

**PERANCANGAN ALAT PENETRALISIR ASAP ROKOK
MENGUNAKAN *ZEOLIT* DAN KARBON AKTIF DENGAN METODE
LOGIKA *FUZZY* TSUKAMOTO**

Skripsi

Oleh

**Dimas Hartadi
1817041079**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERANCANGAN ALAT PENETRALISIR ASAP ROKOK MENGUNAKAN *ZEOLIT* DAN KARBON AKTIF DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY* TSUKAMOTO

Oleh

Dimas Hartadi

Telah dilakukan penelitian tentang perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-7 untuk mengukur kadar konsentrasi gas CO dan CH₄ juga sensor MQ-135 untuk mengukur kadar konsentrasi gas CO₂ yang terintegrasikan dengan mikrokontroler Arduino Uno R3. Kedua sensor tersebut telah dikalibrasi dengan menghasilkan keakuratan nilai akurasi sebesar 96,44% dan *error* sebesar 3,55% pada gas CO dan nilai akurasi sebesar 99,90% dan *error* sebesar 0,10% pada gas CO₂. Mikrokontroler Arduino Uno R3 berfungsi sebagai sistem pengendali yang dapat mengumpulkan data dari sensor dan mengolahnya ke dalam logika *fuzzy* Tsukamoto untuk mengendalikan *exhaust fan*. Data *input* dari sensor menghasilkan *output* waktu aktif *exhaust fan* dari proses defuzzifikasi saat kondisi ruang bebas asap yaitu 0 dan 3,08 detik serta waktu aktif *exhaust fan* saat kondisi ruang dengan asap rokok yaitu 17,32; 28,72; dan 30 detik. Indikasi keberhasilan pengujian keseluruhan alat ditunjukkan dengan penurunan kadar konsentrasi CO sebelum melalui proses filtrasi yaitu sebesar 36,71 ppm menjadi 1 hingga 5 ppm setelah melalui proses filtrasi, penurunan kadar konsentrasi CO₂ sebelum melalui proses filtrasi yaitu sebesar 689,94 ppm menjadi 401 hingga 405 ppm setelah melalui proses filtrasi dan penurunan konsentrasi gas CH₄ dari 1,65 ke 0,04 ppm pada box sebelum penyaringan.

Kata Kunci: Logika *fuzzy* Tsukamoto, penetralisir asap

ABSTRACT

DESIGN OF CIGARETTE SMOKE NEUTRALIZER DEVICE USING ZEOLIT AND ACTIVATED CARBON WITH TSUKAMOTO FUZZY LOGIC METHOD

By

Dimas Hartadi

Research has been conducted on the design of a cigarette smoke neutralizer device using zeolit and activated carbon with the Tsukamoto fuzzy logic method. This study used the MQ-7 sensor to measure the concentration of CO and CH₄ gases as well as MQ-135 sensor to measure the concentration of CO₂ gas, both sensors integrated with the Arduino Uno R3 microcontroller. Both of these sensors have been calibrated, resulting in an accuracy value of 96.45% and an error of 3.55% for CO gas, and an accuracy value of 99.9% and an error of 0.10% for CO₂ gas. The Arduino Uno R3 microcontroller functions as a control system capable of collecting data from the sensors and processing them into Tsukamoto fuzzy logic to control the exhaust fan. Input data from the sensors produce output active times for the exhaust fan from the defuzzification process, with 0 and 3.08 seconds for smoke-free conditions and 17.32, 28.72, and 30 seconds for smoky conditions. The indication of the overall success from testing the device is demonstrated by the decrease in CO concentration levels before filtration is from 36.71 ppm to 1-5 ppm after filtration, the decrease in CO₂ concentration levels before filtration is from 689.94 ppm to 401-405 ppm after filtration and the decrease in CH₄ concentration levels from 1.65 to 0.04 ppm in the box before filtration.

Keywords: Tsukamoto fuzzy logic, smoke neutralizer

**PERANCANGAN ALAT PENETRALISIR ASAP ROKOK
MENGUNAKAN *ZEOLIT* DAN KARBON AKTIF DENGAN METODE
LOGIKA *FUZZY* TSUKAMOTO**

Oleh

DIMAS HARTADI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

Perancangan Alat Penetralisir Asap Rokok
Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif
dengan Metode Logika Fuzzy Tsukamoto

Nama Mahasiswa

Dimas Hartadi

Nomor Pokok Mahasiswa

1817041079

Jurusan

Fisika

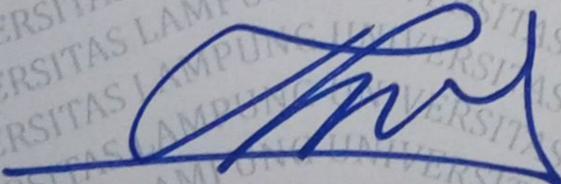
Fakultas

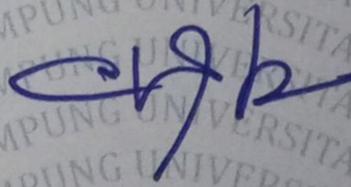
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



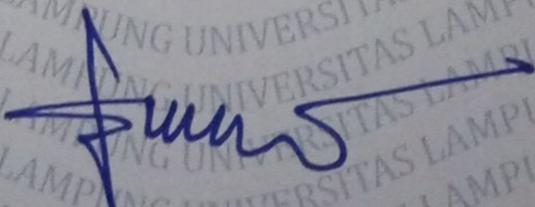
Bandar Lampung, 17 September 2024

1. Komisi Pembimbing


Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP.196504071991111001


Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP.199011252019032018

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

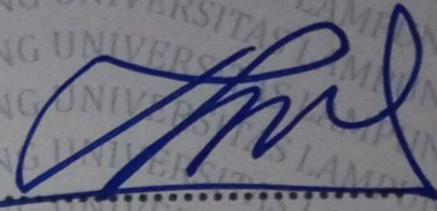

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP.198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

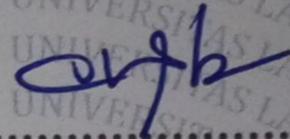
Ketua

Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



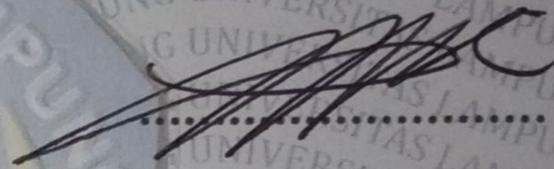
Sekretaris

Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.



Penguji

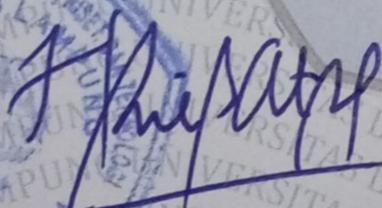
Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 Agustus 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar Lampung, 17 September 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular adhesive stamp. The stamp is yellow and features a large red '9000' in the center, with 'SEPLUH RIBU RUPIAH' written vertically on the left. Below the stamp, the text 'METERAI TEMPEL' and the alphanumeric code '49883ALX335484268' are visible.

Dimas Hartadi
NPM. 1817041079

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Dimas Hartadi, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 08 November 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Suparman dan Ibu Eni Kurniawati. Penulis mengawali Pendidikan sekolah tingkat dasar di SDN Jakasetia 01, Kota Bekasi, Jawa Barat pada tahun 2006. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMPN 29 Kota Bekasi, Jawa Barat pada tahun 2012 dan pendidikan menengah atas di SMAN 07 Kota Bekasi, Jawa Barat pada tahun 2015. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2018. Selama menjalani Pendidikan tinggi tersebut, penulis juga mendapatkan penghargaan dan aktif dalam berbagai organisasi.

Penulis bergabung dengan organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai pengurus di biro Kesekretariatan Rumah Tangga (KRT) tahun 2019, kemudian Organisasi Ikatan Himpunan Mahasiswa Fisika Indonesia (IHAMAFI) sebagai pengurus di Biro Administrasi Keuangan (BAK) tahun 2019. Penulis juga merupakan seorang aktivis dalam pergerakan isu sosial dan politik dengan mendapatkan penghargaan Generasi Muda Terbaik (Garuda) dari Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA pada tahun 2018 dan bergabung dengan BEM FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2021 sebagai Kepala Dinas Kajian, Aksi dan Propaganda. Selain itu penulis juga aktif menjadi narasumber untuk pelatihan Teknik Lapangan Aksi dan diskusi buku “Catatan Seorang Demonstran”.

Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2023 di PT. PLN UP3 Tanjung Karang, Bandar Lampung di bagian Penertiban

Pemakaian Tenaga Listrik (P2TL) dengan hasil laporan berjudul “Penerapan Sistem Monitoring P2TL Menggunakan ACMT pada Pengguna Listrik Prabayar dan Pascabayar di PT.PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang”. Penulis juga melakukan kegiatan sosial dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2020 di desa Negeri Olok Gading, Teluk Betung Barat, Bandar Lampung, penulis berkontribusi dengan membuat website untuk Kelurahan Negeri Olok Gading. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Fisika dengan judul “**Perancangan Alat Penetralisir Asap Rokok Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif dengan Metode Logika Fuzzy Tsukamoto**”.

MOTTO

“Irren Ist Menschlich”

“Freedom is never voluntarily given by the oppressor; it must be demanded by the oppressed”

- **Martin Luther King Jr**

“The supreme art of war is to subdue the enemy without fighting”

- **Sun Tzu**

“I don't want to conquer anything, I just think the guy with the most freedom in this whole ocean is the Pirate King”

- **Monkey D Luffy**

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, telah memberikan Nikmat dan Kasih Sayang-mu, kupersembahkan karya ini untuk semua orang yang ku sayangi dan ku cintai

Kedua Orang Tua (Bapak Suparman dan Ibu Eni Kurniawati)

Terimakasih atas semua doa, dukungan, dan harapan yang telah diberikan kepada saya hingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini. Semoga saya dapat membawa manfaat bagi Bangsa Indonesia.

Adik (Dwiki Hartanto dan Dany Herlambang)

yang selalu memberikan dukungan, dan doa yang terbaik.

Bapak dan Ibu Dosen

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka wawasan dan pengalamanku

Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas segala kebaikan, dan kebersamaan kalian selama ini

Almamaterku Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PERANCANGAN ALAT PENETRALISIR ASAP ROKOK MENGGUNAKAN ZEOLIT DAN KARBON AKTIF DENGAN METODE LOGIKA FUZZY TSUKAMOTO”**. Tujuan penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar S1 pada Kelompok Bidang Keahlian (KBK) Instrumentasi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung serta melatih berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 17 September 2024

Dimas Hartadi
NPM. 1817041079

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Perancangan Alat Penetralisir Asap Rokok Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif dengan Metode Logika Fuzzy Tsukamoto”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan rela meluangkan waktu untuk membimbing dalam penelitian dan penulisan skripsi.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si. sebagai dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc, sebagai dosen pembahas yang telah mengoreksi kekurangan dan memberikan masukan serta saran selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Pulung Karo Karo., M.Si, sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan motivasi.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi S.Si., M.T, sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan seluruh ilmu yang bermanfaat dan kepengurusan sistem administrasi kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. Selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung
8. Almarhumah Ibu Eni Kurniawati yang telah membesarkan dan memberikan banyak jasa, nasihat serta tujuan hidup sehingga penulis mampu menjadi mahasiswa Universitas Lampung dan menyelesaikan skripsi ini.

9. Bapak dan adik yang senantiasa membantu memberikan dukungan hidup untuk penulis.
10. Keluarga Besar Tubagus (TB) Wazie yang telah memberikan dukungan finansial dan semangat selama ini.
11. Teman-teman seperjuangan Hauzan Khoirullah Miftah, Adrian Reza, Yazid Ramadhan, Rizki Dwi Aptiant Putra, Syafiq Rafi Hariputra, dan Rizky Esa Ramadhan yang setia dan membantu penulis selama berkuliah di Universitas Lampung.
12. Teman-teman pimpinan BEM FMIPA periode 2020.
13. Teman-teman Fisika Angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan moral maupun materil pada penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait.....	6

2.2	Kualitas Udara.....	8
2.2.1	Udara Bersih.....	10
2.2.2	Udara Kotor.....	10
2.3	Asap Rokok.....	11
2.4	Penyaringan.....	12
2.5	<i>Zeolit</i>	14
2.6	Karbon Aktif.....	16
2.6.1	Bentuk Karbon Aktif.....	17
2.6.2	Fungsi Karbon Aktif.....	18
2.6.3	Aplikasi Karbon Aktif.....	19
2.7	Logika <i>Fuzzy</i>	20
2.7.1	Himpunan <i>Fuzzy</i>	20
2.7.2	Fungsi Keanggotaan.....	22
2.7.3	Operasi-operasi pada Himpunan <i>Fuzzy</i>	25
2.7.4	Proposisi <i>Fuzzy</i>	26
2.7.5	Implikasi <i>Fuzzy</i>	26
2.7.6	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	27
2.7.7	Logika <i>Fuzzy</i> Metode Tsukamoto.....	28
2.8	Arduino Uno R3.....	29
2.9	Sensor MQ-7.....	30
2.10	Sensor MQ-135.....	32
2.11	LCD I2C.....	34
2.12	Relay.....	35
III.	METODE PENELITIAN.....	37
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan.....	37
3.3	Prosedur Penelitian.....	38
3.3.1	Perancangan Alat.....	40
3.3.2	Pengujian Sensor.....	46
3.3.3	Pembuatan Logika <i>Fuzzy</i> Tsukamoto.....	47
3.3.4	Pengambilan Data.....	54
IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1	Realisasi Alat Penyaring Asap Rokok.....	56
4.2	Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor Gas.....	60
4.2.1	Kalibrasi Gas CH ₄ Menggunakan Sensor MQ-7.....	60
4.2.2	Kalibrasi Gas CO Menggunakan Sensor MQ-7.....	65
4.2.3	Kalibrasi Gas CO ₂ Menggunakan Sensor MQ-135.....	69
4.3	Hasil Pemrograman Logika <i>Fuzzy</i> Tsukamoto.....	73
4.3.1	Hasil Pemrograman Proses Fuzzifikasi.....	73
4.3.2	Hasil Pemrograman Inferensi <i>Fuzzy</i>	78
4.3.3	Hasil Pemrograman Defuzzifikasi.....	81
4.3.4	Implementasi Logika <i>Fuzzy</i> Tsukamoto Pada Alat.....	83
4.4	Pengujian Keseluruhan Sistem dan Komponen.....	85
4.5	Pengambilan Data Alat Penyaring Asap Rokok.....	86

V. SIMPULAN DAN SARAN.....	93
5.1 Simpulan.....	93
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	94
LAMPIRAN.....	96

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tampilan pengujian monitoring melalui telegram.....	7
Gambar 2.2 Rancangan alat secara keseluruhan.....	7
Gambar 2.3 Skala berbahaya karbon dioksida.....	9
Gambar 2.4 Kandungan rokok.....	12
Gambar 2.5 Filtrasi.....	13
Gambar 2.6 Contoh <i>zeolit</i>	15
Gambar 2.7 Karbon aktif bentuk serbuk.....	17
Gambar 2.8 Karbon aktif bentuk granular.....	18
Gambar 2.9 Karbon aktif bentuk pellet.....	18
Gambar 2.10 Representasi nilai baik.....	22
Gambar 2.11 Representasi linear turun.....	23
Gambar 2.12 Representasi kurva segitiga.....	24
Gambar 2.13 Representasi kurva trapesium.....	24
Gambar 2.14 Struktur dasar sistem inferensi <i>fuzzy</i>	28
Gambar 2.15 Sistem inferensi <i>fuzzy</i> metode Tsukamoto.....	29
Gambar 2.16 Diagram pin Arduino Uno R3	30
Gambar 2.17 Skematik Sensor MQ-7.....	31
Gambar 2.18 Karakteristik sensitivitas dari MQ-7.....	32
Gambar 2.19 Skematik Sensor MQ-135.....	33

Gambar 2.20	Karakteristik sensitivitas dari MQ-135.....	34
Gambar 2.21	LCD I2C.....	35
Gambar 2.22	<i>Relay</i>	36
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3.2	Desain penyaring asap rokok (bagian samping).....	41
Gambar 3.3	Desain penyaring asap rokok (bagian depan).....	41
Gambar 3.4	Desain alat tampak depan.....	42
Gambar 3.5	Desain alat tampak samping.....	42
Gambar 3.6	Desain alat tampak atas.....	43
Gambar 3.7	Diagram blok rangkaian alat.....	43
Gambar 3.8	<i>Wiring</i> keseluruhan komponen.....	45
Gambar 3.9	Kurva fungsi keanggotaan CO.....	49
Gambar 3.10	Kurva fungsi keanggotaan CH ₄	50
Gambar 3.11	Kurva fungsi keanggotaan CO ₂	51
Gambar 3.12	Kurva fungsi keanggotaan <i>exhaust fan</i>	52
Gambar 3.13	Kurva pengujian parameter CO.....	54
Gambar 3.14	Kurva pengujian parameter CO ₂	55
Gambar 3.15	Kurva pengujian parameter CH ₄	55
Gambar 4.1	Realisasi alat penyaring asap rokok (a) Tampak depan (b) Tampak samping (c) Tampak atas.....	57
Gambar 4.2	Bagian dalam box <i>hardware</i>	58
Gambar 4.3	Bagian dalam box penyaring asap rokok.....	59
Gambar 4.4	Tampilan aplikasi <i>web plot digitizer</i>	61
Gambar 4.5	Hasil dari <i>power regression calculator</i>	62
Gambar 4.6	Grafik kalibrasi gas CO dengan sensor MQ-7.....	66

Gambar 4.7	Kurva data gas CO sensor MQ-7 dan alat standar.....	68
Gambar 4.8	Grafik kalibrasi gas CO ₂ dengan sensor MQ-135.....	70
Gambar 4.9	Kurva data gas CO ₂ sensor MQ-135 dan alat standar.....	73
Gambar 4.10	Pengujian keseluruhan komponen.....	85
Gambar 4.11	Proses pengambilan data alat penyaring asap rokok.....	87
Gambar 4.12	Kurva gas CO sebelum dan sesudah penyaringan.....	90
Gambar 4.13	Kurva gas CO ₂ sebelum dan sesudah penyaringan.....	91
Gambar 4.14	Kurva gas CH ₄ sebelum penyaringan.....	92

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi udara kering dan bersih.....	8
Tabel 2.2 Konversi konsentrasi parameter ISPU.....	11
Tabel 2.3 Aplikasi penggunaan karbon aktif dalam industri.....	19
Tabel 2.4 Spesifikasi sensor MQ-7.....	32
Tabel 2.5 Bagian dan bahan sensor MQ-135.....	34
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan penelitian.....	37
Tabel 3.2 Alat dan bahan yang digunakan.....	38
Tabel 3.3 Data pengujian dan kalibrasi parameter CO.....	46
Tabel 3.4 Data pengujian dan kalibrasi parameter CH ₄	46
Tabel 3.5 Data pengujian dan kalibrasi parameter CO ₂	47
Tabel 3.6 Variabel <i>fuzzy</i>	48
Tabel 3.7 Aturan variabel <i>fuzzy</i>	53
Tabel 3.8 Data monitoring penyaringan CO, CH ₄ , dan CO ₂	54
Tabel 4.1 Data hasil pengukuran sensor MQ-7 pada gas CH ₄	64
Tabel 4.2 Data hasil pembacaan gas CO dengan sensor MQ-7.....	65
Tabel 4.3 Data pengujian dan kalibrasi gas CO.....	68
Tabel 4.4 Data hasil pembacaan gas CO ₂ dengan sensor MQ-135.....	70
Tabel 4.5 Data pengujian dan kalibrasi gas CO ₂	72
Tabel 4.6 Data <i>output</i> pada kondisi ruang bersih.....	83

Tabel 4.7	Data <i>output</i> pada kondisi ruang polutan.....	84
Tabel 4.8	Hasil pengujian <i>buzzer</i> dan <i>exhaust fan</i>	86
Tabel 4.9	Data kadar gas CO, CO ₂ , dan CH ₄ pada box sebelum penyaringan.....	88
Tabel 4.10	Data kadar gas CO dan CO ₂ pada box setelah penyaringan.....	89

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah perokok aktif maupun pasif terus meningkat terutama di Indonesia, mulai dari remaja hingga orang tua tidak dapat lepas dari rokok. Berdasarkan hasil *Global Adult Tobacco Survey (GATS)* 2021 yang diluncurkan Kementerian Kesehatan (Kemenkes), terjadi penambahan jumlah perokok dewasa sebanyak 8,8 juta orang, yaitu dari 60,3 juta pada tahun 2011 menjadi 69,1 juta perokok pada tahun 2021 selain peningkatan jumlah perokok, data GATS 2021 juga mencatat pengeluaran bulanan rata-rata untuk rokok adalah 382.091,72 Rp. Tidak hanya perokok aktif namun juga perokok pasif yang terkena imbasnya akibat menghirup asap yang berasal dari pembakaran rokok dan juga asap yang dikeluarkan oleh perokok aktif (Humas BKPK, 2023). *World Health Organization (WHO)* telah menempatkan Indonesia sebagai pasar rokok tertinggi ketiga dunia setelah Cina dan India. Menurut data WHO, rokok telah membunuh hampir enam juta orang per tahun, terutama di negara berpenghasilan rendah dan menengah (Nouval et al., 2019).

