikasi

Fungsi Keanggotaan Variabel Error

$$\mu_{EN}(X) = \begin{cases} 1 & ; x \leq -25 \\ \frac{-x}{25} & ; -25 < x < 0 \\ 0 & ; x \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{EZ}(X) = \begin{cases} 0 & ; x \leq -25 \text{ or } x \geq 25 \\ \frac{x + 25}{25} & ; -25 < x < 0 \\ \frac{25 - x}{25} & ; 0 < x < 25 \\ 1 & ; x = 0 \end{cases}$$

$$\mu_{EP}(X) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \\ \frac{x}{25} & ; 0 < x < 25 \\ 1 & ; x \geq 25 \end{cases}$$

Fungsi Keanggotaan Variabel Delta Error

$$\mu_{DK}(X) = \begin{cases} 1 & ; x = 0 \\ \frac{10 - x}{10} & ; 0 < x < 10 \\ 0 & ; x \geq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{DS}(X) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \text{ or } x \geq 20 \\ \frac{x}{10} & ; 0 < x < 10 \\ \frac{20 - x}{10} & ; 10 < x < 20 \\ 1 & ; x = 10 \end{cases}$$

$$\mu_{DB}(X) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 10 \\ \frac{x - 10}{10} & ; 10 < x < 20 \\ 1 & ; x \geq 20 \end{cases}$$

3.2.3.4. Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy yang didefinisikan untuk fuzzy inferensi sistem Mamdani ada sebanyak 9 aturan untuk pengendalian katup udara bebas, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Inferensi Mamdani untuk pengendalian bukaan katup udara bebas

Rule		Error		Δ Error		Output
1	IF	EP	AND	DK	THEN	PB
2	IF	EP	AND	DS	THEN	PB
3	IF	EP	AND	DB	THEN	PK
7	IF	EN	AND	DK	THEN	NB
8	IF	EN	AND	DS	THEN	NB
9	IF	EN	AND	DB	THEN	NK

3.2.3.5. Defuzzifikasi

Masukan dari proses penegasan adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan real yang tegas. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai nilai untuk memutar motor searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dengan durasi nyalanya motor DC. Semakin lama motor berputar maka bukaan katup udara bebas semakin besar. Defuzzifikasi yang digunakan adalah Metode Centroid (Composite Moment), solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy.

Contoh Proses Defuzzifikasi:

Error = 20 dan Delta Error 13

$$\mu_{EP}(20) = \frac{20}{25} = 0.8$$

$$\mu_{DS}(13) = \frac{20 - 13}{10} = 0.7$$

$$\mu_{DB}(13) = \frac{12 - 10}{20 - 10} = 0.2$$

Rule1: If **EP** and **DS** then **PB**

$$\alpha - Predikat_1 = \mu_{EP}(20) \cap \mu_{DS}(13)$$

$$\alpha - Predikat_1 = \min(\mu_{EP}(20); \mu_{DS}(13))$$

$$\alpha - Predikat_1 = \min(0.8; 0.7)$$

$$\alpha - Predikat_1 = 0.7$$

Rule2: If **EP** and **DB** the **PK**

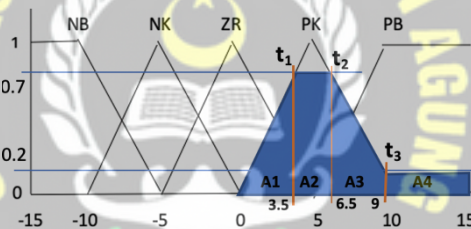
$$\alpha - Predikat_2 = \mu_{EP}(20) \cap \mu_{DB}(13)$$

$$\alpha - Predikat_2 = \min(\mu_{EP}(20); \mu_{DB}(13))$$

$$\alpha - Predikat_2 = \min(0.2; 0.7)$$

$$\alpha - Predikat_2 = 0.2$$

Tahap berikutnya digunakan metoda maksimum, yaitu dengan mengambil nilai-nilai maksimum dari nilai-nilai minimum pada tahap sebelumnya[36]



Gambar 3.8 Daerah Hasil Komposisi

Mencari nilai t_1 :

$$\frac{t_1 - 0}{5 - 0} = 0.7$$

Maka dapat dihitung $t_1 = 3.5$

Dengan cara yang sama t_2 dan t_3 dapat dihitung, yaitu $t_2 = 6.5$ dan $t_3 = 9$.

