

**RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING*
KADAR GAS SO₂ DAN CO₂ SEBAGAI *EARLY*
WARNING SYSTEM PADA KAWAH CANDI
GEDONG SONGO MENGGUNAKAN NODEMCU
DAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Fisika



Oleh:

MUHAMMAD ZADID TAQWA

NIM:

1608026027

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO**

SEMARANG

2021

**RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING*
KADAR GAS SO₂ DAN CO₂ SEBAGAI *EARLY*
WARNING SYSTEM PADA KAWAH CANDI
GEDONG SONGO MENGGUNAKAN NODEMCU
DAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Fisika



Oleh:

MUHAMMAD ZADID TAQWA

NIM:

1608026027

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Zadid Taqwa

NIM : 1608026027

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**RANCANG BANGUN ALAT *MONITORING* KADAR GAS SO₂
DAN CO₂ SEBAGAI *EARLY WARNING SYSTEM* PADA KAWAH
CANDI GEDONG SONGO MENGGUNAKAN NODEMCU DAN
LOGIKA FUZZY**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 2 November 2021

Pembuat Pernyataan

A 1000 Rupiah Indonesian postage meter stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '1000', 'METERAN', and 'TELEPEK'. The serial number 'E01AJX487894259' is visible at the bottom.

Muhammad Zadid Taqwa

NIM : 1608026027



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.761538

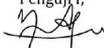
PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kadar Gas SO₂ dan Gas CO₂ Sebagai *Early Warning System* Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy
Penulis : Muhammad Zaid Taqwa
NIM : 1608026027
Jurusan : Fisika
Telah diujikan dalam sidang *tuqas akhir* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 27 Desember 2021

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Sheila Rully Anggita, M.Si
NIP: 199005052019032017

Ketua Sidang,

Agus Sudarmanto, M.Si.
NIP:1989062620190311012

Pembimbing I,

Agus Sudarmanto, M.Si
NIP : 19890626 2019031 1 012

Penguji II,

Heni Sumarti, M.Si.
NIP: 198710112019032009

Sekretaris Sidang,

Muhammad Izzatul Faqih, M.Pd.

Pembimbing II,

Fachrizal Rian Pratama, S.Pd., M.Sc
NIP : 19770823 2000912 1 001



NOTA DINAS

Semarang, 2 November 2021

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kadar Gas SO₂ dan Gas CO₂ Sebagai *Early Warning System* Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy
Nama : Muhammad Zadid Taqwa
NIM : 1608026027
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk ditindak lanjuti dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Pembimbing I,



Agus Sudarmanto, M.Si

NIP. 19770823 2000912 1 001

NOTA DINAS

Semarang, 2 November 2021

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kadar Gas SO₂ dan Gas CO₂ Sebagai *Early Warning System* Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy
Nama : Muhammad Zadad Taqwa
NIM : 1608026027
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk ditindak lanjuti dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Pembimbing II,



Fachrinal Rian Pratama, S.Pd., M.Sc

NIP. 19890626 2019031 1 012

ABSTRAK

Secara geologis, Indonesia berada dalam pertemuan tiga lempeng, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia yang membuat Indonesia rawan terhadap bencana alam. Selain itu Indonesia adalah salah satu negara yang dilalui oleh lintasan *The Pacific Ring of Fire* atau cincin api pasifik dan mengakibatkan banyak terjadinya aktivitas vulkanologi. Salah satu dampak dari aktivitas vulkanik oleh gunung api adalah keluarnya gas-gas beracun yang berbahaya bagi makhluk hidup, contohnya gas SO_2 dan gas CO_2 . Kawah Ijo yang berada di kawasan Candi Gedong Songo merupakan salah satu tempat terjadinya aktivitas vulkanik. Tujuan penelitian ini adalah merancang alat *monitoring* kadar gas SO_2 dan CO_2 berbasis *internet of things* yang dilengkapi dengan logika fuzzy sebagai *early warning system*. Metode dalam melakukan penelitian adalah RnD yang meliputi studi literatur, perancangan *hardware*, perancangan *software*, pengujian dan pengambilan data, serta analisis data dan penyusunan laporan. Proses kalibrasi sensor MQ-136 memperoleh nilai regresi sebesar 0,9909, dan kalibrasi sensor MQ-135 memperoleh nilai regresi sebesar 0,9959. Pengujian logika fuzzy dilakukan dengan membandingkan dengan hasil dari MATLAB dan diperoleh akurasi sebesar 99%. *Early warning system* diwakili oleh tiga buah LED, buzzer, dan pesan pada aplikasi telegram. Gas SO_2 dalam pengambilan data dilapangan memiliki kadar tertinggi pada titik ke tiga dengan nilai sebesar 2,57 ppm, dan nilai terkecil sebesar 0,18 ppm pada titik pertama. Sedangkan untuk kadar gas CO_2 yang tertinggi pada titik pertama sebesar 118,57 ppm, dan kadar terendah pada titik ketiga sebesar 13,09 ppm. menurut dari hasil pengambilan data dilapangan, dapat dikatakan bahwa kondisi Kawah Ijo masih aman karena kadar gas SO_2 dan CO_2 tidak melebihi nilai ambang batas.