Pakar kesehatan mengklaim bahwa 100% bahaya asap rokok hanya 25% bahaya yang dirasakan oleh perokok aktif, mengingat adanya filter pada ujung batang rokok. Sementara itu, 75% sisa bahaya justru didapatkan oleh perokok pasif karena terhirup asap rokok secara langsung tanpa melewati filter yang terdapat pada ujung rokok. Terdapat lebih dari 4000 senyawa kimia yang terkandung dalam asap rokok, beberapa diantaranya seperti karbon dioksida, metana dan karbon monoksida (Astuti & Nugraheni, 2021). Senyawa kimia tersebut, dapat menyebabkan sakit kepala, mual, muntah, pusing, kebingungan, dan bahkan kematian jika terpapar CO

dalam jangka waktu yang lama atau dalam konsentrasi yang sangat tinggi. Selain itu kandungan paparan CO₂ yang tinggi dapat mempengaruhi sistem kardiovaskular dengan meningkatkan denyut jantung, meningkatkan tekanan darah, dan menyebabkan ketegangan pada pembuluh darah. Paparan CH₄ dalam jangka panjang dan konsentrasi tinggi juga dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, termasuk batuk, sesak napas, dan peradangan paru-paru (Munawaroh et al., 2021). Dalam upaya untuk mengurangi asap rokok, terutama dalam ruangan merokok/*smoking area* dibutuhkan suatu alat yang dapat membantu membersihkan udara dalam ruangan terhadap polusi asap rokok (Kinanti et al., 2018).

Penelitian yang telah dilakukan terkait alat penyaring asap rokok, salah satunya dilakukan oleh Ilhami dan Hendrawati (2020) yang melakukan penelitian tentang minimalisasi kadar asap rokok menggunakan alat penetralisir berbasis *IoT*, dimana pada penelitian ini menghasilkan alat penetralisir asap rokok dengan menggunakan *zeolit* dan karbon aktif sebagai bahan dasar penyaring dan juga menggunakan sensor MQ-2 yang terhubung pada *NodeMCU* sehingga apabila kadar asap rokok mencapai konsentrasi tertentu akan mengirimkan pemberitahuan melalui telegram. Namun pada alat tersebut memiliki kekurangan yaitu alat tersebut tidak mengindikasikan secara detail jenis senyawa kimia dalam asap rokok yang menjadi tolak ukur dan tidak adanya referensi dalam menentukan *setpoint* kadar ppm aman dan bahaya pada alat. Sedangkan Hananta *et al* (2022) melakukan penelitian tentang alat pendeteksi, penghisap dan penyaring asap rokok. Penelitian ini menghasilkan alat pendeteksi dan penyaring asap rokok dengan menggunakan sensor MQ-7 sebagai pendeteksi karbon monoksida dalam asap rokok, motor *Brushless DC* (BLDC) yang berfungsi menghisap asap rokok yang mengandung CO, filter *High-Efficiency Particulate Air* (HEPA) dan filter karbon aktif yang secara otomatis aktif saat motor BLDC diaktifkan. Namun terdapat kekurangan dari alat ini yaitu motor BLDC dan filter HEPA dinilai tidak ekonomis karena membutuhkan penggunaan daya lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan *exhaust fan*, *zeolit*, dan karbon aktif sebagai penghisap dan penyaring asap rokok. Berdasarkan kedua penelitian di atas, kurangnya pendekatan yang berorientasi pada kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan tingkat paparan asap rokok dan

tidak mampu mengintegrasikan pengetahuan manusia ke dalam proses pengambilan keputusan. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih canggih dan cerdas untuk merancang alat penetralisir asap rokok yang dapat berkinerja optimal dalam berbagai kondisi lingkungan, salah satunya yaitu logika *fuzzy*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai metode yang digunakan untuk *monitoring* gas terdapat dua metode yang dijadikan pertimbangan oleh penulis yaitu metode menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dan metode menggunakan Logika *Fuzzy*. Penelitian yang dilakukan oleh (Ghofur et al., 2021) mengenai identifikasi dan pengukuran gas SO₂ menggunakan metode JST *backpropagation* untuk melatih jaringan dalam memecahkan masalah melalui lapisan-lapisan (*layer*) jaringan hingga menghasilkan *output* yaitu berupa akurasi sebesar 97%. Penelitian lainnya yaitu dilakukan oleh (Hidayati et al., 2020) mengenai sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *fuzzy logic* berdasarkan parameter gas CO, CO₂, dan debu yang mana akan diklasifikasikan ke dalam 5 tingkat kualitas udara dengan akurasi sebesar 99,27% dan tingkat error sebesar 0,73%. Berdasarkan perbandingan hasil akurasi antara metode JST dan logika *fuzzy* terlihat bahwa logika *fuzzy* memiliki tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan JST, sehingga penulis memutuskan untuk menggunakan metode logika *fuzzy* dalam penelitian ini.

Berdasarkan penjelasan di atas, hal ini mendorong penulis untuk membuat perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto untuk meminimalisir kadar asap rokok di ruangan. Dalam penelitian ini akan dibuat sebuah alat yang dapat menyaring kadar asap rokok berdasarkan beberapa parameter di lingkungan sekitar yang diperoleh sebagai masukan dari sensor. Beberapa parameter tersebut antara lain kadar konsentrasi CO, CH₄, dan CO₂ di lingkungan sekitar. Sensor yang digunakan pada penelitian ini antara lain sensor MQ-7 dan MQ-135. Selain itu akan digunakan LCD I2C 20x4 sebagai tampilan kadar konsentrasi pada alat, *exhaust fan* sebagai penghisap asap rokok ke penyaring, juga *zeolit* dan karbon aktif sebagai penyaring asap rokok. Sebelum digunakan, semua sensor akan dikalibrasi dan diuji tingkat

sensitivitasnya masing-masing. *Output* dari sensor-sensor tersebut akan diuji untuk dapat menentukan hasil parameter yang telah disebutkan sebelumnya. Metode logika *fuzzy* yang digunakan adalah logika *fuzzy* Tsukamoto yang dibuat menggunakan *software* Arduino IDE, setelah itu data akan ditampilkan ke LCD.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana membuat perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto?
2. Bagaimana hasil pengujian waktu aktif dari alat penetralisir asap rokok saat ruang bebas asap dan ruang dengan asap rokok?
3. Bagaimana hasil pengujian alat penetralisir asap rokok dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto berdasarkan kadar CO, CH₄, dan CO₂?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Membuat perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto.
2. Melakukan pengujian waktu aktif dari alat penetralisir asap rokok saat ruang bebas asap dan ruang dengan asap rokok.
3. Melakukan pengujian alat penetralisir asap rokok dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto berdasarkan kadar CO, CH₄, dan CO₂.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Terealisasinya perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto.
2. Mengurangi kadar CO, CH₄, dan CO₂ pada asap rokok yang berada dalam *smoking room*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

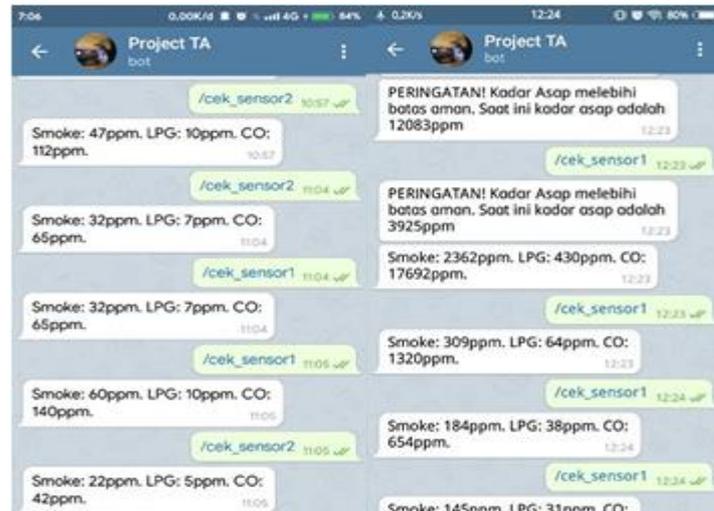
1. Sensor yang digunakan adalah MQ-7 dan MQ-135.
2. Metode logika *fuzzy* yang digunakan adalah logika *fuzzy* Tsukamoto.
3. Modul mikrokontroller yang digunakan adalah Arduino Uno R3.
4. Bahan penyaring yang digunakan adalah *zeolit* dan karbon aktif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian untuk menyaring asap rokok telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti, masing-masing mempunyai karakteristik dan tujuan yang berbeda. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk mendukung penelitian ini.

Ilhami dan Hendrawati (2020) membuat alat penetralisir asap rokok berbasis *IoT* dengan menggunakan dua buah sensor MQ-2. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-2 sebagai sensor asap dan *NodeMCU* sebagai mikrokontroler dan modul *IoT*. Selain itu pada penelitian ini juga menggunakan *buzzer* sebagai alarm dan juga *exhaust fan* sebagai penghisap dan pembuang asap rokok. Sistem yang dirancang pada penelitian ini bekerja dengan mendeteksi asap secara otomatis. Dalam hal ini monitoring pada alat dapat dilakukan kapanpun dan dimanapun jika terdapat koneksi internet. Cara pengoperasian alat penetralisir asap rokok dilakukan dengan menyerap asap melalui *exhaust fan* yang akan disaring oleh *zeolit* dan karbon aktif pada sistem penyaring menjadi udara bersih. Alat ini mengklasifikasi kondisi asap berdasarkan konsentrasi asap ppm (*part per million*). Kondisi pertama adalah jika konsentrasi asap kurang dari 160 ppm, pada kondisi ini *buzzer* tidak aktif dan *exhaust fan* tidak akan hidup. Kondisi kedua adalah jika konsentrasi asap lebih dari 160 ppm, pada kondisi ini *buzzer* dan relay *exhaust fan* akan hidup. Kondisi ketiga adalah jika kondisi asap lebih dari 3000 ppm, pada kondisi ini *buzzer* dan relay *exhaust fan* akan hidup dan alat akan mengirimkan peringatan melalui telegram. **Gambar 2.1** menunjukkan tampilan pengujian monitoring melalui telegram dan **Gambar 2.2** menunjukkan rancangan alat secara keseluruhan.



Gambar 2.1 Tampilan pengujian monitoring melalui telegram (Ilhami & Hendrawati, 2020)



Gambar 2.2 Rancangan alat secara keseluruhan (Ilhami & Hendrawati, 2020)

Nouval *et al.*, (2019) melakukan realisasi alat penyaring H_2 , CH_4 , dan CO yang terkandung dalam asap rokok berbasis arduino. Penelitian ini menggunakan dua buah sensor MQ-7, modul Arduino Uno sebagai mikrokontroller, *zeolit* dan karbon aktif sebagai senyawa penyaring asap rokok dan *exhaust fan* sebagai penghisap dan pembuang gas. Sistem yang dihasilkan akan membaca kadar ppm dari asap rokok tersebut. Saat kadar ppm mencapai angka 40 ppm untuk karbon monoksida (CO), 35 ppm untuk hidrogen (H_2) dan 10 ppm untuk metana (CH_4), maka sensor MQ-7 akan memberikan sinyal pada arduino uno yang merupakan *set point* untuk mengaktifkan *exhaust fan*. Setelah aktif maka asap rokok akan terhisap dan melewati tahap filtrasi. Kemudian pada saat kadar ppm sudah

mencapai *set point* yang sudah ditentukan maka *exhaust fan* akan kembali mati dan proses tersebut akan terus berulang seiring bagaimana kondisi kadar asap.

2.2 Kualitas Udara

Kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung maupun akibat proses alam menyebabkan kualitas udara turun sampai ke tingkat tertentu sehingga menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya (Asfiati & Indrayani, 2018). Semakin meningkatnya pertumbuhan suatu kota beriringan dengan meningkatnya kegiatan manusia dan bertambahnya jumlah kendaraan di perkotaan mengakibatkan komposisi udara ambien mengalami perubahan kualitas. Udara ambien merupakan udara bebas dipermukaan bumi yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya (Kementerian Lingkungan Hidup, 2022). Komposisi udara kering yang bersih dikumpulkan di sekitar laut dapat dilihat pada **Tabel 2.1**. Konsentrasi gas dinyatakan dalam persen atau per sejuta (ppm = *part per million*) (Stoker & Seager, 1975).

Tabel 2.1 Komposisi udara kering dan bersih (Stoker & Seager, 1975)

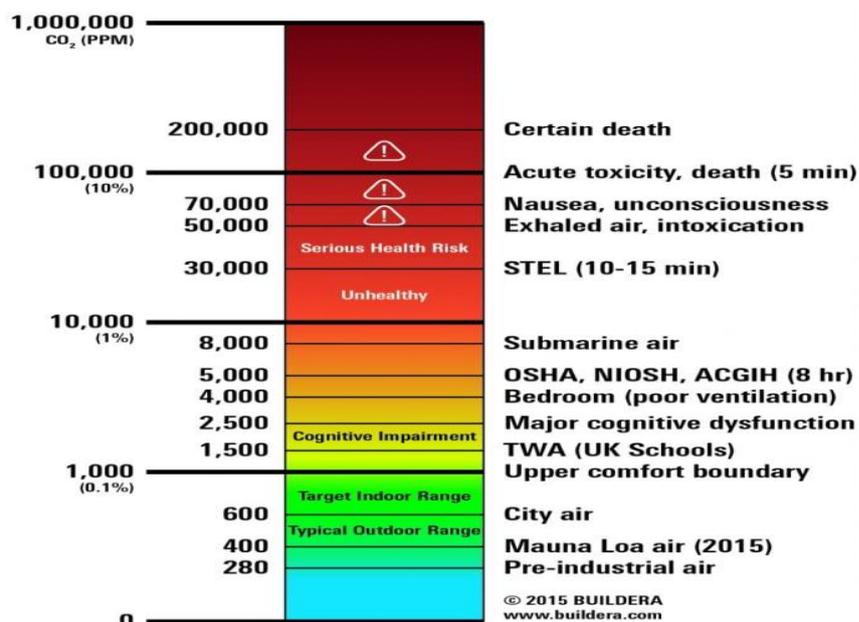
Jenis Gas	Formula	Konsentrasi (% volume)	ppm
Nitrogen	N ₂	78,08	780, 800
Oksigen	O ₂	20,95	209, 500
Argon	Ar	0,934	9, 340
Karbon Dioksida	CO ₂	0,0314	314
Neon	Ne	0,0812	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH ₄	0,0002	2
Karbon Monoksida	CO	0,02	200

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali. beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan karbon monoksida (CO) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya. Selain itu partikel-partikel padatan atau cairan berukuran kecil dapat tersebar di udara oleh angin, letusan vulkanik atau gangguan alam lainnya.

Selain disebabkan polutan alami tersebut, polusi udara juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia (Stoker & Seager, 1975).

Penanda utama kualitas udara dalam ruangan adalah karbon dioksida, yang dihasilkan dari pernapasan manusia dan hewan, bahan organik yang membusuk, pembakaran kayu, karbohidrat, dan juga bahan bakar fosil. Pada kepadatan yang rendah, CO₂ tidak berbau dan tidak berasa. Namun, tekanan dalam ruangan yang berbeda dapat mengganti metrik kualitas udara tertentu, terutama para penghuni biofluen yang berbau. Dalam sebuah studi terobosan, menurut Lawrence Berkeley National Laboratory, “Pada sembilan skala kinerja pengambilan keputusan, yang subjek yang di uji menunjukkan pengurangan yang signifikan pada enam skala pada tingkat CO₂ 1000 parts per million (ppm) dan besar pengurangan tujuh skala pada 2500 ppm”. Tingkat bahaya karbon dioksida ditunjukkan pada **Gambar 2.3** berikut.