Kurva keanggotaan $\mu_1(z)$

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \\ \frac{z}{3.5} & ; 0 < x < 3.5 \\ 0.7 & ; x \geq 3.5 \end{cases}$$

Menghitung momen M_1 :

$$M_1 = \int_0^{3.5} \frac{z}{3.5} z dz = 4.08$$

Menghitung luas A_1 :

$$A_1 = \int_0^{3.5} \frac{z}{23.5} dz = 1.75$$

Dengan cara yang sama kita dapat menghitung M_2 , M_3 , M_4 , A_2 , A_3 dan A_4 , sebagai berikut:

$$M_2 = 10.5; M_3 = 42.39; M_4 = 14.4$$

$$A_2 = 2.1; A_3 = 7.68; A_4 = 1.2.$$

Defuzzifikasi Centroid:

$$Z^* = \frac{\int \mu(z) z dz}{\int \mu(z) dz} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$
$$Z^* = \frac{4.08 + 10.5 + 42.39 + 14.4}{1.75 + 2.1 + 7.68 + 1.2} = 5.6$$

3.2.4. Alat dan Bahan

Alat dan bahan utama yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Tabung oksigen beserta gas oksigen medis.
2. Regulator oksigen.
3. Alat ukur kadar oksigen di udara.
4. Breathing circuit.
5. Motor DC & Driver.
6. Katup pneumatik.
7. Venturi pencampur udara.

3.2.5. Perangkat lunak dan perangkat keras

Dalam penelitian ini diperlukan perangkat lunak (software):

1. Software perancang PCB
2. Terminal data logger
3. Microprocessor programmer (Arduino IDE)

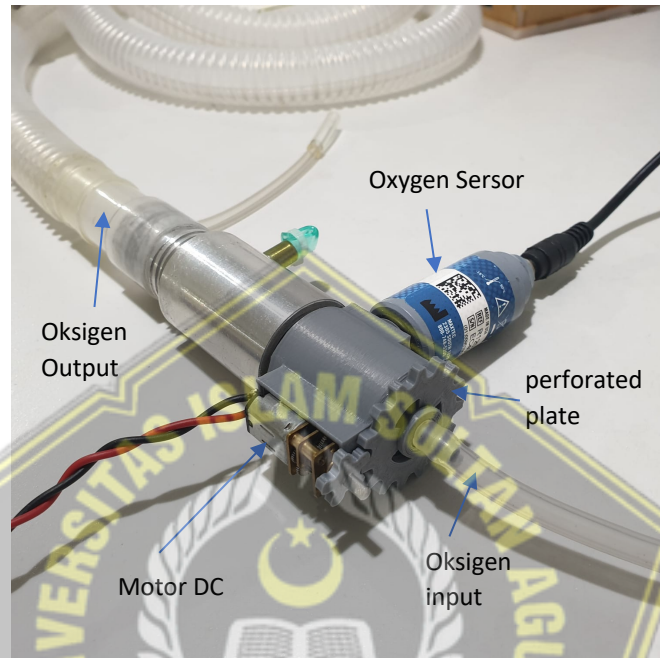
Adapun perangkat keras utama yang diperlukan:

1. Microcontroller (Arduino board)
2. Sensor Oksigen dan Arduino board.
3. LCD TFT Display.



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.1 Venturi Pengatur Kadar Oksigen

4.1 Pengujian pengendalian Kadar Oksigen FIO_2

Pengujian FiO_2 dilakukan di Laboratorium Testing dan Kalibrasi PT. RDAP, Jl. Kol. Warsito Sugianto Km 2,5 Sadeng, Gunung Pati, Semarang. Alat uji yang digunakan sebuah alat kalibrasi ventilator merk Fluke dengan tipe Mobile VT. Pengujian menggunakan *breathing circuit* dan paru-paru buatan (test lung) untuk mensimulasikan pasien yang sebenarnya.