Carbon Dioxide (CO₂) Hazard Scale



Gambar 2.3 Skala berbahaya karbon dioksida (Buildera, 2019)

Peningkatan kadar CO₂ lebih dari 600-700 ppm di atas tingkat luar ruangan membutuhkan fokus khusus pada fungsi ventilasi dan sumber emisi. Meskipun banyak standar global yang ada menetapkan batas paparan rata-rata harian

maksimum hingga 5000 ppm, penelitian menunjukkan bahwa gangguan kognitif dan persepsi kualitas udara yang buruk dimulai pada 1000 ppm (absolut), atau 600-700 ppm (diferensial) di atas tingkat luar (Buildera, 2019).

2.2.1 Udara Bersih

Udara bersih adalah udara yang mengandung beberapa macam gas dengan komposisi yang normal. Contohnya gas oksigen O_2 merupakan esensial bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia. Namun, akibat aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan, udara sering sekali menurun kualitasnya. Perubahan ini dapat berupa sifat-sifat fisis maupun kimiawi. Perubahan kimiawi dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara. Kondisi seperti itu lazim disebut dengan pencemaran (polusi) udara (Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

2.2.2 Udara Kotor

Secara umum definisi udara tercemar adalah perbedaan komposisi udara aktual dengan kondisi udara normal dimana komposisi udara aktual tidak mendukung kehidupan manusia. Bahan atau zat pencemaran udara sendiri dapat berbentuk gas dan partikel. Dalam bentuk gas dapat dibedakan menjadi:

- a) Golongan belerang (sulfur dioksida, hidrogen sulfida, sulfat aerosol)
- b) Golongan nitrogen (nitrogen oksida, nitrogen monoksida, amoniak, dan nitrogen dioksida)
- c) Golongan karbon (karbon dioksida, karbon monoksida, hidrokarbon)

Sedangkan jenis pencemaran udara berbentuk partikel dibedakan menjadi tiga yaitu:

- a) Mineral (anorganik) dapat berupa racun seperti air raksa dan timah.
- b) Bahan organik yang terdiri dari ikatan hidrokarbon, klorisasi alkan, benzene.
- c) Makhluk hidup terdiri dari bakteri, virus, telur cacing.

Sementara itu, jenis pencemaran udara menurut tempat dan sumbernya dibedakan menjadi dua yaitu:

- a) Pencemaran udara bebas meliputi secara alamiah (letusan gunung berapi, pembusukan, dan lain-lain) dan bersumber kegiatan manusia, misalnya berasal dari kegiatan industri, rumah tangga, asap kendaraan bermotor.
- b) Pencemaran udara ruangan meliputi dari asap rokok, bau tidak sedap di ruangan.

Beberapa contoh parameter dari udara bersih dan udara tercemar dapat dilihat pada **Tabel 2.2**:

Tabel 2.2 Konversi konsentrasi parameter ISPU (Peraturan Pemerintah RI, 2020)

ISPU	24 Jam (PM ₁₀) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (PM _{2.5}) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (SO ₂) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (CO) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (O ₃) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (NO ₂) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 Jam (HC) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Berdasarkan **Tabel 2.2** data pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan keterangan ISPU sebagai berikut:

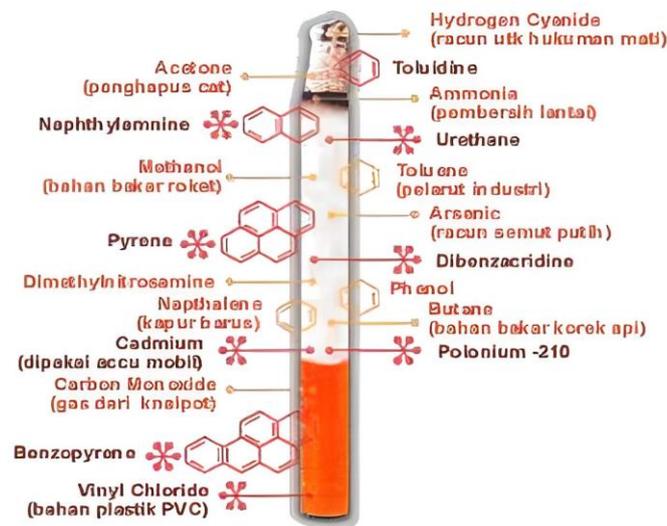
1. Baik: 1-50
2. Sedang: 51-100
3. Tidak sehat: 101-200
4. Sangat tidak sehat: 201-300
5. Berbahaya: ≥ 301 (Peraturan Pemerintah RI, 2020).

2.3 Asap Rokok

Merokok sudah menjadi kebiasaan yang sangat umum dan meluas di masyarakat. Bahaya merokok terhadap kesehatan tubuh telah dirasakan oleh banyak orang dan efek-efek yang ditimbulkan pun sudah diketahui dengan jelas. Banyak penelitian membuktikan kebiasaan merokok menyebabkan timbulnya berbagai penyakit dalam tubuh kita, seperti penyakit jantung dan gangguan pembuluh darah, kanker paru-

paru, kanker rongga mulut, kanker laring, tekanan darah tinggi, impotensi serta gangguan kehamilan dan cacat pada janin. Bahaya rokok juga bukan hanya ditunjukkan bagi para perokok (perokok aktif) tetapi juga bagi orang-orang yang bukan perokok (perokok pasif) dan justru efek yang diterima dari perokok pasif akan jauh lebih berbahaya dari perokok aktif (Syahraeni *et al.*, 2022).

Merokok membahayakan bagi hampir semua organ tubuh, menimbulkan banyak penyakit dan mempengaruhi kesehatan perokok secara umum. Besarnya bahaya merokok sebenarnya bukan tidak disadari oleh para perokok, karena pada setiap bungkus rokok kini terdapat peringatan wajib dari pemerintah yang berbunyi: “merokok dapat menyebabkan kanker, serangan jantung, impotensi, dan gangguan kehamilan pada janin” Tetapi, seringkali kuatnya ketergantungan terhadap rokok membuat orang tidak mau berhenti menghisapnya, sampai suatu ketika divonis mengidap salah satu penyakit berbahaya tersebut (Marsita, 2022). Kandungan rokok dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.

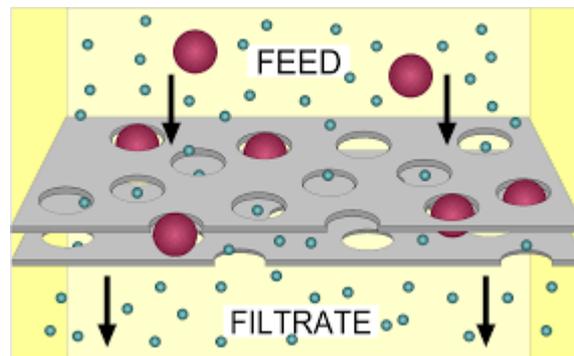


Gambar 2.4 Kandungan rokok (Marsita, 2022)

2.4 Penyaringan

Filtrasi (disebut pula sebagai penyaringan) adalah pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau septum, yang di atasnya padatan akan terendapkan. Rentang filtrasi pada industri mulai dari

penyaringan sederhana hingga pemisahan yang kompleks. Fluida yang difiltrasi dapat berupa cairan atau gas (Foust *et al.*, 1980). Aliran yang lolos dari saringan mungkin saja cairan, padatan, atau keduanya. Suatu saat justru limbah padatnya lah yang harus dipisahkan dari limbah cair sebelum dibuang. Dalam industri, kandungan padatan suatu umpan mempunyai range dari hanya sekadar jejak sampai persentase yang besar. Seringkali umpan dimodifikasi melalui beberapa pengolahan awal untuk meningkatkan laju filtrasi, misal dengan pemanasan, kristalisasi, atau memasang peralatan tambahan pada penyaring seperti selulosa atau tanah diatomea. Oleh karena varietas dari material yang harus disaring beragam dan kondisi proses yang berbeda, banyak jenis penyaring telah dikembangkan, beberapa jenis akan dijelaskan pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Filtrasi (Ma'ruf *et al.*, 2021)

Fluida mengalir melalui media penyaring karena perbedaan tekanan yang melalui media tersebut. Penyaring dapat beroperasi pada:

- a) Tekanan di atas atmosfer pada bagian atas media penyaring.
- b) Tekanan operasi pada bagian atas media penyaring.
- c) Vakum pada bagian bawah (Ma'ruf *et al.*, 2021).

Tekanan di atas atmosfer dapat dilaksanakan dengan gaya gravitasi pada cairan dalam suatu kolom, dengan menggunakan pompa atau blower, atau dengan gaya sentrifugal, penyaring tersebut beroperasi secara kontinyu atau diskontinyu, tergantung apakah buangan dari padatan tersaring tunak (*steady*) atau sebentar-sebentar. Sebagian besar siklus operasi dari penyaring diskontinyu, aliran fluida melalui peralatan secara kontinyu, tetapi harus dihentikan secara periodik untuk

membuang padatan terakumulasi. Dalam saringan kontinyu buangan padat atau fluida tidak dihentikan selama peralatan beroperasi (Oxtoby *et al.*, 2016).

2.5 Zeolit

Zeolit adalah kelompok mineral yang dalam pengertian atau penamaan bahan galian merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri dari 48 jenis yang terdata dan pernah dijumpai oleh kegiatan penyelidikan yang pernah dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. *Zeolit* adalah satu kelompok berkerangka alumino-silikat yang terjadi di alam dengan kapasitas tukar kation yang tinggi, adsorpsi tinggi dan bersifat hidrasi-dehidrasi. Telah diketahui sekitar 50 spesies yang berbeda dari kelompok mineral ini, tetapi hanya 9 mineral *zeolit* yang sering dijumpai, seperti *analcim*, *chabazit*, *klinoptilolit*, *heulandit*, *erionit*, *ferrierit*, *laumontit*, *mordenit*, dan *philipsit*. Struktur dari setiap mineral ini berbeda tetapi semuanya mempunyai lorong terbuka yang besar dalam struktur kristal yang memungkinkan satu lubang besar untuk penyerapan dan bertukar kation, mengakibatkan *zeolit* sangat efektif sebagai penukar kation (Selvina *et al.*, 2021).

Pemanfaatan *zeolit* telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industri dan pertanian, juga bagi lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena *zeolit* dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya. *Zeolit* merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator. Potensi *zeolit* di Indonesia 79 secara geologi, mula jadi *zeolit* ditemukan dalam batuan tuf yang terbentuk dari hasil sedimentasi, debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Ada empat proses sebagai gambaran mula jadi *zeolit*, yaitu proses sedimentasi debu vulkanik pada lingkungan danau yang bersifat alkali, proses alterasi, proses diagnosis dan proses hidrotermal. Indonesia berada dalam wilayah rangkaian gunung berapi mulai dari

Sumatera, Jawa, Nusatenggara, sampai Sulawesi. Beragam jenis batuan gunung api yang dihasilkan, diantaranya berupa batuan piroklastika tuf berbutir halus yang bersifat asam dan bersusunan dasit-riolit atau bermassa kaca gunung api. Tuf halus ini tersebar luas mengikuti jalur gunung api tersebut yang sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses ubahan atau diagenesis menjadi *zeolit*. Karenanya, secara geologi Indonesia berpotensi besar menghasilkan *zeolit* seperti terdapat di Sumatera (Lampung, Sumatera Utara), Jawa (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur), Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi (Putra *et al.*, 2018). Bisa dilihat gambar *zeolit* pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Contoh *zeolit* (Putra *et al.*, 2018)

Zeolit memiliki struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh sebab itu *zeolit* dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator. Adapun sifat-sifat *zeolit* adalah sebagai berikut:

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi mineral *zeolit* akan berpengaruh terhadap sifat absorpsinya. *Zeolit* dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraktif dengan molekul yang akan terabsorpsi.

b. Absorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal *zeolit* terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal *zeolit* dipanaskan $300^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ maka air tersebut akan keluar sehingga *zeolit* dapat berfungsi sebagai penyerap

gas atau cairan. Beberapa jenis mineral *zeolit* dapat menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering.

c. Katalis

Ciri paling khusus dari mineral *zeolit* secara praktis akan menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang akan membentuk saluran di dalam strukturnya. Bila *zeolit* digunakan dalam proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antara kristal.

d. Penukar ion

Ion-ion dalam mineral *zeolit* berguna untuk menjaga kenetralan *zeolit*. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung ukuran dan muatan maupun jenis *zeolit* nya.

e. Penyaring/pemisah

Distribusi diameter dari pori-pori *zeolit* lebih efektif dalam menyaring molekul, memisahkan molekul berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas molekul daripada media berpori lainnya (Renni *et al.*, 2018)

2.6 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa *amorf* yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi, karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif. Karbon aktif dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. Karbon aktif sebagai pemucat

Biasanya berbentuk powder halus dengan diameter pori 1000 Å (*angstrom*), digunakan dalam fase cair dan berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu.

2. Karbon aktif sebagai penyerap uap

Biasanya berbentuk granular atau pelet yang sangat keras, diameter porinya 10 – 200 Å (*angstrom*), umumnya digunakan pada fase gas yang berfungsi untuk pengembalian pelarut, katalis, dan pemurniaan gas (Ruthven, 1984).

2.6.1 Bentuk Karbon Aktif

1. Karbon aktif bentuk serbuk

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm. Terutama digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Bisa dilihat gambar karbon aktif berbentuk serbuk pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Karbon aktif bentuk serbuk (Smisek & Cerny, 1970)

Biasanya digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi, bahan tambahan makanan, penghalus gula, pemurnian glukosa dan pengolahan zat pewarna kadar tinggi.

2. Karbon aktif bentuk granular

Karbon aktif bentuk granular berukuran dengan ukuran 0,2 – 5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk: pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk. Bisa dilihat gambar karbon aktif bentuk granular pada **Gambar 2.8** (Smisek & Cerny, 1970).



Gambar 2.8 Karbon aktif bentuk granular (Smisek & Cerny, 1970)

3. Karbon aktif bentuk pellet

Karbon aktif bentuk pellet dengan diameter 0,8 – 5 mm. Kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Bisa dilihat gambar karbon aktif bentuk pellet pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Karbon aktif bentuk pellet (Efiyanti *et al.*, 2019)

Biasanya digunakan untuk pemurnian udara, control emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran dan pengontrol emisi pada gas buang (Efiyanti *et al.*, 2019).

2.6.2 Fungsi Karbon Aktif

Pada umumnya karbon atau arang aktif digunakan sebagai bahan pembersih, dan penyerap, juga digunakan sebagai bahan pengemban katalisator. Pada industri karet ban arang aktif yang mempunyai sifat radikal dan serbuk sangat halus, digunakan sebagai bahan aditif kopolimer.

1. Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air
2. Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben pemurnian gas.
3. Karbon aktif berfungsi sebagai penyerap hasil tambang dalam industri pertambangan.
4. Karbon aktif berfungsi sebagai pemucat atau penghilang warna kuning pada gula pasir.
5. Karbon aktif berfungsi untuk mengolah limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya).
6. Dapat berfungsi sebagai penyegar atau pembersih udara dari kandungan uap air (Handika *et al.*, 2017).

2.6.3 Aplikasi Karbon Aktif

Proses penyerapan dengan menggunakan karbon aktif sudah berkembang dengan sangat luas diantaranya dalam proses pengolahan dalam skala industri.

Tabel 2.3 Aplikasi penggunaan karbon aktif dalam industri (Winata *et al.*, 2020)

No	Industri	Kegunaan	Ukuran mesh
1	Industri obat dan makanan	Menyaring, menghilangkan bau dan rasa	240
2	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah	240
3	Pembersih air	Penghilang warna, dan bau	48
4	Industri gula	Penghilang zat-zat warna, proses penyaringan menjadi lebih sempurna	32,48
5	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali sebagai pelarut	32,48,240
6	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap	32,48
7	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil klorida, vinil asetat	32,120
8	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan bau	240

2.7 Logika Fuzzy

Konsep tentang logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada 1962. Logika *fuzzy* adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, embedded sistem, jaringan pc, multi chanel atau workstation berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol (Irawan & Herviana, 2018).

2.7.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan adalah suatu kumpulan atau koleksi objek-objek yang mempunyai kesamaan sifat tertentu. Himpunan *fuzzy* merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai, masing nilai mempunyai derajat keanggotaan antara 0 sampai dengan 1. Suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}$, yang nilainya berada dalam interval $[0,1]$, dapat dinyatakan dengan **Persamaan 2.1**:

$$\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow [0,1] \quad (2.1)$$

Himpunan *fuzzy* \tilde{A} dalam semesta pembicaraan U biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen u (u anggota U) dan derajat keanggotaanya dinyatakan dengan **Persamaan 2.2**:

$$\tilde{A} = \{(u, \mu_{\tilde{A}}(u)) | u \in U\} \quad (2.2)$$

Ada beberapa cara untuk menotasikan himpunan *fuzzy*, antara lain:

Himpunan *fuzzy* ditulis sebagai pasangan berurutan, dengan elemen pertama menunjukkan nama elemen dan elemen kedua menunjukkan nilai keanggotaanya (Setiawan *et al.*, 2018).

Apabila semesta X adalah himpunan yang diskret, maka himpunan *fuzzy* \tilde{A} dapat dinotasikan dengan **Persamaan 2.3**:

$$\tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(x_1) / x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2) / x_2 + \dots + \mu_{\tilde{A}}(x_n) / x_n \text{ atau} \\ \tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(X_i) / X_i \quad (2.3)$$

Tanda Σ bukan menotasikan operasi penjumlahan seperti yang dikenal pada aritmetika, tetapi melambangkan keseluruhan unsur-unsur $x \in X$ bersama dengan

fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ dalam himpunan *fuzzy* \tilde{A} . Tanda + bukan menotasikan penjumlahan, tetapi melambangkan pemisahan antara keanggotaan elemen himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan fungsi keanggotaan yang lain. Tanda / juga bukan lambang pembagian yang dikenal dalam kalkulus, tetapi melambangkan hubungan antara satu elemen himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan fungsi keanggotaannya.

Apabila semesta X adalah himpunan yang kontinu maka himpunan *fuzzy* \tilde{A} dapat dinotasikan dengan **Persamaan 2.4**:

$$\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}}(X) / X \quad (2.4)$$

Tanda \int bukan lambang integral seperti dalam kalkulus, yang menotasikan suatu integrasi, melainkan keseluruhan unsur-unsur titik $x \in X$ bersama dengan fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ dalam himpunan *fuzzy* \tilde{A} . Tanda / juga bukan lambang pembagian, tetapi melambangkan hubungan antara satu elemen x pada himpunan *fuzzy* \tilde{A} dengan fungsi keanggotaannya.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami himpunan *fuzzy*, yaitu:

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan suatu lambang atau kata yang menunjuk kepada suatu yang tidak tertentu dalam sistem *fuzzy*.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu kumpulan yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang memiliki suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa, seperti: Muda, Parobaya, Tua.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 5, 10, 15, dan sebagainya.

c. Semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2003).

2.7.2 Fungsi Keanggotaan

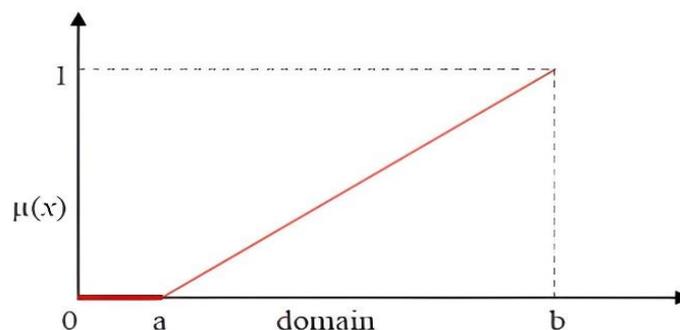
Fungsi keanggotaan (membership function) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya:

- a) Representasi linear.
- b) Representasi kurva segitiga.
- c) Representasi kurva trapesium.

A. Representasi linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linear.

1. Representasi linear naik, yaitu kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi. Bisa dilihat kurva representasi nilai naik pada **Gambar 2.10**.

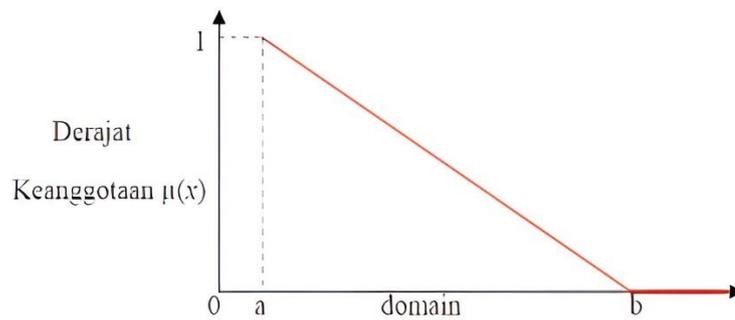


Gambar 2.10 Representasi nilai baik (Setiawan *et al.*, 2018)

Fungsi keanggotaannya didefinisikan dengan **Persamaan 2.5**:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; & a < x \leq b \end{cases} \quad (2.5)$$

2. Representasi linear turun, yaitu garis lurus yang dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Bisa dilihat kurva representasi linear turun pada **Gambar 2.11**.



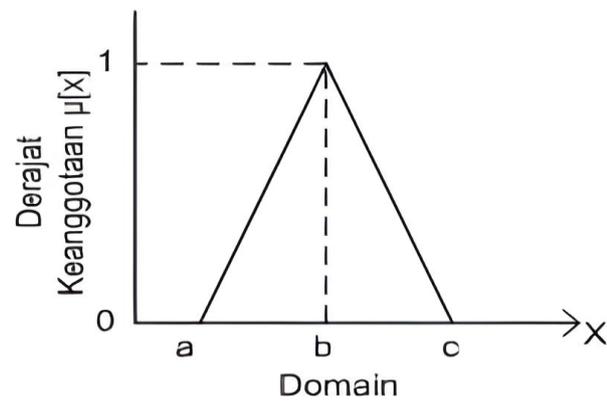
Gambar 2.11 Representasi linear turun (Setiawan *et al.*, 2018)

Fungsi keanggotaannya didefinisikan dengan **Persamaan 2.6**:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{(b-a)} & ; & a < x \leq b \\ 0 & ; & x \geq b \end{cases} \quad (2.6)$$

B. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga, pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linear (representasi linear naik dan representasi linear turun), seperti terlihat pada **Gambar 2.12**.



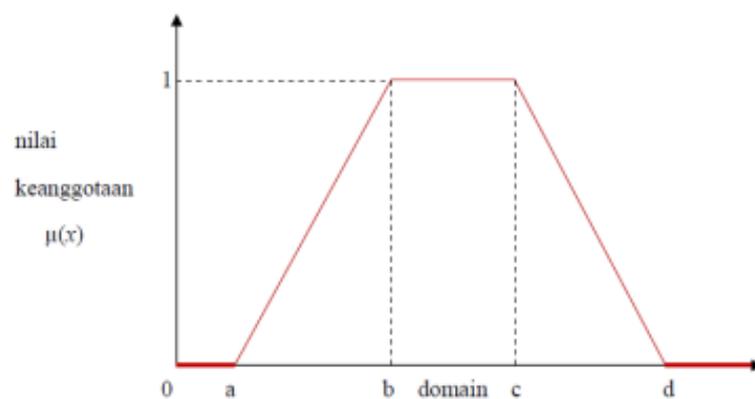
Gambar 2.12 Representasi kurva segitiga (Setiawan *et al.*, 2018)

Fungsi keanggotaannya didefinisikan dengan **Persamaan 2.7**:

$$\mu(x) \begin{cases} 0 & ; & x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; & b < x < c \end{cases} \quad (2.7)$$

C. Representasi kurva trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk kurva segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (satu), seperti pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Representasi Kurva Trapesium (Setiawan *et al.*, 2018)

Fungsi keanggotaan nya didefinisikan dengan **Persamaan 2.8:**

$$\mu(x) \begin{cases} 0 ; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} ; & a < x \leq b \\ \frac{d-x}{d-c} ; & b < x < c \\ 1 ; & c < x < d \end{cases} \quad (2.8)$$

2.7.3 Operasi-operasi pada Himpunan *Fuzzy*

Seperti halnya himpunan tegas (*crisp set*), ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau *a-cut*. Ada tiga operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu: AND, OR, dan NOT.

A. Operasi AND

Operasi AND (*intersection*) berhubungan dengan operasi irisan pada himpunan. *Intersection* dari 2 himpunan adalah minimum dari tiap pasangan elemen pada kedua himpunan. Dimisalkan, himpunan *fuzzy* C adalah *intersection* dari himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan himpunan *fuzzy* B dan didefinisikan dengan **Persamaan 2.9:**

$$\mu_c(x) = \min \{ \mu_a(x), \mu_b(x) \} \quad (2.9)$$

B. Operasi OR

Operasi OR (*Union*) berhubungan dengan operasi gabungan pada himpunan. *Union* dari 2 himpunan adalah maksimum dari tiap pasang elemen pada kedua himpunan. Dimisalkan, himpunan *fuzzy* C adalah *union* dari himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan himpunan *fuzzy* B dan didefinisikan dengan **Persamaan 2.10:**

$$\mu_c(x) = \max \{ \mu_a(x), \mu_b(x) \} \quad (2.10)$$

C. Operasi NOT

Operasi NOT berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. Komplemen himpunan *fuzzy* \tilde{A} diberi tanda \tilde{A}^c (NOT \tilde{A} dan didefinisikan dengan **Persamaan 2.11**:

$$\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (2.11)$$

2.7.4 Proposisi *Fuzzy*

Proposisi *fuzzy* adalah kalimat yang memuat predikat *fuzzy*, yaitu predikat yang dapat direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy*. Proposisi *fuzzy* yang mempunyai kebenaran tertentu disebut pernyataan *fuzzy*. Nilai kebenaran suatu pernyataan *fuzzy* dapat dinyatakan dengan suatu bilangan real dalam rentang [0,1] (Susilo, 2006). Nilai kebenaran itu disebut juga derajat kebenaran pernyataan *fuzzy*. Bentuk umum suatu proposisi *fuzzy* dapat dituliskan dengan **Persamaan 2.12**:

$$x = A \quad (2.12)$$

Variabel x adalah suatu variabel linguistik dan A adalah predikat yang menggambarkan keadaan x . bila \tilde{A} adalah himpunan *fuzzy* yang dikaitkan dengan nilai linguistik A , dan x_0 adalah suatu elemen tertentu dalam semesta X dari himpunan *fuzzy* \tilde{A} . Derajat kebenaran pernyataan *fuzzy* “ x_0 adalah A ” didefinisikan sama dengan derajat keanggotaan x_0 dalam himpunan *fuzzy* \tilde{A} , yaitu $\mu_{\tilde{A}}(x_0)$. Misalkan jika proposisi *fuzzy* “ x adalah A ” dilambangkan dengan $p(x)$, pernyataan *fuzzy* “ x_0 adalah A ” dengan $p(x_0)$ dan derajat kebenaran $p(x_0)$ dengan $\tau(p(x_0)) = \mu_{\tilde{A}}(x_0)$ (Kusumadewi, 2003).

2.7.5 Implikasi *Fuzzy*

Proposisi *fuzzy* yang sering digunakan dalam aplikasi teori *fuzzy* adalah implikasi *fuzzy*. Bentuk umum suatu implikasi *fuzzy* adalah:

Jika x adalah A , maka y adalah B

Variabel x dan y adalah variabel linguistik, A dan B adalah predikat-predikat *fuzzy* yang dikaitkan dengan himpunan-himpunan *fuzzy* A dan B dalam semesta X dan Y

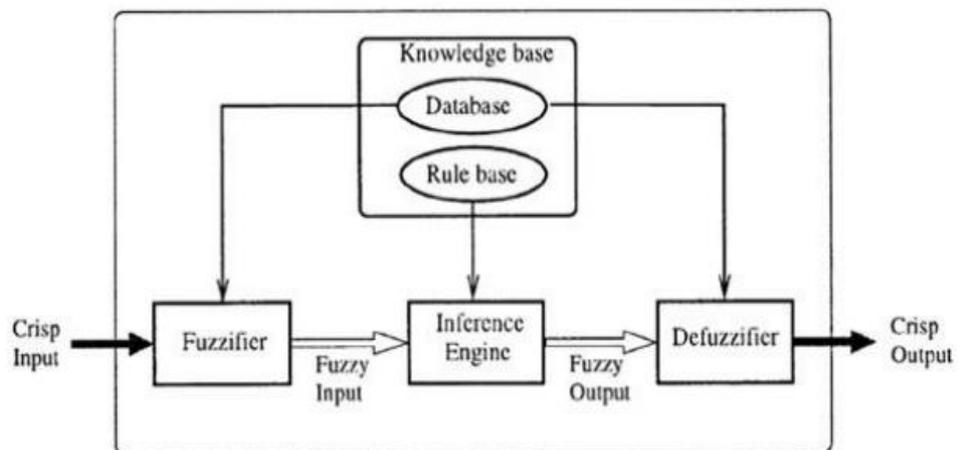
berturut-turut. Proposisi yang mengikuti kata “jika” disebut sebagai anteseden; sedangkan proposisi yang mengikuti kata “maka” disebut sebagai konsekuen (Setiawan *et al.*, 2018).

2.7.6 Sistem Inferensi Fuzzy

Salah satu aplikasi logika *fuzzy* yang telah berkembang amat luas ini adalah sistem inferensi *fuzzy* (*Fuzzy Inference System/ FIS*), yaitu sistem komputasi yang bekerja atas dasar prinsip penalaran *fuzzy*, seperti halnya manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Sistem ini berfungsi untuk mengambil keputusan melalui proses tertentu dengan mempergunakan aturan inferensi berdasarkan logika *fuzzy*. Pada dasarnya sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari empat unit, yaitu:

1. Unit fuzzifikasi (*fuzzification unit*)
2. Unit penalaran logika *fuzzy* (*fuzzy logic reasoning unit*)
3. Unit basis pengetahuan (*knowledge base unit*), yang terdiri dari dua bagian:
 - a. Basis data (*data base*), yang memuat fungsi-fungsi keanggotaan dari himpunan-himpunan *fuzzy* yang terkait dengan nilai dari variabel-variabel linguistik yang dipakai.
 - b. Basis aturan (*rule base*), yang memuat aturan-aturan berupa implikasi *fuzzy*.
4. Unit defuzzifikasi (*defuzzification unit / unit penegasan*).

Pada sistem inferensi *fuzzy*, nilai-nilai masukan tegas dikonversikan oleh unit fuzzifikasi ke nilai *fuzzy* yang sesuai. Hasil pengukuran yang telah difuzzikan itu kemudian diproses oleh unit penalaran, yang dengan menggunakan unit basis pengetahuan, menghasilkan himpunan *fuzzy* sebagai keluarannya. Langkah terakhir dikerjakan oleh unit defuzzifikasi yaitu menerjemahkan himpunan keluaran itu ke dalam nilai yang tegas. Nilai tegas inilah yang kemudian direalisasikan dalam bentuk suatu tindakan yang dilaksanakan dalam proses itu. Langkah-langkah tersebut secara skematis disajikan dalam **Gambar 2.14** berikut ini:



Gambar 2.14 Struktur dasar sistem inferensi *fuzzy* (Setiawan *et al.*, 2018)

2.7.7 Logika *Fuzzy* Metode Tsukamoto

Pengambilan keputusan merupakan bagian penting dalam sistem. Sistem inferensi *fuzzy* merumuskan aturan-aturan yang sesuai dan keputusan dibuat berdasarkan aturan. Hal ini didasarkan pada konsep teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* “IF...THEN...” dan penghubung dalam pernyataan OR atau AND untuk membuat aturan keputusan yang diperlukan. Dasar sistem inferensi *fuzzy* adalah dapat mengambil input *fuzzy* atau *crisp*, tetapi output yang dihasilkan hampir selalu himpunan *fuzzy*. Ketika sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan perlu memiliki keluaran *crisp*, maka dalam hal ini defuzzifikasi diadopsi untuk ekstrak terbaik nilai *crisp* yang paling mewakili himpunan *fuzzy*.

Metode Tsukamoto mengaplikasikan penalaran pada setiap aturannya, dengan sistem yang terdiri atas beberapa aturan dimana setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF...THEN... harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Saat proses evaluasi aturan dalam inferensi, metode Tsukamoto menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap rule ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$). Masing-masing nilai α -predikat digunakan untuk menghitung hasil inferensi secara tegas (*crisp*) masing-masing rule ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$). Implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat dapat dihitung dengan **Persamaan 2.13**:

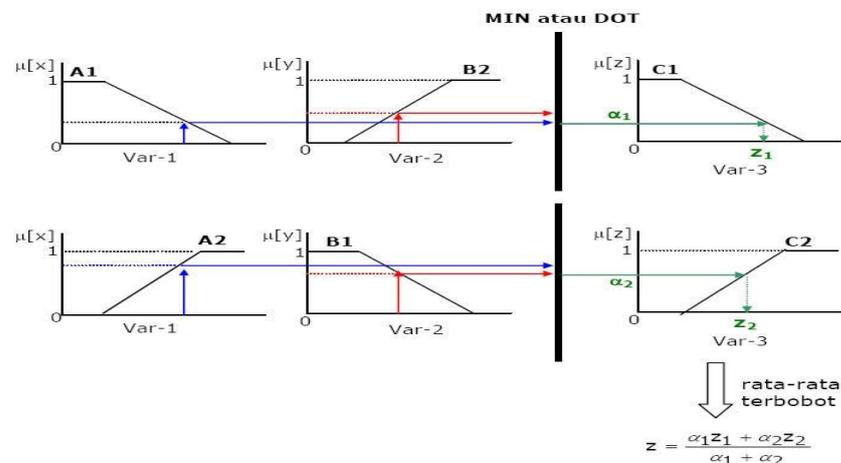
$$\alpha - \text{predikat}_n = \min [\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.13)$$

Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan defuzzifikasi dengan konsep rata-rata terbobot (Kusumadewi, 2003).

Proses defuzzifikasi pada metode Tsukamoto menggunakan metode *weighted average* dengan **Persamaan 2.14** berikut ini:

$$Z = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \alpha - \text{predikat}_n * z_n}{\sum_{n=1}^{\infty} \alpha - \text{predikat}_n} \quad (2.14)$$

Sistem inferensi fuzzy dengan menggunakan metode Tsukamoto ditunjukkan pada **Gambar 2.15**:

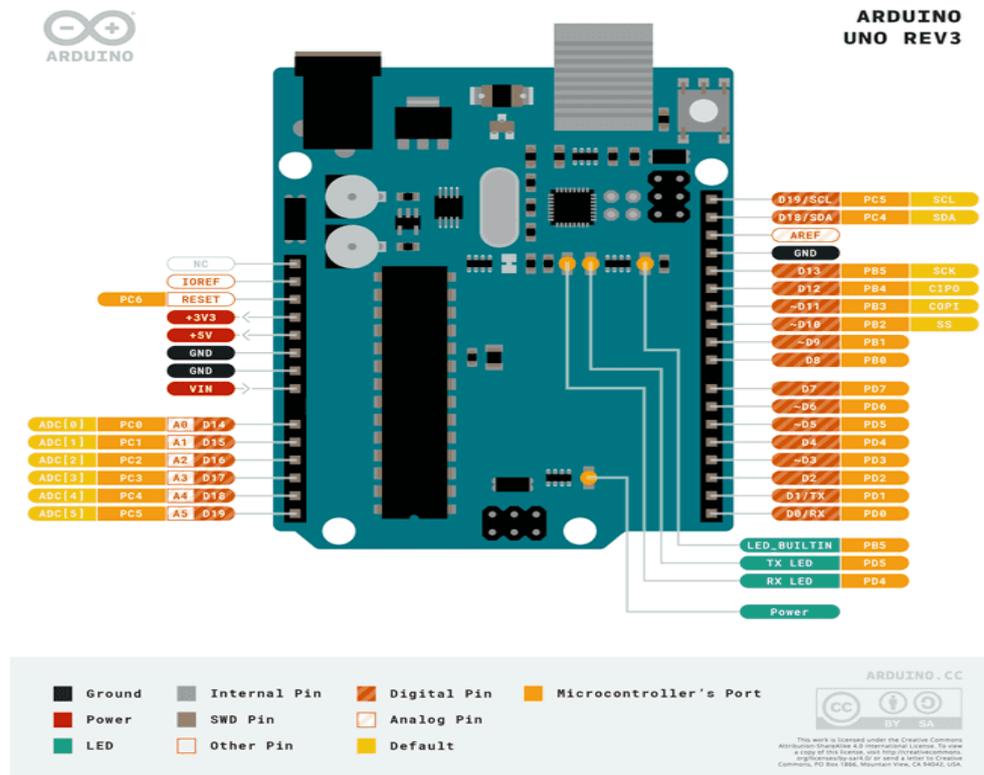


Gambar 2.15. Sistem inferensi fuzzy metode tsukamoto (Kusumadewi, 2003)