4.1.1 Pengujian Pengendalian FIO_2 metoda on-off

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol on-off. Pengontrolan sistem dilakukan tanpa nilai balikan sebagai umpan balik. Pengujian

dilakukan berulang kali dengan nilai set poin yang berbeda-beda. Dimulai dengan set poin 20% sampai dengan 100% dengan interval 5%.

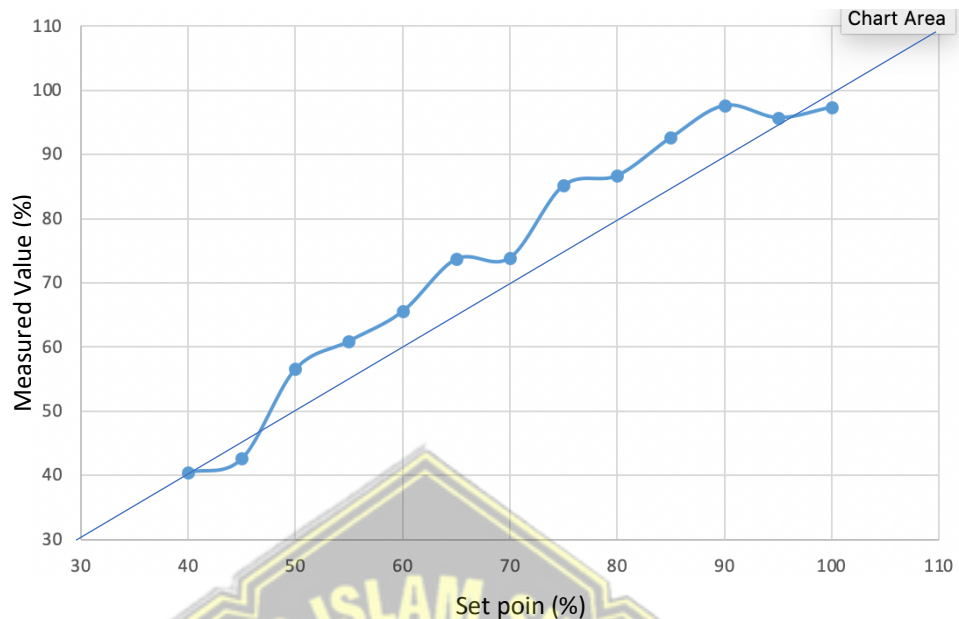
Pengukuran dengan alat kalibrasi dilakukan sebanyak 5 kali. Hasil dari rata-rata nilai kadar oksigen terbaca pada alat kalibrasi dibandingkan dengan nilai pada set poin. Setelah dilakukan pengujian, maka diperoleh hasil yang tertera pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pengendalian FIO₂ metoda on-off

No	Set Point	Measured Value (%)					Average	Error
1	40	35,2	34,1	36,3	46,2	50,6	40,48	1,2
2	45	44,7	44	47,3	38,5	38,5	42,6	5,3
3	50	59,4	55	62,7	46,2	59,4	56,54	13,1
4	55	64,9	66	59,4	62,7	51,7	60,94	10,8
5	60	66	59,4	70,4	58,3	73,7	65,56	9,3
6	65	73,7	60,5	77	81,4	75,9	73,7	13,4
7	70	67,1	69,3	82,5	75,9	74,8	73,92	5,6
8	75	77	88	83,6	86,9	90,2	85,14	13,5
9	80	83,8	99	85,8	80,3	84,7	86,72	8,4
10	85	94,5	97,9	90,2	90,3	90,2	92,62	9,0
11	90	99,3	96,8	98,4	96,8	96,8	97,62	8,5
12	95	98,3	98,6	98,4	93	90,4	95,74	0,8
13	100	95,9	98,4	99,4	98,6	94,5	97,36	2,6
							Average	14,5 %

Perbedaan nilai yang ditentukan (set poin) dan nilai rata-rata yang terbaca pada alat ukur dibandingkan. Perbedaan nilai yang terjadi (error) setiap set poin dibuat rata-ratanya, yaitu sebesar 14,5%.

Pada gambar 4.3 dapat kita lihat secara grafis penyimpangan yang terjadi di setiap set poin. Besar kesalahan/penyimpangan yang terjadi bernilai acak antara 0.8% sampai dengan 13.5,0%.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Pengendalian FIO₂ metoda on-off

Gambar 4.2 di atas memperlihatkan penyimpangan yang cukup jauh antara set poin dan nilai yang terbaca pada alat kalibrasi. Semakin dekat dengan garis putus-putus, nilai yang terbaca semakin dekat dengan set poin.

4.1.2 Pengujian Pengendalian FIO₂ metoda Fuzzy

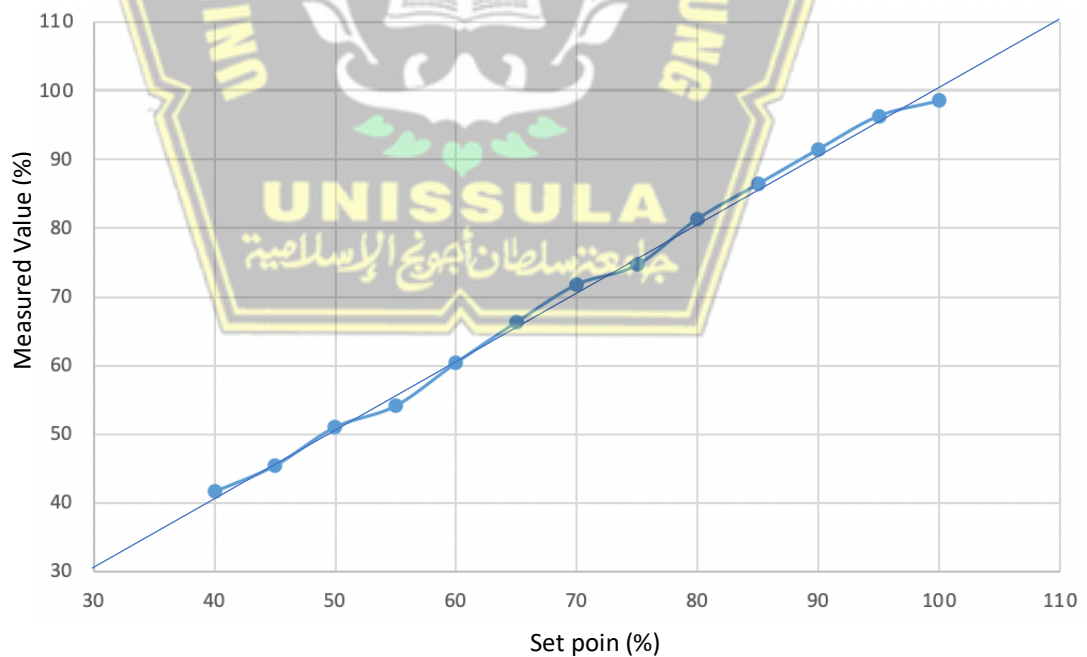
Pengujian berikutnya, pengujian ventilator dengan menggunakan metoda Fuzzy Logic. Pengontrolan sistem dilakukan dengan memasukkan nilai yang terbaca sebagai umpan balik. Pengujian dilakukan berulang kali dengan nilai set poin yang berbeda-beda. Dimulai dengan set poin 20% sd 100% dengan interval 5%.