2.8 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 menggunakan mikrokontroler yang dikontrol secara penuh oleh mikroprosesor ATmega328P. Mikroprosesor yang digunakan ini sudah dilengkapi dengan konverter sinyal analog ke digital (ADC) sehingga tidak diperlukan penambahan ADC eksternal. Arduino dilakukan dengan menggunakan Arduino Software (IDE), Chip ATmega328 yang terdapat pada Arduino Uno R3 telah diisi program awal yang sering disebut bootloader. Bootloader tersebut yang bertugas untuk memudahkan dalam melakukan pemrograman dan lebih sederhana

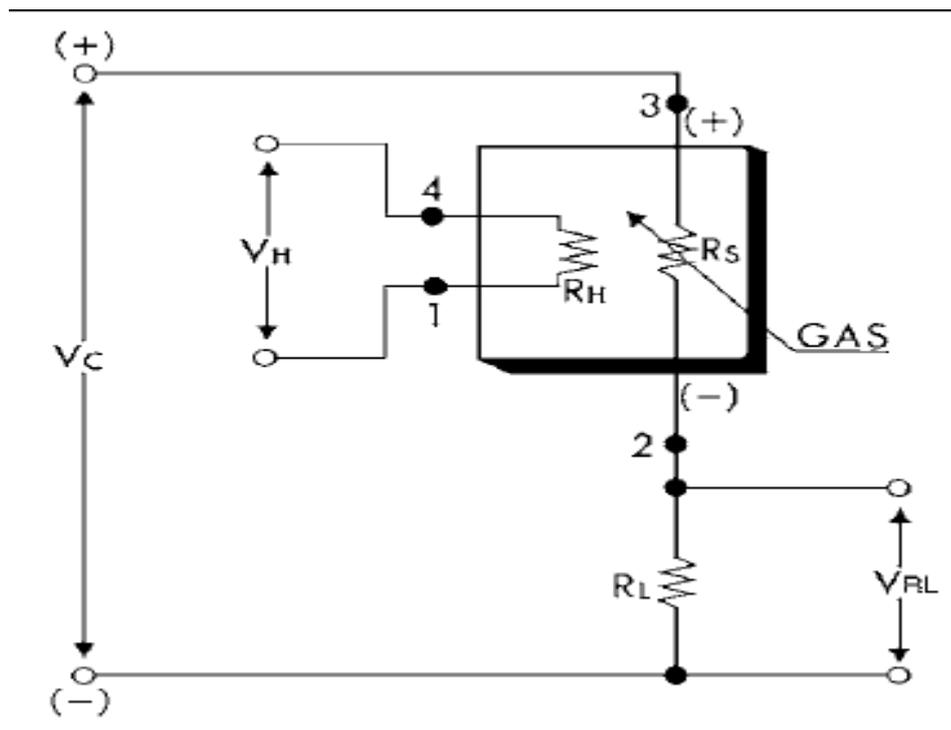
menggunakan Arduino Software, tanpa harus menggunakan tambahan hardware lain. Cukup menghubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux untuk jalankan Arduino Software (IDE), dan sudah bisa mulai memprogram chip ATmega328 (Bate *et al.*, 2020). Diagram pin pada Arduino Uno R3 ditunjukkan oleh **Gambar 2.16**



Gambar 2.16 Diagram pin Arduino Uno R3 (Bate *et al.*, 2020).

2.9 Sensor MQ-7

Metal Oxide Semiconductor Gas Sensor (MQ-7) merupakan komponen berbentuk elektronik yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas hidrokarbon seperti karbon monoksida (CO), propana (C₃H₈), metana (CH₄), ethanol (CH₃CH₂OH), hidrogen (H₂), *smoke*, dan juga *Liquified Petroleum Gas* (LPG). Menggunakan sensor gas hidrokarbon MQ-7, kita bisa mendeteksi kadar gas hidrokarbon di udara dengan cara menghubungkan sensor ini ke mikrokontroller seperti Arduino (Wijayanti, 2022). tampilan dari sensor MQ-7 beserta skematiknya ditunjukkan pada **Gambar 2.17**:



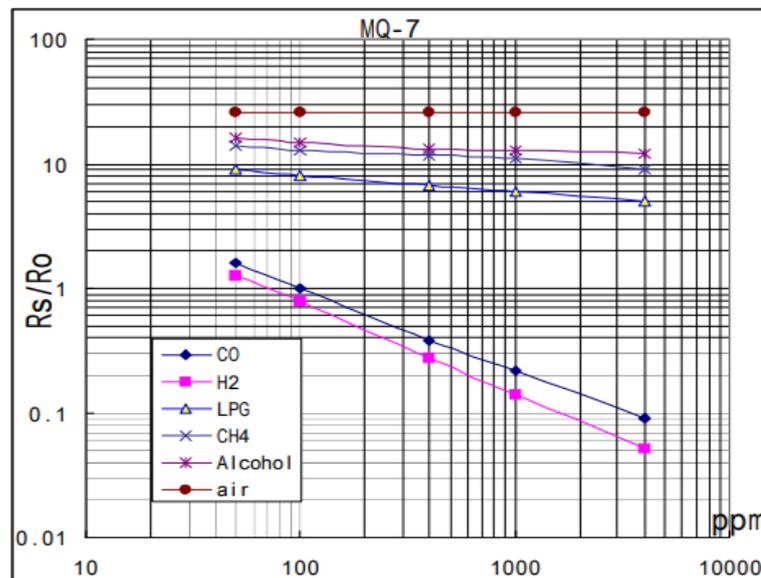
Gambar 2.17 Skematik Sensor MQ-7 (Wijayanti, 2022).

Skematik pada **Gambar 2.17** menunjukkan bahwa sensor membutuhkan dua masukan tegangan: tegangan pemanas (V_H) dan tegangan rangkaian (V_C). V_H digunakan untuk memasok suhu kerja standar ke sensor dan dapat mengadopsi daya DC atau AC, sementara itu V_{RL} adalah tegangan hambatan R_L yang seri dengan sensor. V_C memberikan tegangan deteksi ke resistansi beban R_L dan itu harus mengadopsi daya DC. Tegangan masukan yang diperoleh oleh sensor ini sebesar 5 V. Pada saat terkena gas, nilai resistansi sensor (R_S) akan berubah dan terdapat pemanas yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Sensor ini memerlukan rangkaian sederhana, serta tegangan pemanas 5V (*power heater*) dan resistansi beban (*load resistance*). **Tabel 2.4** berikut menjelaskan tentang spesifikasi sensor MQ-7 (Suryana, 2021).

Tabel 2.4 Spesifikasi sensor MQ-7 (Suryana, 2021)

Simbol	Nama Parameter	Kondisi Teknis
V_c	Tegangan Rangkaian	$5V \pm 0,1$
V_{RL}	Tegangan Pemanasan	$5V \pm 0,1$
R_L	Resistansi Beban	Bisa disesuaikan
R_H	Tahanan Pemanas	$33\Omega \pm 5\%$
P_H	Konsumsi Pemanasan	Kurang dari 800 mw
T_{ao}	Penggunaan Tem	$-20^\circ C - 50^\circ C$
T_{as}	Penyimpanan Tem	$-20^\circ C - 70^\circ C$
O_2	Konsentrasi Oksigen	21% (kondisi standar) konsentrasi oksigen dapat mempengaruhi sensitivitas

Karakteristik sensitivitas dari sensor MQ-7 ditunjukkan pada **Gambar 2.18**

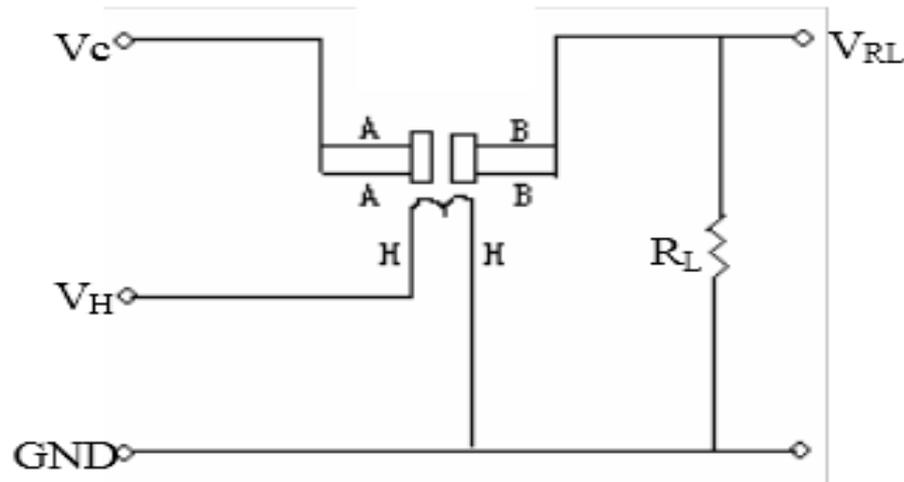


Gambar 2.18 Karakteristik sensitivitas dari MQ-7
(Hanwei Electronics Group Corporation, 2024).

2.10 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia, natrium-(di)oksida (NO_x), alkohol, benzena, karbondioksida, gas belerang dan asap atau 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 menambahkan satu buah resistor saja (berfungsi sebagai pembagi tegangan). Berikut **Gambar 2.19** menunjukkan tampilan dari sensor MQ-135 (Sitanggang *et al.*, 2022).



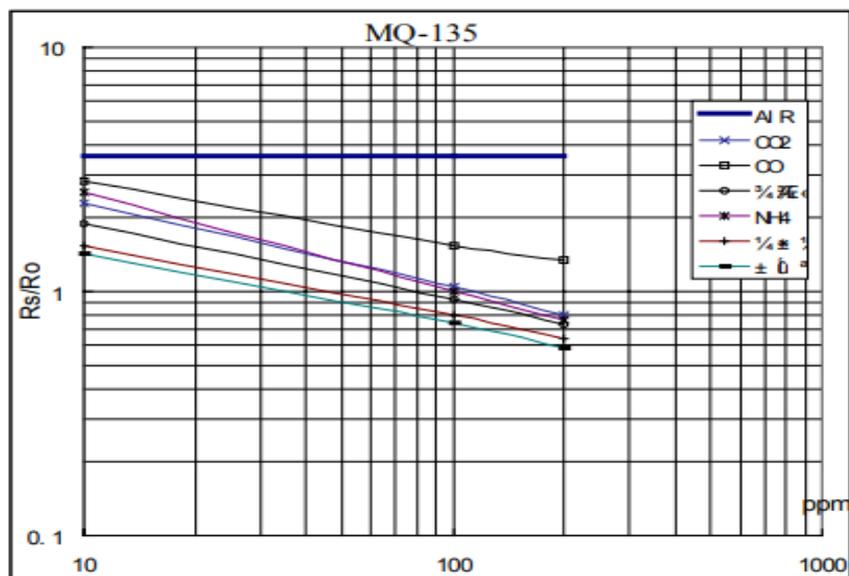
Gambar 2.19 Skematik Sensor MQ-135 (Akbar, 2021).

Skematik pada **Gambar 2.19** dapat dilihat bahwa sensor MQ-135 memiliki tegangan kendali (V_c) yang diberikan ke sensor untuk operasi normal dengan tegangan yang dibutuhkan adalah 5 volt. Tegangan pemanas (V_H) diterapkan ke elemen pemanas dalam sensor. Pemanas diperlukan untuk membuat sensor bekerja. Tegangan keluaran (V_{RL}) adalah tegangan yang diukur dari titik tengah antara *Resistor Load* (R_L) dan sensor. Tegangan ini menunjukkan konsentrasi gas yang dideteksi oleh sensor, dimana saat konsentrasi gas meningkat, resistansi sensor berubah, yang menyebabkan perubahan pada V_{RL} . Sensor MQ-135 terdiri dari 9 bagian yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Bagian dan bahan sensor MQ-135 (Akbar, 2021)

No	Bagian	Bahan
1	Lapisan pengindera gas	SnO ₂
2	Elektroda	Au
3	Garis Elektroda	Pt
4	Coil Pemanas	Ni-Cr-alloy
5	Tabung Keramik	AL ₂ O ₃
6	Jaringan Anti Ledakan	Stainless steel
7	Cincin Penjepit	Tembaga plat Ni
8	Basis Resin	Bakelit
9	Pin Tabung	Tembaga plat Ni

Karakteristik sensitivitas dari sensor MQ-135 ditunjukkan pada **Gambar 2.20**



Gambar 2.20 Karakteristik sensitivitas dari MQ-135
(Hanwei Electronics Group Corporation, 2024).

2.11 LCD I2C

Liquid Crystal Display (LCD) adalah salah satu bagian dari modul peraga yang menampilkan karakter yang diinginkan. Layar LCD menggunakan dua buah lembaran bahan yang dapat mempolarisasikan kristal cair diantara kedua lembaran tersebut. Kegunaan LCD banyak sekali dalam perancangan suatu sistem dengan menggunakan mikrokontroler. LCD dapat berfungsi menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan teks atau menampilkan menu pada aplikasi

mikrokontroler (Mulyati & Sumardi, 2018). Dalam modul LCD terdapat mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter dilengkapi dengan memori dan register. Pada modul LCD juga terdapat pin, yang salah satunya berfungsi untuk jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan (Nusyirwan, 2020)

Salah satu jenis modul LCD ada LCD I2C. LCD I2C adalah modul LCD yang dikendalikan secara serial sinkron dengan menggunakan protokol I2C/IIC (*Inter Integrated Circuit*) atau TWI (*Two Wire Interface*). Normalnya modul LCD dikendalikan secara paralel baik untuk jalur data maupun kontrolnya. LCD I2C ini mempunyai 4 kaki pin, yaitu pin GND atau Ground, pin VCC 5 V, pin control SCL dan pin control SDA. **Gambar 2.21** menunjukkan tampilan dari LCD I2C.



Gambar 2.21 LCD I2C (Deswar & Pradana, 2021)

2.12 Relay

Relay merupakan komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis. Jika sebuah penghantar dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam ferromagnetis. Logam ferromagnetis adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut akan menjadi magnet buatan yang sifatnya sementara. Cara ini biasa digunakan untuk membuat magnet non permanen. Sifat kemagnetan pada logam ferromagnetis

akan tetap ada selama pada lilitan kumparan teraliri arus listrik. Sebaliknya, sifat kemagnetannya akan hilang jika suplay arus listrik ke lilitan diputuskan. Kontak atau kutub-kutub dari *relay* umumnya memiliki tiga dasar pemakaian yaitu: bila kumparan ini dialiri arus listrik maka kontakannya akan menutup dan disebut sebagai kontak Normally Open (NO), selanjutnya bila kumparan dialiri arus listrik maka kontakannya akan membuka dan disebut dengan kontak *Normally Close* (NC), dan Tukar-sambung (*Change Over/ CO*), *relay* jenis ini mempunyai kontak tengah yang normalnya tertutup tetapi melepaskan diri dari posisi ini dan membuat kontak dengan lain bila *relay* dialiri listrik (Bishop & Owen, 2006).

Relay dibutuhkan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor sekaligus interface antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbda sistem power supplynya. Secara fisik antara saklar atau kontaktor dengan elektromagnet *relay* terpisah sehingga antara beban dan sistem kontrol terpisah. Bagian utama *relay* elektromekanik adalah sebagai berikut. Kumparan elektromagnet saklar atau kontaktor Swing Armatur Spring (Pegas). Tampilan *relay* dapat dilihat pada **Gambar 2.22**.



Gambar 2.22 *Relay* (Turang, 2015)

Relay dapat digunakan untuk mengontrol motor AC dengan rangkaian kontrol DC atau beban lain dengan sumber tegangan yang berbeda antara tegangan rangkaian kontrol dan tegangan beban. Diantara aplikasi *relay* yang dapat ditemui diantaranya adalah: *Relay* sebagai kontrol ON/OFF beban dengan sumber tegang berbeda. *Relay* sebagai selektor atau pemilih hubungan. *Relay* sebagai eksekutor rangkaian delay (tunda) *Relay* sebagai protektor atau pemutus arus pada kondisi tertentu (Turang, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 sampai dengan Januari 2024. Kegiatan penelitian ini terdiri dari perancangan alat, pengujian sensor, pembuatan logika *fuzzy*, pengambilan data, dan analisis hasil. Perancangan dan pengambilan data dilakukan di ruang Workshop, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Jadwal pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1. Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Bulan			
		Oktober	November	Desember	Januari
1	Perancangan alat	■			
2	Kalibrasi sensor	■	■		
3	Pembuatan logika <i>fuzzy</i>		■		
4	Pengambilan data			■	
5	Analisis hasil				■

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**

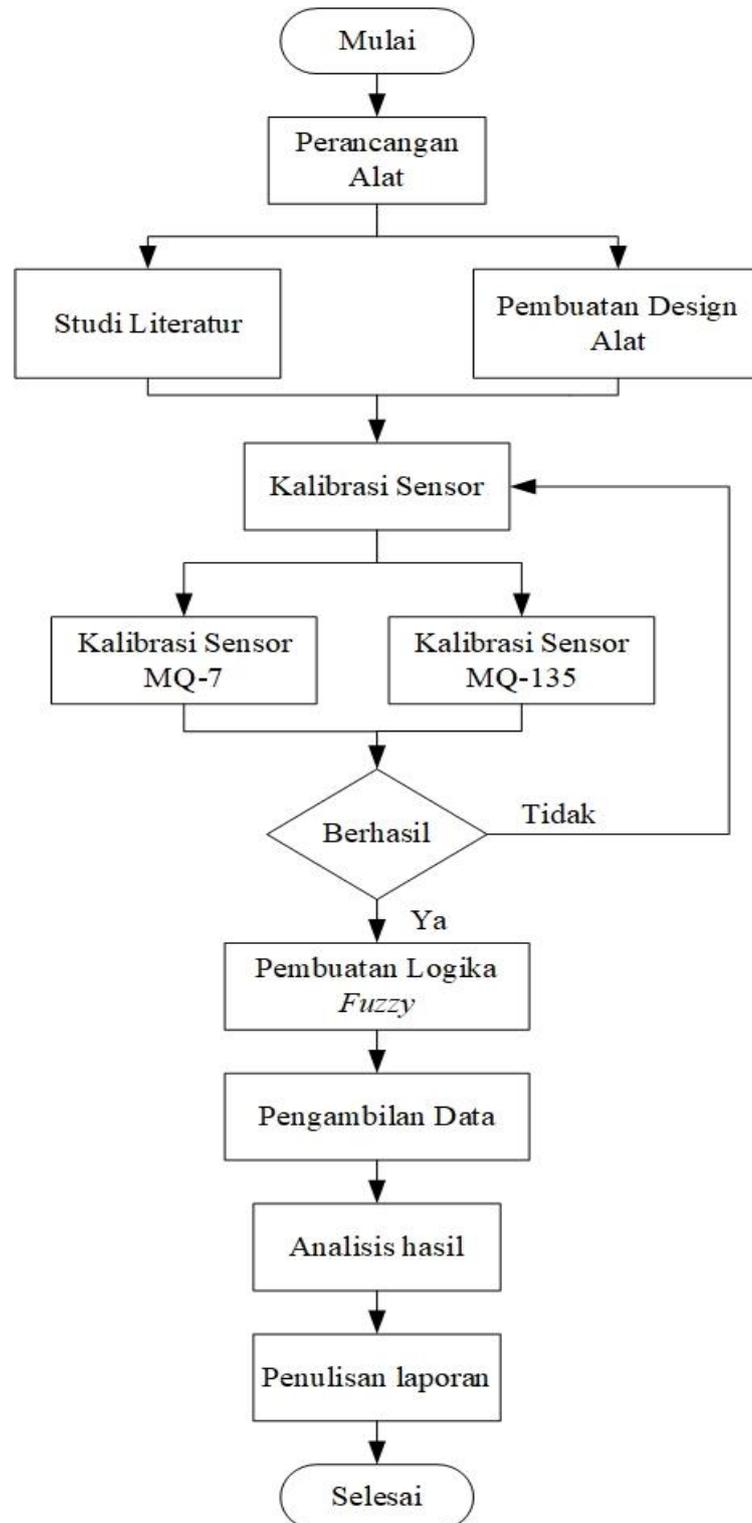
Tabel 3.2. Alat dan bahan yang digunakan