Pengukuran dengan alat kalibrasi dilakukan sebanyak 5 kali. Hasil dari rata-rata nilai kadar oksigen terbaca pada alat kalibrasi dibandingkan dengan nilai pada set poin. Setelah dilakukan pengujian, maka diperoleh hasil yang tertera pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pengendalian FIO₂ metoda Fuzzy

No	Set Point	Measured Value (%)					Average	Error
1	40	42,9	42,9	42,6	38,6	41,4	41,68	4,2
2	45	46,4	44,5	47,5	42,6	46,4	45,48	1,1
3	50	53,4	48,9	48,5	51,3	53,3	51,08	2,2
4	55	50,5	52,3	57,5	54,3	56,3	54,18	1,5
5	60	58,5	58,3	58,6	63,5	63,2	60,42	0,7
6	65	64,5	66,4	67,5	66,7	66,6	66,34	2,1
7	70	69,4	72,4	74,3	73,5	69,5	71,82	2,6
8	75	77,5	68,4	74,6	74,5	78,5	74,7	0,4
9	80	80,8	78,8	79,6	82,4	85,3	81,38	1,7
10	85	86,3	87,6	86,4	84,5	87,4	86,44	1,7
11	90	93,5	89,5	92,2	88,9	93,4	91,5	1,7
12	95	98,3	94,5	93,6	96,4	98,9	96,34	1,4
13	100	100	99,5	100	97,5	95,9	98,58	1,4
Average							2,1 %	

Perbedaan nilai yang ditentukan (set poin) dan nilai rata-rata yang terbaca pada alat ukur dibandingkan. Perbedaan nilai yang terjadi (error) setiap set poin dibuat rata-ratanya, yaitu sebesar 2.1%. Pada gambar 4.3 dapat kita lihat secara grafis penyimpangan yang terjadi. Besar kesalahan/penyimpangan yang terjadi bernilai acak antara 0,4% sampai dengan 4,2%.



Gambar 4.3. Hasil Pengujian Pengendalian FIO₂ metoda Fuzzy

Berikut gambar-gambar hasil pengujiannya:



Gambar 4.4 Pengujian dengan setpoin 80



Gambar 4.5 Pengujian dengan setpoin 100

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan dan tujuan dari penelitian serta dihubungkan dengan hasil analisis dan pembahasannya, secara garis besar dibuat kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaturan besarnya lubang venturi agar udara bebas bisa masuk dapat digunakan untuk mengatur konsentrasi oksigen pada sebuah ventilator.
2. Sistem kontrol metoda Fuzzy sangat baik diterapkan dalam sebuah ventilator untuk mengendalikan kestabilan kadar oksigen FIO_2 yang telah ditentukan sebelumnya pada besaran tertentu oleh pengguna. Error untuk pengendalian FIO_2 adalah 2,1% dengan minimal set point 40%.
3. Pembuatan ventilator mekanik portabel yang dapat diatur FIO_2 -nya dapat dilakukan di dalam negeri dengan relatif mudah dan murah, sehingga dapat digunakan secara masal di rumah sakit darurat ketika terjadi pandemi penyakit yang menyerang kesehatan sistem pernafasan manusia.

5.2 Saran

Sehubungan dengan kesimpulan-kesimpulan tersebut, maka saran-saran yang dapat dikemukakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan ujicoba berubah kembali parameter fuzzy agar didapat hasil yang lebih memuaskan.
2. Agar dapat mengendalikan kadar oksigen lebih baik, udara bebas yang masuk perlu diberi tekanan agar tekanan yang terjadi tidak hanya mengandalkan perbedaan tekanan dari tabung oksigen murni saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Setiadi, Y. I. Wibowo, S. v. Halim, C. Brata, B. Presley, and E. Setiawan, "Tata Laksana Terapi Pasien dengan COVID-19: Sebuah Kajian Naratif," *Indonesian Journal of Clinical Pharmacy*, vol. 9, no. 1, p. 70, Mar. 2020, doi: 10.15416/ijcp.2020.9.1.70.
- [2] E. Prompetchara, C. Ketloy, and T. Palaga, "Immune responses in COVID-19 and potential vaccines: Lessons learned from SARS and MERS epidemic," *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, vol. 38, no. 1. Allergy and Immunology Society of Thailand, pp. 1–9, Mar. 01, 2020. doi: 10.12932/AP-200220-0772.
- [3] Q. Li *et al.*, "Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia," *New England Journal of Medicine*, vol. 382, no. 13, pp. 1199–1207, Mar. 2020, doi: 10.1056/nejmoa2001316.
- [4] Artayasa and I Nyoman, "Kebijakan Pemerintah Dalam Percepatan Penanganan Dampak Covid-19 Di Kota Denpasar," *Jurnal Cakrawarti*, vol. Vol. 03 No. 02, no. 20 Agustus, 2021.
- [5] Suwarsono *et al.*, "Desain Mekanik Untuk Ventilator Sistem Kendali Adaptif," Malang, 2020.
- [6] Nova Indra Maya and I Putu Gede, "Terapi Oksigen (O2)," Denpasar, 2017.
- [7] Subagiarta and I Made, "Terapi Oksigen," Denpasar, 2016.
- [8] L. Adhani Dwi Putri, "Efek Pemberian Terapi Oksigen Reguler Terhadap Outcome Pasien Stroke Akut," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2017.
- [9] O. : Luh, P. Ayu, D. D. I. Ketut, W. Nada, and S. An, "Aplikasi Alat Bantu Napas Mekanik," Denpasar, 2017.
- [10] Suwarsono, Budiono, Denny Wijayanto, Kuncoro, A. Utomo, and M. Fajriansyah, "Desain Mekanik Untuk Ventilator Sistem Kendali Adaptif," Malang, 2020.
- [11] S. A. Papiris, E. D. Manali, L. Kolilekas, C. Triantafillidou, and I. Tsangaris, "Acute Severe Asthma New Approaches to Assessment and Treatment," Athens Greece, 2009.
- [12] M. Oddo, F. Feihl, M. D. Schaller, and C. Perret, "Management of mechanical ventilation in acute severe asthma: Practical aspects," *Intensive Care Medicine*, vol. 32, no. 4. pp. 501–510, Apr. 2006. doi: 10.1007/s00134-005-0045-x.