No	Nama Alat dan Bahan	Fungsi
1	Sensor MQ-7	Mendeteksi gas CO dan CH ₄ dalam asap
2	Sensor MQ-135	Mendeteksi gas CO ₂ dalam asap
3	LCD I2C	Menampilkan pengolahan sinyal masuk dari sensor
4	Arduino Uno R3	Sebagai mikrokontroler yang mengendalikan LCD, <i>buzzer</i> , dan <i>relay</i>
5	<i>Relay</i>	Sebagai saklar listrik
6	<i>Power Supply</i>	Sumber tegangan untuk keseluruhan alat
7	<i>Zeolit</i>	Sebagai penyaring senyawa berbahaya dalam asap rokok
8	Karbon aktif	Sebagai penyerap senyawa berbahaya dalam asap rokok
9	<i>Exhaust fan</i>	Sebagai aktuator untuk menghisap dan membuang gas
10	Laptop	Membuat program Arduino Uno R3 dan untuk membuat logika <i>fuzzy</i>
11	Rokok	Sebagai sumber asap
12	Kain kasa	Sebagai penyeka antara <i>zeolit</i> dan karbon aktif
13	Akrilik	Sebagai tempat untuk karbon aktif dan <i>zeolit</i>
14	Filter HEPA	Sebagai penyaring partikel - partikel mikroskopis dari asap rokok
15	<i>Buzzer</i>	Alarm untuk menandakan kondisi bahaya

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan antara lain perancangan dan pembuatan alat, pengujian dan sensor, pembuatan logika, pengambilan data, dan analisis hasil. Secara keseluruhan, tahapan perancangan alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy*

Tsukamoto disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 3.1**.

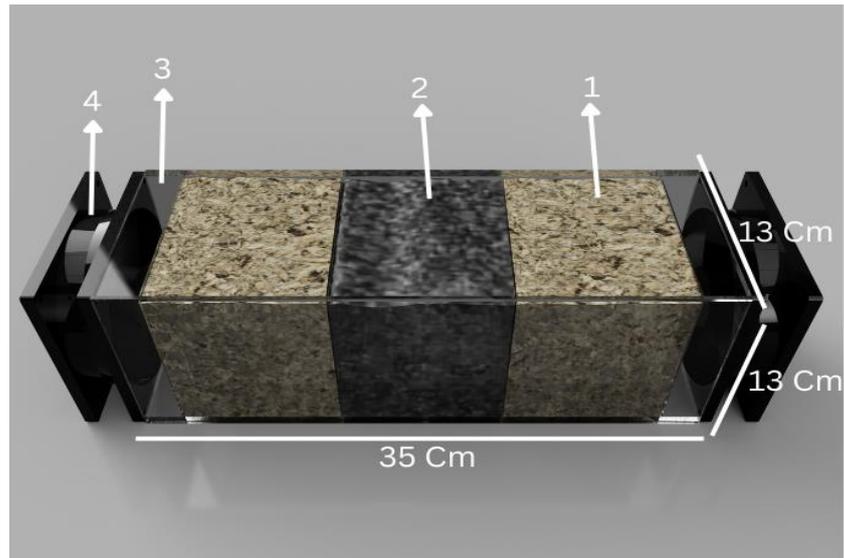


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

1. Tahapan perancangan alat dilakukan untuk membuat rancangan perangkat keras sistem monitoring dan juga penyaring asap rokok. Perangkat keras pada sistem ini terdiri atas MQ-7, MQ-135, *relay*, Arduino Uno R3, LCD I2C, dan *exhaust fan*. Untuk penyaring asap rokok terdiri atas kotak akrilik, *zeolit*, karbon aktif, dan kain kasa.
2. Tahap kalibrasi sensor ini bertujuan untuk mengetahui kondisi dan respon sensor terhadap parameter uji. Pada tahap ini juga dilakukan konversi nilai analog sensor MQ-7 dan MQ-135 ke bentuk satuan ppm pada gas dari asap rokok dengan menggunakan perhitungan persamaan regresi nilai analog dan tegangan keluaran sensor terhadap nilai standar.
3. Tahap pembuatan logika *fuzzy* Tsukamoto dilakukan dengan membuat logika *fuzzy* tsukamoto dengan menggunakan *software* Arduino IDE. logika *fuzzy* ini akan digunakan untuk mengolah data yang berupa hasil pengujian parameter-parameter fisis yang diperoleh dari sensor MQ. Parameter-parameter fisis tersebut yakni adalah asap rokok.
4. Tahap pengambilan data dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter fisis tersebut, kemudian mencatat hasil yang dikeluarkan oleh sistem melalui LCD. Data yang diperoleh kemudian akan dianalisis dan dibahas.

3.3.1 Perancangan Alat

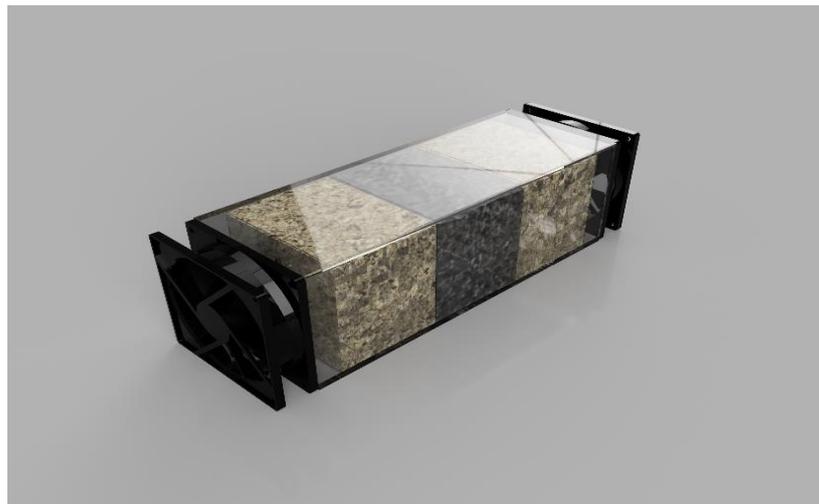
Pada penelitian ini akan dibuat sebuah alat filter asap rokok yang terdiri dari satu buah sensor MQ-7, satu buah sensor MQ-135, dua buah *exhaust fan*, *relay*, Arduino Uno R3 dan LCD. Desain dari penyaring asap rokok bagian depan dan samping yang akan dibuat pada penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3**.



Gambar 3.2 Desain penyaring asap rokok (bagian samping)

Keterangan:

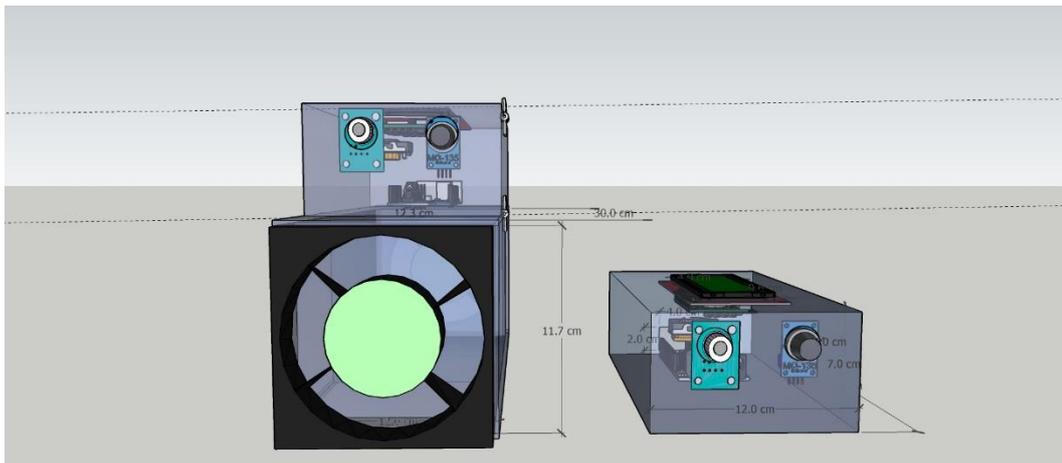
1. *Zeolit*
2. *Karbon aktif*
3. *Akrilik*
4. *Exhaust fan*



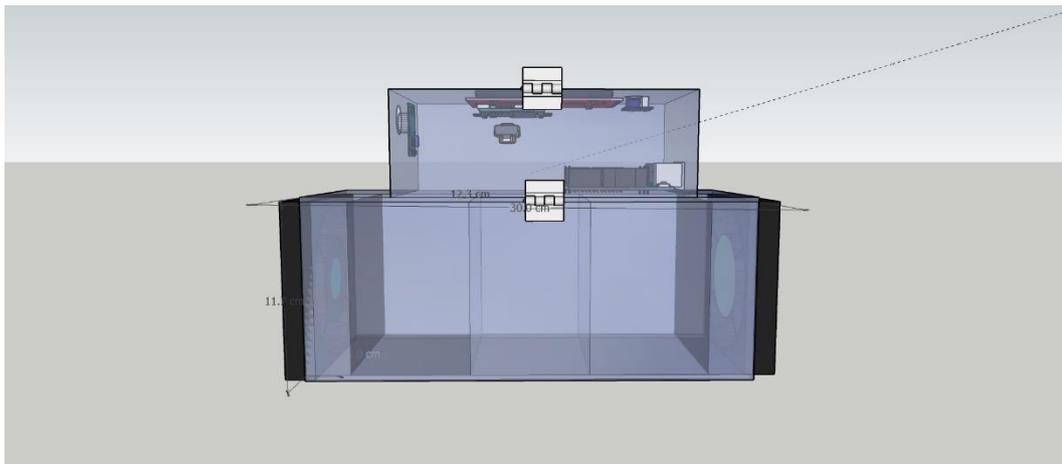
Gambar 3.3 Desain penyaring asap rokok (bagian depan)

Berdasarkan **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** dapat dilihat penyaring atau filter asap rokok yang akan dibuat pada penelitian ini berbentuk box balok berukuran $35 \times 13 \times 13 \text{ cm}^3$. Penyaring filter asap ini terdiri dari dua buah mini *exhaust fan*

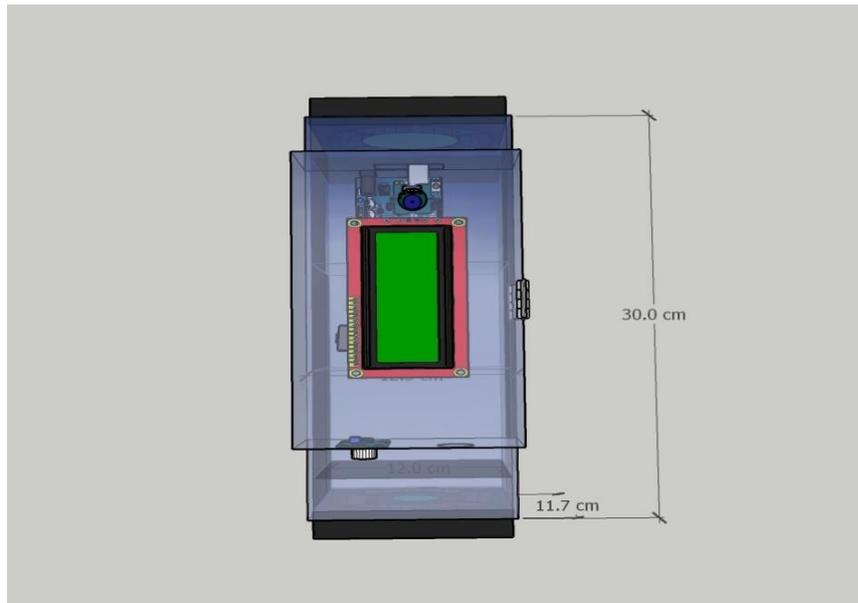
berukuran $12 \times 12 \times 0.25 \text{ cm}^3$ sebagai penghisap dan pembuang asap rokok, *zeolit* yang mengisi box pada masing-masing ujung dengan berukuran $10 \times 13 \times 13 \text{ cm}^3$ sebagai penyaring senyawa berbahaya dalam asap rokok, karbon aktif yang mengisi box ditengah dengan berukuran $10 \times 13 \times 13 \text{ cm}^3$ sebagai penyerap senyawa berbahaya dalam asap rokok, dimana antar box tersebut akan diseka dengan menggunakan kain kasa. Desain dari keseluruhan alat dapat dilihat pada **Gambar 3.4**, **Gambar 3.5**, dan **Gambar 3.6**.



Gambar 3.4 Desain alat tampak depan

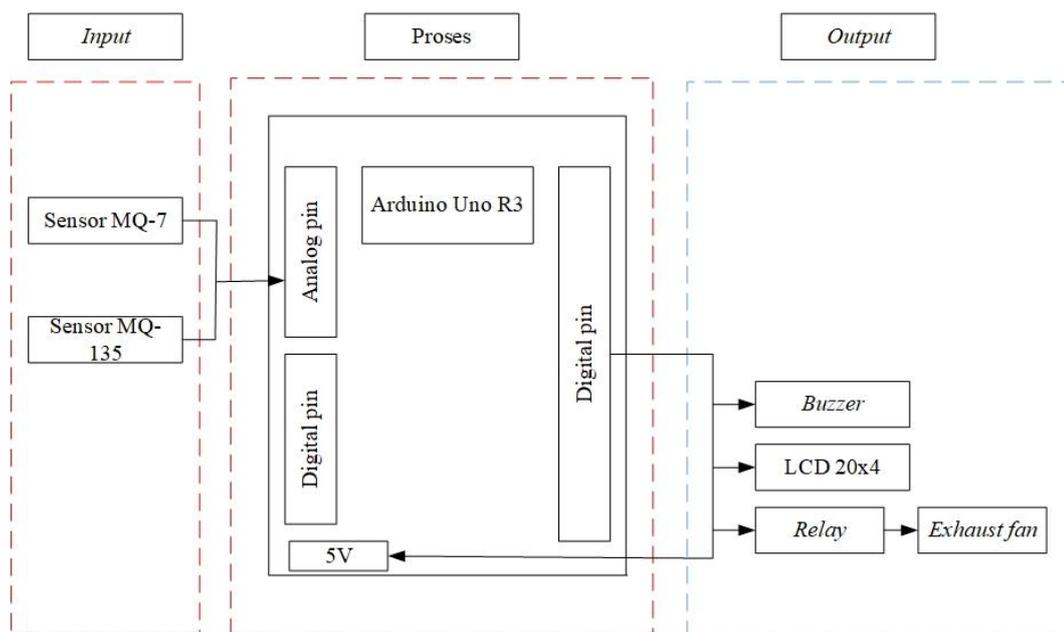


Gambar 3.5 Desain alat tampak samping



Gambar 3.6 Desain alat tampak atas

Diagram blok untuk rangkaian alat yang akan dibuat dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Diagram blok rangkaian alat

Berdasarkan **Gambar 3.7** dapat dilihat bahwa pemrosesan sinyal dimulai pada saat sistem menerima masukan berupa hasil pengukuran beberapa parameter fisis dari sensor. Kemudian sinyal masukan tersebut diolah oleh mikrokontroler

Arduino Uno R3 dan kemudian diolah. Proses pengolahan sinyal ini merupakan proses konversi sinyal-sinyal analog yang dikirimkan oleh masing-masing sensor ke Arduino Uno R3 ke dalam bentuk data-data digital. Konversi dari sinyal analog ke data digital dilakukan menggunakan *Analog to Digital Converter (ADC)* pada Arduino Uno R3 yang memiliki ADC 12 bit. Hasil sinyal yang telah diolah kemudian ditampilkan sebagai hasil melalui LCD dan juga akan mengaktifkan *relay* dan *exhaust fan* berdasarkan *setting point* tertentu.

1. Blok *input*

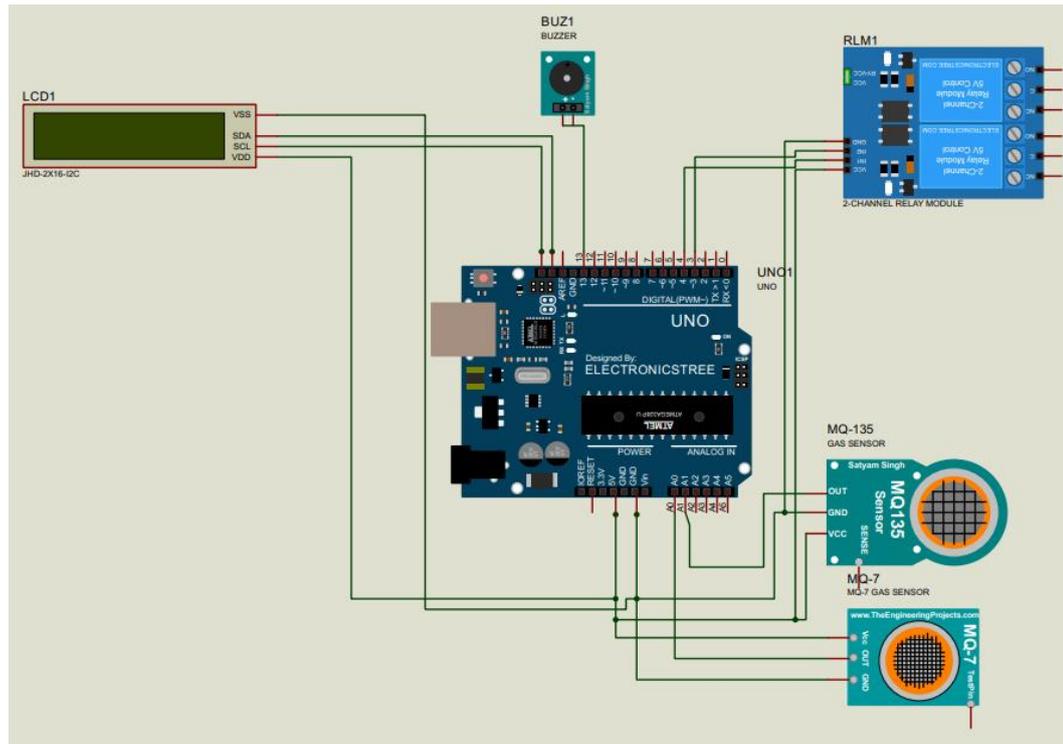
Blok *input* merupakan bagian dimana sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 akan menerima masukan berupa kadar ppm dari CO, CH₄, dan CO₂ yang menjadi parameter dalam mengukur kadar asap rokok.