- [13] A. Mohsen Al Hussein, H. Ju Lee, J. Negrete, S. Powelson, A. Tepper Servi, and A. H. Slocum, "Design and prototyping of a low-cost portable mechanical ventilator," *Journal of Medical Devices, Transactions of the ASME*, vol. 4, no. 2, pp. 1–1, 2010, doi: 10.1115/1.3442790.
- [14] R. Hidayadi, "Desain dan Prototype Portable Mechanical Ventilator Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Pasien Covid-19," Palembang, 2020.
- [15] A. Dwi Oktavian, "Rancang Bangun Alat Bantu Pernapasan Ventilator Berbasis Wireless Sensor Network," 2020.
- [16] F. Semiconductor Inc, "Ventilator/Respirator Hardware and Software Design Specification," Nov. 2011.
- [17] Z. L. Chen, Z. Y. Hu, and H. de Dai, "Control system design for a continuous positive airway pressure ventilator," *Biomed Eng Online*, vol. 11, Feb. 2012, doi: 10.1186/1475-925X-11-5.
- [18] dan ABurhanudin, G. Pusat Lantai, and J. Sidodadi Timur, *Perancangan Prototype Ventilator Mekanik Dengan Teknologi IOT (Internet Of Things) Berbasis Arduino*, vol. 5. 2020.
- [19] P. Subha Hency Jose, P. Rajalakshmy, P. Manimegalai, and K. Rajasekaran, "A novel methodology for the design of a portable ventilator," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 4785–4789, Nov. 2019, doi: 10.35940/ijitee.A5056.119119.
- [20] Z. L. Chen, Z. Y. Hu, and H. de Dai, "Control system design for a continuous positive airway pressure ventilator," *Biomed Eng Online*, vol. 11, Feb. 2012, doi: 10.1186/1475-925X-11-5.
- [21] LP2MP and UM Undip, "Ventilasi Mekanik pada Neonatus," 2021.
- [22] J. Alan *et al.*, "A Low-cost Air Flow Sensor/transducer for Medical Applications: Design and Experimental Characterization," 2021, doi: 10.20944/preprints202101.0404.v1.
- [23] A. Yadav, A. Kumar, and S. Sarkar, "Determination of Standard Oxygen Transfer Rate in Venturi Aeration System," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jan. 2021, vol. 1017, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/1017/1/012005.
- [24] J. Alan *et al.*, "A Low-cost Air Flow Sensor/transducer for Medical Applications: Design and Experimental Characterization," 2021, doi: 10.20944/preprints202101.0404.v1.
- [25] E. Schena, C. Massaroni, P. Saccomandi, S. Cecchini, and A. E. Schena, "Flow measurement in mechanical ventilation," 2021.

- [26] R. Fernandez, M. Mendez, and M. Younes, "Effect of ventilator flow rate on respiratory timing in normal humans," *Am J Respir Crit Care Med*, vol. 159, no. 3, pp. 710–719, 1999, doi: 10.1164/ajrccm.159.3.9709090.
- [27] Fernando Siahaan, "Pengaruh Penggunaan Fuzzy Logic Control Pada Pulse Width Modulation Boost Converter Sebagai Penggerak Motor DC Seri," Medan, 2018.
- [28] Adeswati, E. Hesti, Sholihin, and Sarjana, "Sistem Kendali Robot Hand Gesture Berbasis Wireless," *Jurnal Surya Energy*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [29] M. Sukmawidjaja and B. Nursulistyo, "Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan DC Drive Sinamics DCM Pada Size Press," vol. 12, no. 1, pp. 89–104, 2014.
- [30] Dio Taufiq Arif and Aswardi M.T, "Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino," 2020. [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- [31] A. Stevan¹, G. Agus, I. Permana, Y. S. Rohmah, and T. Telekomunikasi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kadar Oksigen Di Dalam Kabin Mobil Berbasis Arduino Design of Oxygen Level Monitoring System Based-Arduino In The Car Cabin," 2019.
- [32] I. A. Wahyuni, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Laju Aliran Pada Venturimeter Dengan Menggunakan Sensor MPX2010DP Berbasis Arduino," 2016.
- [33] M. Hilman, "Image Viewer Berbasis Arduino," 2021. [Online]. Available: <http://jurnal.umpar.ac.id/index/jmosfet+5>
- [34] M. Natsir, D. Bayu Rendra, and A. Derby Yudha Anggara, "Implementasi IOT Untuk Sistem Kendali AC Otomatis Pada Ruang Kelas di Universitas Serang Raya," vol. 6, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>
- [35] H. Rusiana Iskandar, Y. Permadi, and M. Andrianto, "Perancangan Prototype Low Cost Early Warning System Untuk Gas Medis Via SMS Berbasis Arduino Uno," Cimahi Jawa Barat, Nov. 2017.
- [36] F. T. Suwarmi, M. Yusuf Fajar, E. Kurniati, and P. Matematika, "Prosiding Penelitian SPeSIA Unisba 2015 Proses Defuzzifikasi pada Metode Mamdani dalam Memprediksi Jumlah Produksi Menggunakan Metode Mean Of Maximum".