2. Blok proses

Blok proses merupakan bagian dimana Arduino Uno R3 akan mengolah masukan dari sensor MQ-7 dan MQ-135 dengan mengkonversi sinyal analog ke digital menggunakan ADC. Selain itu pada bagian ini juga akan ditanamkan metode logika *fuzzy* Tsukamoto untuk mengolah masukan dari sensor yang akan digunakan untuk mengendalikan keluaran.

3. Blok *output*

Blok *output* merupakan bagian keluaran dari hasil proses, keluaran pada bagian ini adalah dengan menampilkan konsentrasi dan status dari CO, CH₄, dan CO₂ melalui LCD. Selain itu juga ada *relay* dan *exhaust fan* untuk menghisap asap rokok ke dalam penyaring. Sketsa rangkaian dibuat dengan memperhatikan wiring distiap komponen atau modul sensor dan layer LCD 20x4. Sketsa wiring alat ditunjukkan pada **Gambar 3.8** di bawah ini.



Gambar 3.8 Wiring keseluruhan komponen

Penyusunan rangkaian dari sensor-sensor, *microcontroller* Arduino Uno R3 serta perangkat lainnya pada **Gambar 3.8** dijelaskan secara detail di bawah ini.

1. Pin *analog* pada sensor MQ-7 dihubungkan dengan pin A0 pada Arduino Uno R3. Pin lainnya yaitu GND dan VCC dihubungkan dengan pin GND dan pin 5V pada Arduino Uno R3.
2. Pin *analog* pada sensor MQ-135 dihubungkan dengan pin A1 pada Arduino Uno R3. Pin lainnya yaitu GND dan VCC dihubungkan dengan pin GND dan pin 5V pada Arduino Uno R3.
3. LCD 20x4 dengan modul I2C memiliki 4 buah pin eksternal dengan 2 diantaranya merupakan pin SDA dan SCL yang terhubung pada pin SDA dan SCL di Arduino Uno R3. Pin lainnya yaitu GND dan VCC dihubungkan dengan pin GND dan pin 5V pada Arduino Uno R3.
4. *Buzzer* memiliki 3 buah pin diantaranya yaitu pin I/O yang terhubung dengan pin 13 Arduino Uno R3. Pin lainnya yaitu GND dan VCC dihubungkan dengan pin GND dan pin 5V pada Arduino Uno R3.
5. *Relay dual channel* memiliki 8 buah pin yang akan digunakan, 4 buah pin diantaranya yaitu pin NO dan COM dari masing-masing *channel* terhubung ke

power supply dan *exhaust fan*. 2 lainnya yaitu pin IN1 dan IN2 yang terhubung ke pin 4 dan pin 3 Arduino Uno R3. 2 lainnya pin VCC dan GND terhubung ke pin 5V dan GND Arduino Uno R3.

3.3.2 Pengujian Sensor

Pengujian dan kalibrasi sensor dilakukan dengan pengambilan data pada alat monitoring dan alat standar untuk mengukur nilai masing-masing parameter (CO, CH₄, dan CO₂) yang kemudian akan dibandingkan nilainya. Kalibrasi bertujuan untuk memperoleh nilai koreksi, akurasi, dan error dari sensor. Berikut tabel pengamatan pada parameter CO (**Tabel 3.3**), CH₄ (**Tabel 3.4**), dan CO₂ (**Tabel 3.5**).

Tabel 3.3. Data pengujian dan kalibrasi parameter CO.

No	Sensor MQ-7 (ppm)	Alat Standar (ppm)	Nilai Koreksi	Nilai Akurasi (%)	Nilai Error (%)
1
2
...
...
15

Tabel 3.3. Data pengujian dan kalibrasi parameter CH₄

No	Sensor MQ-7 (ppm)	Alat Standar (ppm)	Nilai Koreksi	Nilai Akurasi (%)	Nilai Error (%)
1
2
...
...
15

Tabel 3.5. Data pengujian dan kalibrasi parameter CO₂.

No	Sensor MQ-135 (ppm)	Alat Standar (ppm)	Nilai Koreksi	Nilai Akurasi (%)	Nilai Error (%)
1
2
...
...
15

Nilai akurasi dan error dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 3.1** dan **3.2**.

$$\text{Akurasi}(\%) = \left(1 - \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right|\right) \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\text{Error}(\%) = \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right| \times 100\% \quad (3.2)$$

Dengan:

Y : Nilai Referensi/ Nilai Standar

X_n : Nilai Parameter Ke-n pada sensor;

\bar{X}_n : Nilai Rata-rata Keseluruhan n Parameter pada Sensor.

3.3.3 Pembuatan Logika *Fuzzy* Tsukamoto

Pada penelitian ini logika *fuzzy* Tsukamoto dibuat dengan menggunakan *software* arduino ide. Hal pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan fuzzifikasi untuk mendefinisikan nilai-nilai masukan tegas. Variabel CO, CH₄, dan CO₂ sebagai variabel masukan dan *exhaust fan* sebagai variabel keluaran. Berikut disajikan **Tabel 3.6** untuk merepresentasikan variabel *fuzzy* beserta semesta pembicaraan dan domain nya.

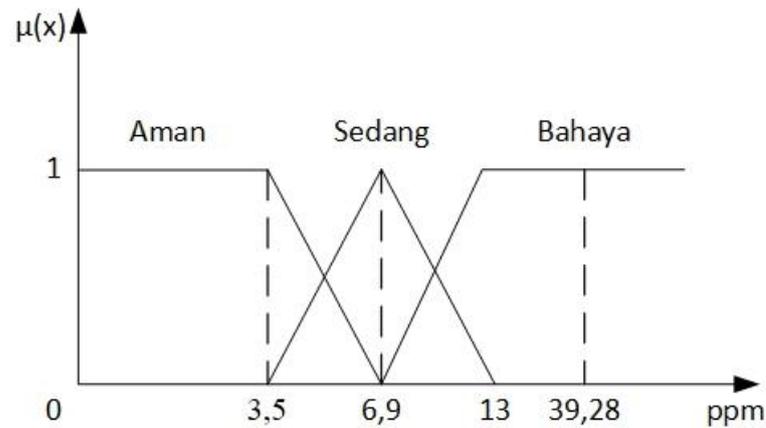
Tabel 3.6. Variabel *fuzzy*

Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Domain	
<i>Input</i>	CO	Aman	[0; 6,9]	
		Sedang	[0; 39,28]	
		Bahaya	[6,9; 39,28]	
	CO ₂	Aman	[400; 1000]	[400; 500]
		Sedang	[400; 1000]	[500; 600]
		Bahaya	[400; 1000]	[500; 1000]
	CH ₄	Aman	[0; 0,98]	[0; 0,152]
		Sedang	[0; 0,98]	[0,069; 0,328]
		Bahaya	[0; 0,98]	[0,152; 0,98]
<i>Output</i>	<i>Exhaust fan</i>	Sebentar	[0; 30]	
		Lama	[0; 30]	[15; 30]

Tabel 3.6 di atas mengacu kepada Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) tahun 2020. Berdasarkan range parameter ISPU terdapat 3 variabel yaitu CO, CH₄, CO₂ yang dapat digolongkan dalam kondisi aman, sedang, dan bahaya. Selain *input* dari variabel gas maka waktu aktif *exhaust fan* merupakan *output* untuk menentukan interval waktu aktif yang dibutuhkan berdasarkan kondisi gas. Setelah menentukan nilai tegas (*crisp*) variabel-variabel *fuzzy* maka diperlukan untuk merepresentasikan variabel *fuzzy* dengan membentuk fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan mendefinisikan titik-titik himpunan *fuzzy* ke dalam derajat keanggotaan dengan selang tertutup nol sampai satu [0,1]. Ada 3 variabel *fuzzy* yang akan direpresentasikan dalam fungsi keanggotaan, yaitu variabel CO, CH₄, CO₂ dan *exhaust fan* dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Fungsi keanggotaan variabel CO

Variabel CO didefinisikan tiga himpunan *fuzzy* yaitu aman, sedang, dan bahaya. Kurva fungsi keanggotaan variabel CO ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.9 Kurva fungsi keanggotaan CO

Berdasarkan **Gambar 3.9** sumbu horizontal merupakan nilai *input* dari variabel CO sedangkan sumbu vertikal merupakan tingkat keanggotaan dari nilai *input*. Berikut persamaan yang berlaku pada fungsi keanggotaan CO ditunjukkan pada **Persamaan 3.3 – 3.5**.

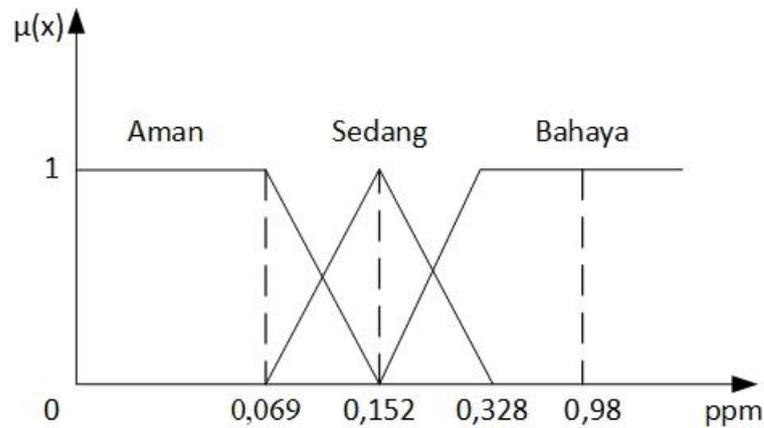
$$\mu_{\text{aman}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 3,5 \\ \frac{(6,9 - x)}{3,4} & ; 3,5 \leq x \leq 6,9 \\ 0 & ; x \geq 6,9 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3,5 \text{ atau } x \geq 13 \\ \frac{(x - 3,5)}{3,4} & ; 3,5 \leq x \leq 6,9 \\ \frac{(13 - x)}{6,1} & ; 6,9 \leq x \leq 13 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\mu_{\text{bahaya}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \geq 13 \\ \frac{(x - 6,9)}{6,1} & ; 6,9 \leq x \leq 13 \\ 0 & ; x \leq 6,9 \end{cases} \quad (3.5)$$

b. Fungsi keanggotaan variabel CH₄

Variabel CH₄ didefinisikan tiga himpunan *fuzzy* yaitu aman, sedang, dan bahaya. Kurva fungsi keanggotaan variabel CH₄ ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Kurva fungsi keanggotaan CH₄

Berdasarkan **Gambar 3.10** sumbu horizontal merupakan nilai *input* dari variabel CH₄ sedangkan sumbu vertikal merupakan tingkat keanggotaan nilai *input*. Berikut persamaan yang berlaku pada fungsi keanggotaan CH₄ ditunjukkan pada **Persamaan 3.6-3.8**.

$$\mu_{\text{aman}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 0,152 \\ \frac{(0,152 - x)}{0,083} & ; 0,069 \leq x \leq 0,152 \\ 0 & ; x \geq 0,152 \end{cases} \quad (3.6)$$

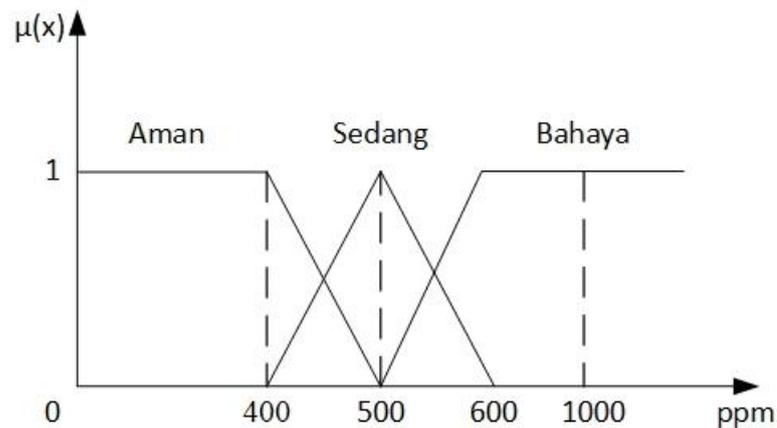
$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0,069 \text{ atau } x \geq 0,328 \\ \frac{(x - 0,069)}{0,083} & ; 0,069 \leq x \leq 0,152 \\ \frac{(0,328 - x)}{0,176} & ; 0,152 \leq x \leq 0,328 \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\mu_{\text{bahaya}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \geq 0,328 \\ \frac{(x - 0,152)}{0,176} & ; 0,152 \leq x \leq 0,328 \\ 0 & ; x \leq 0,152 \end{cases} \quad (3.8)$$

c. Fungsi keanggotaan variabel CO₂

Variabel CO₂ didefinisikan tiga himpunan *fuzzy* yaitu aman, sedang, dan bahaya.

Kurva fungsi keanggotaan CO₂ ditunjukkan pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Kurva fungsi keanggotaan CO₂

Berdasarkan **Gambar 3.11** sumbu horizontal merupakan nilai *input* dari variabel CO₂ sedangkan sumbu vertikal merupakan tingkat keanggotaan nilai *input*. Berikut persamaan yang berlaku pada fungsi keanggotaan CO₂ ditunjukkan pada **Persamaan 3.9-3.11**.

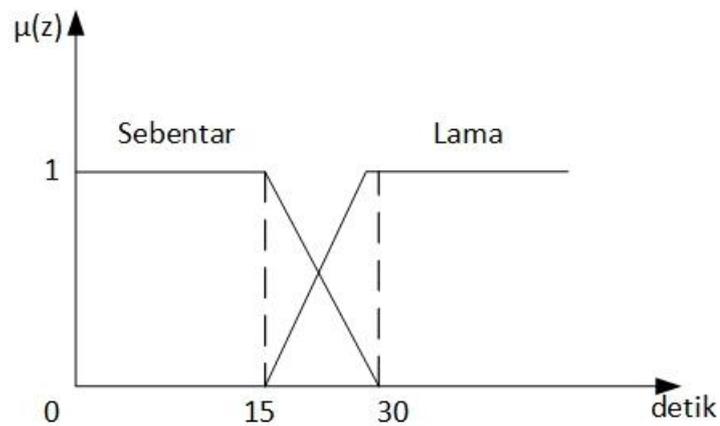
$$\mu_{\text{aman}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 400 \\ \frac{(500 - x)}{100} & ; 400 \leq x \leq 500 \\ 0 & ; x \geq 500 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 400 \text{ atau } x \geq 600 \\ \frac{(x - 400)}{100} & ; 400 \leq x \leq 500 \\ \frac{(600 - x)}{100} & ; 500 \leq x \leq 600 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\mu_{\text{bahaya}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \geq 600 \\ \frac{(x - 500)}{100} & ; 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & ; x \leq 500 \end{cases} \quad (3.11)$$

d. Fungsi keanggotaan *exhaust fan*

fungsi keanggotaan *exhaust fan* didefinisikan menjadi dua himpunan *fuzzy* yaitu on dan off. Kurva fungsi keanggotaan *exhaust fan* ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.12 Kurva fungsi keanggotaan *exhaust fan*

Berdasarkan **Gambar 3.12** sumbu horizontal merupakan waktu aktif dari *exhaust fan* sedangkan $\mu(z)$ pada sumbu vertikal merupakan nilai α -predikat yang didapatkan dengan **Persamaan 3.13**.

$$\alpha - \text{predikat}_n = \min \{ \mu_{\text{CO}}(x), \mu_{\text{CO}_2}(x), \mu_{\text{CH}_4}(x) \} \quad (3.12)$$

Berikut persamaan pada kurva fungsi keanggotaan *exhaust fan* ditunjukkan pada **Persamaan 3.14-3.15**.

$$\mu_{\text{Sebentar}}(z) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 15 \\ \frac{(30 - x)}{15} & ; 15 \leq x \leq 30 \\ 0 & ; x \geq 30 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\mu_{\text{Lama}}(z) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 15 \\ \frac{(x - 15)}{15} & ; 15 \leq x \leq 30 \\ 1 & ; x \geq 30 \end{cases} \quad (3.14)$$

Setelah dibentuk fungsi keanggotaan maka selanjutnya akan dibentuk aturan *fuzzy* yang akan menentukan bagaimana sistem tersebut dapat beroperasi. Berdasarkan bentuk umum implikasi *fuzzy* maka didapatkan aturan *fuzzy* untuk variabel CO, CH₄, CO₂, dan waktu aktif *exhaust fan* pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7. Aturan variabel *fuzzy*

<i>Rules</i>	CO	CH ₄	CO ₂	Waktu aktif <i>exhaust fan</i>
R1	Aman	Aman	Aman	Off
R2	Aman	Aman	Sedang	Off
R3	Aman	Aman	Bahaya	Sebentar
R4	Aman	Sedang	Aman	Off
R5	Aman	Sedang	Sedang	Sebentar
R6	Aman	Sedang	Bahaya	Lama
R7	Aman	Bahaya	Aman	Sebentar
R8	Aman	Bahaya	Sedang	Lama
R9	Aman	Bahaya	Bahaya	Lama
R10	Sedang	Aman	Aman	Off
R11	Sedang	Aman	Sedang	Sebentar
R12	Sedang	Aman	Bahaya	Lama
R13	Sedang	Sedang	Aman	Sebentar
R14	Sedang	Sedang	Sedang	Sebentar
R15	Sedang	Sedang	Bahaya	Lama
R16	Sedang	Bahaya	Aman	Lama
R17	Sedang	Bahaya	Sedang	Lama
R18	Sedang	Bahaya	Bahaya	Lama
R19	Bahaya	Aman	Aman	Sebentar
R20	Bahaya	Aman	Sedang	Lama
R21	Bahaya	Aman	Bahaya	Lama
R22	Bahaya	Sedang	Aman	Lama
R23	Bahaya	Sedang	Sedang	Lama
R24	Bahaya	Sedang	Bahaya	Lama
R25	Bahaya	Bahaya	Aman	Lama
R26	Bahaya	Bahaya	Sedang	Lama
R27	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Lama

Berdasarkan **Tabel 3.7** masing-masing variabel akan diuji kadar konsentrasinya dalam bentuk ppm (*part per million*) yang akan digolongkan aman, sedang, dan bahaya untuk CO, aman, sedang, dan bahaya untuk CH₄, dan Aman, sedang, dan Bahaya untuk CO₂. Berikutnya adalah melakukan defuzzifikasi *output* dari *exhaust fan* dengan menggunakan **Persamaan 2.14**.

3.3.4 Pengambilan Data

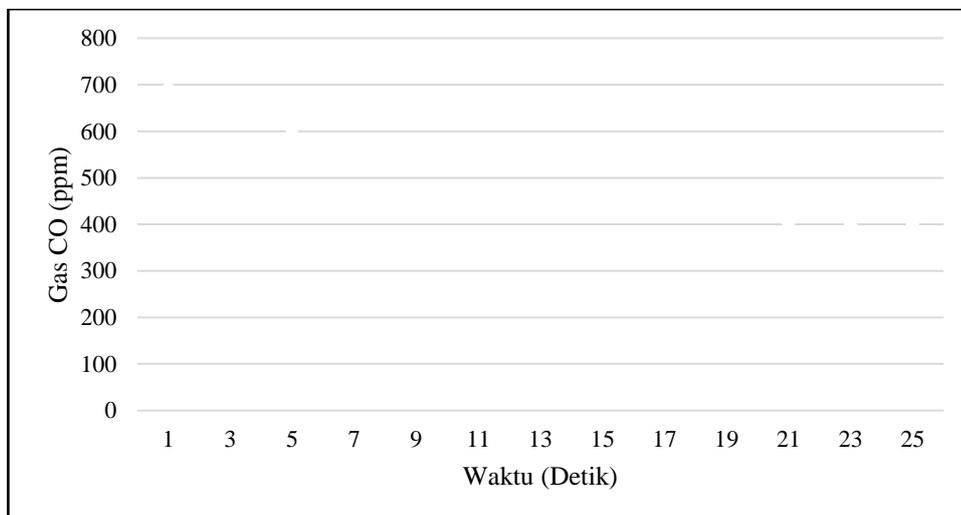
Setelah tahap pengujian, kalibrasi, dan pembuatan logika *fuzzy* Tsukamoto berhasil dilakukan, kemudian dilanjutkan pada pengambilan data alat pada parameter CO, CH₄ dan CO₂. Tahap pengambilan data ini merupakan bentuk dari realisasi alat penyaring asap rokok.

Berikut data pengamatan dari monitoring penyaringan CO, CH₄ dan CO₂ akan disajikan dalam **Tabel 3.8**.

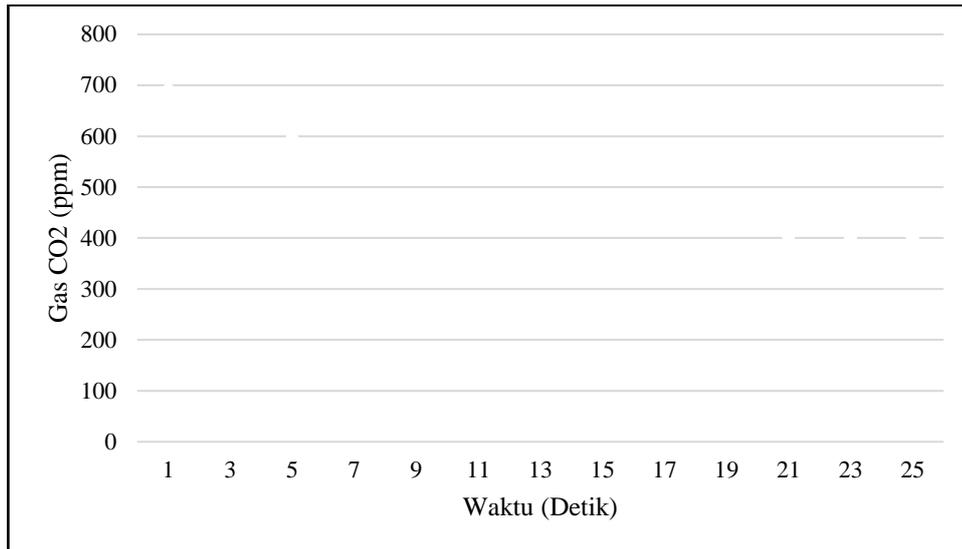
Tabel 3.8. Data monitoring penyaringan CO,CH₄ dan CO₂.

Waktu (detik)	Input			Status			Output
	Kadar CO (ppm)	Kadar CH ₄ (ppm)	Kadar CO ₂ (ppm)	CO	CH ₄	CO ₂	Waktu aktif exhaust Fan
1
3
...
...
...
25

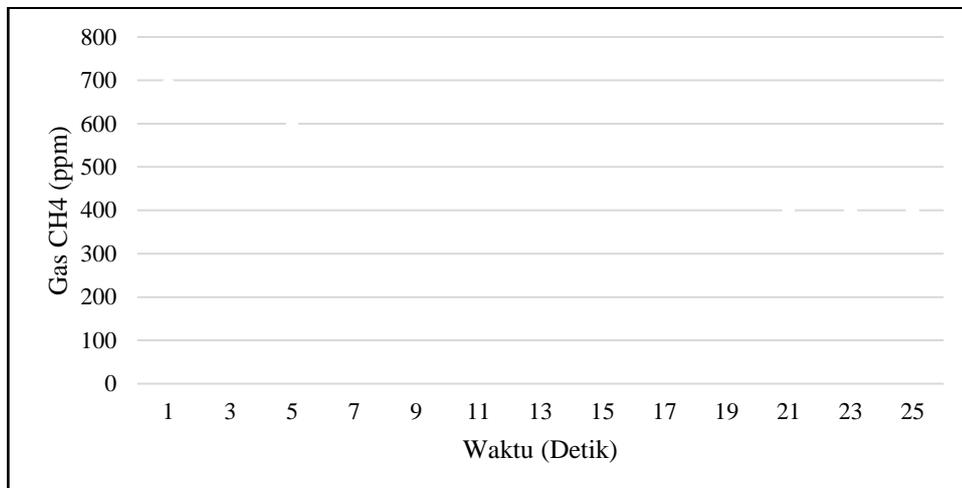
Data pengamatan yang diperoleh pada **Tabel 3.8** kemudian dianalisis dan akan disajikan dalam bentuk kurva grafik dengan tampilan grafik dari pengujian masing-masing parameter ditunjukkan pada **Gambar 3.13-3.15**.



Gambar 3.13 Kurva pengujian parameter CO



Gambar 3.14 Kurva pengujian parameter CO₂



Gambar 3.15 Kurva pengujian parameter CH₄

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dari data hasil alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto telah berhasil dibuat dan mampu berfungsi dengan baik.
2. Hasil pengujian waktu aktif dari alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto saat kondisi ruang bebas asap yaitu 0 dan 3,08 detik. Sedangkan hasil pengujian waktu aktif saat kondisi ruang dengan asap rokok yaitu 17,32, 28,72, dan 30 detik.
3. Data pengujian alat penetralisir asap rokok menggunakan *zeolit* dan karbon aktif dengan metode logika *fuzzy* Tsukamoto yang dilakukan selama 25 detik menunjukkan penurunan konsentrasi gas CO dari 36,71 ppm ke 1-5 ppm dan penurunan konsentrasi gas CO₂ dari 689,94 ppm ke 401 - 405 ppm. Sedangkan pengukuran penurunan konsentrasi gas CH₄ hanya dapat dilakukan pada box sebelum penyaringan yaitu dari 1,65 ke 0,04 ppm.

5.2 Saran

Alat penetralisir asap rokok membutuhkan perangkat sensor yang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi sehingga dapat mendeteksi perubahan kadar gas CO, CO₂, dan CH₄ dalam skala dengan ketelitian lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, R. (2022). Sistem *Monitoring* Keamanan Tabung Gas LPG Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Dengan Metode *Back Propagation* Berbasis *Internet Of Things* (IOT). [Skripsi]. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Akbar, M. F. (2021). Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara Pada Aula Gedung Fasilkom. [Skripsi]. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Asfiati, S., & Indrayani. (2018). Pencemaran Udara Akibat Kinerja Lalu-Lintas Kendaraan Bermotor di Kota Medan. *Jurnal Pemukiman*, 13(1), 13–20.
- Astuti, F. D., & Nugraheni, A. P. (2021). Edukasi Stop Merokok di dalam Rumah di Dusun Krandon, Kwaren, Kecamatan Ngawen, Kabupaten Klaten. *Abdimasku*, 4(3), 326–331.
- Bate, P. Y. M., Wiguna, A. S., & Nugraha, D. A. (2020). Sistem Penjemuran Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3 Dengan Pendekatan Metode *Fuzzy*. *Jurnal Teknologi, Informasi dan Industri*, 3(1), 81-92.
- Bishop, & Owen. (2006). *Dasar-dasar Elektronika*. Erlangga. Jakarta.
- Buildera. (2019). Carbon Dioxide (CO₂) Monitoring Service. <https://www.buildera.com/carbon-dioxide-co2-monitoring-service> [Diakses 06 Mei 2024].
- Della, E. (2022). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat: Literatur Review. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah Stikes Kendal*, 12(2), 287–296.
- Deswar, F. A., & Pradana, R. (2021). Monitoring Suhu Pada Ruang Server Menggunakan Wemos D1 R1 Berbasis *Internet of Things (IoT)*. *Technologia*, 12(1), 25-32.
- Efiyanti, L., Sutanto, S., Hakimah, N., Indrawan, D. A., & Pari, G. (2019). Karakterisasi dan Potensi Katalis Karbon Aktif Tersulfonasi Limbah Kayu Pada Reaksi Hidrolisis Sekam Padi Menggunakan Microwave. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(2), 67–80.

- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., & Anderson, L. B. (1980). *Principles of unit operations (2nd ed)*. John Wiley & Johns. New York.
- Ghofur, Y. A., Misbah., Suryo, Y. A. (2021). Identifikasi dan Pengukuran Gas SO₂ Area Sulphuric Acid (SA) di PT Petrokimia Gresik Menggunakan Sensor Gas dan Jaringan Saraf Tiruan. *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, 16(1), 46-56.
- Hananta, M. O., Lestariningsih, D., Yuliati, & Agustine, L. (2022). Alat Pendeteksi, Penghisap dan Penyaring Asap Rokok. *Scientific Journal Widya Teknik*, 21(2), 51–55.
- Handika, G., Maulina, S., & Mentari, V. A. (2017). Karakteristik Karbon Aktif Dari Pemanfaatan Limbah Tanaman Kelapa Sawit Dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat (Na₂CO₃) dan Natrium Klorida (NaCl). *Jurnal Teknik Kimia*, 6(4), 41–44.
- Hanwei Electronics Group Corporation. (2024). Techincal Data MQ-7 Gas Sensor. <https://www.hwsensor.com> [Diakses: 20 Maret 2024].
- Hanwei Electronics Group Corporation. (2024). Techincal Data MQ-135 Gas Sensor. <https://www.hwsensor.com> [Diakses: 20 Maret 2024].
- Hidayati, Q., Rachman, F. Z., Rimbawan, M. A. S., (2020) Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis *Fuzzy Logic*. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*, 6(1), 260-267.
- Humas BKPK. (2023). Perokok Dewasa di Indonesia Meningkatkan Dalam Sepuluh Tahun Terakhir. <https://www.badankebijakan.kemenkes.go.id/perokok-dewasa-di-indonesia-meningkat-dalam-sepuluh-tahun-terakhir> [Diakses: 6 Mei 2024].
- Ilhami, F., & Hendrawati, T. (2020). Minimalisasi Kadar Asap Rokok Menggunakan Alat Penetralisir Berbasis *IoT*. *Semnastera (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*. 58-63.
- Indrawan, A. W., Muchtar, N., Purwito, Sultan, A. R., & Kautsar, I. A. (2021). Perancangan ATS/AMF Berbasis *Internet of Things*. *Jurnal Teknologi Elekerika*, 5(1), 26.
- Irawan, M. D., & Herviana. (2018). Implementasi Logika *Fuzzy* Dalam Menentukan Jurusan Bagi Siswa Baru Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 1 Air Putih. *Jurnal Teknologi Informasi*, 2(2), 129–137.

- Kementerian Lingkungan Hidup. (2022). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah. Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1-166.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Uji Emisi Kendaraan Sebagai Bentuk Kontribusi Masyarakat Terhadap Pengendalian Pencemaran Udara. https://www.Menlhk.Go.Id/Site/Single_post/4078. [Diakses: 6 Mei 2024].
- Kinanti, N. V., Yamin, M., & Aksara, F. (2018). Prototype Penyaring Asap Rokok Pada *Smoking Area* Menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Fuzzy Tsukamoto*. *SemanTIK*, 2(1), 195–202.
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial intelligence (teknik dan aplikasinya)*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Marsita, M. (2022). Pengaruh Rokok Terhadap Kesehatan. *Jurnal Solusi Kesehatan*, 1(1), 20–25.
- Ma'ruf, Subagyo, R., Isworo, H., Ghofur, A., Chandra, M. I., & Rusdieanoor, M. (2021). Studi Simulasi Filtrasi Pada Formasi Tiga Jenis Ukuran Membran Berbeda Dengan Variasi Kecepatan dan Tekanan. Elemen. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 08.
- Morgan, P. (2016). *Data Analysis from Scratch with Python Step By Step Guide*. AI Sciences. New York.
- Mulyati, S., & Sumardi. (2018). *Internet of Things (IoT) Pada Prototipe Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis MQ-2 dan SIM800L*. *Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tanggerang*, 7(2), 64–72.
- Munawaroh, M. T., Furqaani, A. R., & Nugrahawati, L. R. (2021). Scoping Review: Pengaruh Paparan Asap Rokok Terhadap Kadar Kotinin Dalam Tubuh Perokok Pasif. *Jurnal Integrasi Kesehatan & Sains*, 3(2). 233-237.
- Nouval, A., Suhendi, A., & Suwandi. (2019). Perancangan Dan Realisasi Alat Penyaring Hidrogen, Metana Dan Karbon Monoksida Yang Terkandung Dalam Asap Rokok Berbasis Arduino Uno. *E-Proceeding of Engineering*, 6(1), 1212–1218.
- Nusyirwan, D. (2020). Tong Sampah Pintar Dengan Perintah Suara Guna Menghilangkan Perilaku Siswa Membuang Sampah Sembarangan di Sekolah. *Jurnal Teknoinfo*, 14(1), 48-58.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Butler, L. (2016). *Principles of modern chemistry Eight Edition*. Cengage Learning. Australia.

- Peraturan Pemerintah RI. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. 1–16.
- Putra, R., Lestari, W. W., Wibowo, F. R., & Susanto, B. H. (2018). *Fe/Indonesian natural zeolite as hydrodeoxygenation catalyst in green diesel production from palm oil*. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13, 245–255.
- Renni, C. P., Mahatmanti, F. W., & Widiarti, N. (2018). Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Fe (III) dan Cr (VI). *Journal of Chemical Science*, 7(1). 64-70.
- Richert, Willi, Coelho, & Pedro, L. (2013). *Building Machine Learning Systems with Python*. Packt Publishing. Birmingham.
- Ruthven, D. M. (1984). *Principles of adsorption & adsorption processes*. John Willey & Sons. New York.
- Selvina, M., Fahrialam, A., Wijaya, A. L., Karunianti, R. A., & Warmada, W. I. (2021). Studi Karakteristik Zeolit di Yogyakarta Serta Pemanfaatannya Sebagai Builder Agent Untuk Memproduksi Deterjen Ramah Lingkungan. *Jurnal Geologi Dan Sumber daya Mineral*, 21(4), 189–196.
- Setiawan, A., Yanto, B., & Yasdomi, K. (2018). *Logika Fuzzy Dengan Matlab (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*. Jayapangus Press. Denpasar.
- Sitanggang, D., Sitompul, C. S., Suyanto, J. H., Kumar, S., & Indra, E. (2022). Analysis of Air Quality Measuring Device Using Internet of Things-Based MQ-135 Sensor. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(3), 1078–1084.
- Smisek, V. M., & Cerny, S. (1970). *Active Carbon: Manufacture, Properties and Applications*. Elsevier Publishing Comp. Amsterdam.
- Stoker, H. S., & Seager. (1975). *Environmental Chemistry Air and Water Pollution*. Scott, Foresman. Michigan.
- Suryana, T. (2021). Implementasi Modul Sensor MQ2 Untuk Mendeteksi Adanya Polutan Gas di Udara. [Skripsi]. Universitas Komputer Indonesia. Bandung.
- Syakraeni, Hengky, H. K., & Rusman, A. D. P. (2022). Pengaruh Paparan Asap Rokok di Rumah Pada Wanita Terhadap Kejadian Hipertensi di Wilayah Kerja Puskesmas Madisigna Mario Kota Parepare. *Manusia Dan Kesehatan*, 5(2), 2614–3151.

- Tagliaferri, L., Morales, M., Birbeck, E., & Wan, A. (2019). *Python Machine Learning Projects*. Digital Ocean. New York.
- Turang, D. A. O. (2015). Pengembangan Sistem Relay Pengendalian dan Penghematan Pemakaian Lampu Berbasis Mobile. *Seminar Nasional Informatika*, 75–85.
- Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode *Fuzzy* Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur. *Jurnal Informatika Dan Manajemen STMIK*, 11(1). 51-65.
- Widodo, S., Amin, M. M., & Sutrisman, A. (2018). The Design of the Monitoring Tools of Clean Air Condition and Dangerous Gas CO, CO₂ CH₄ in Chemical Laboratory by Using *Fuzzy* Logic Based on Microcontroller. *E3S Web of Conferences*, 31, 1–4.
- Wijayanti, M. (2022). Design and Construction of Smart Garage Using Ultrasonic Sensor HC-SR04 and MQ-2 Gas Sensor Based on Arduino Uno. *Jurnal Info Sains: Informatikan Dan Sains*, 12(1), 1–6.
- Winata, B. Y., Erliyanti, N. K., Yogaswara, R. R., & Adi, E. (2020). Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Proses Aktifasi Kimia pada Kapasitas 20.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 399–404.