Kata kunci: Logika Fuzzy, Kawah Ijo, IoT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya serta shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW. Berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kadar Gas SO₂ dan Gas CO₂ Sebagai *Early Warning System* Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy”. Skripsi ini disusun guna memenuhi tugas dan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam program studi fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan bimbingan, motivasi, do'a dan peran serta dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, berkat ridho-Nya penulis dapat melaksanakan tugas akhir dengan lancar.
2. Bapak Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag., selaku rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Bapak Dr. H. Ismail, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Agus Sudarmanto, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika sekaligus Dosen Pembimbing.

5. M. Izzatul Faqih, M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Fisika.
6. Fachrizal Rian Pratama, S.Pd., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing.
7. Bapak Nashirin, Ibu Innayatul Maula, Bapak Muhtarom, dan Alm. Ibu Siti Aminah yang sudah memberikan dukungan serta doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan kuliah.
8. Teman-teman fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang angkatan 2016 atas dukungan dan perjuangan selama perkuliahan.
9. Teman-teman kelompok studi elektronika dan instrumentasi yang selalu memberi dukungan.
10. Pengasuh dan keluarga besar Pondok Pesantren Al-Ma'rufiyah yang selalu memberikan doa dan dukungan.
11. Pihak Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan pihak prodi Fisika.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang turut terlibat dalam penyusunan laporan ini yang penulis tidak bisa sebut satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian skripsi masih perlu penyempurnaan baik dari segi isi maupun metodologi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan guna perbaikan dan

penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca umumnya. Amin.

Semarang, 2 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PEGESAHAN.....	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Batasan Masalah	11
D. Tujuan Penelitian	11
E. Manfaat Penelitian	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Kajian Pustaka.....	13
B. Kajian Teori	21
BAB III METODE PENELITIAN	71
A. Waktu dan Tempat Penelitian	71
B. Alat dan Bahan	72
C. Metodologi Pelaksanaan dan Penelitian	75
D. Desain Alat.....	78
E. Perancangan Perangkat Keras	79

F. Perancangan Perangkat Lunak	84
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	88
A. Hasil	88
B. Pembahasan	122
BAB V PENUTUP	128
1. Kesimpulan.....	128
B. Saran	129
DAFTAR PUSTAKA.....	131
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2. 2	Sturktur Luar Sensor MQ-136	33
Gambar 2. 3	Karakteristik Sensor MQ-136	38
Gambar 2. 4	Pin Sensor MQ-135	41
Gambar 2. 5	Bagian Dalam Sensor MQ-135	42
Gambar 2. 6	Bagian Luar Sensor MQ-135	43
Gambar 2. 7	Karakteristik Sensor MQ-135	44
Gambar 2. 8	Modul Sensor MQ-135	45
Gambar 2. 9	NodeMCU ESP8266	46
Gambar 2. 10	Pin NodeMCU ESP8266	48
Gambar 2. 11	Tampilan ThingSpeak	50
Gambar 2. 12	Representasi Kurva Liner Naik	56
Gambar 2. 13	Representasi Kurva Linier Turun	57
Gambar 2. 14	Representasi Kurva Segitiga	58
Gambar 2. 15	Representasi Kurva Trapesium	59
Gambar 2. 16	Representasi Kurva Bahu	61
Gambar 2. 17	Sistem Fuzzy	64
Gambar 3. 1	Arduino UNO	52
Gambar 3. 2	Flowchart Penelitian	75
Gambar 3. 3	Desain Rancang Bangun Alat	78
Gambar 3. 4	Diagram Blok Perangkat Keras	79
Gambar 3. 5	NodeMCU ESP8266	80
Gambar 3. 6	MQ-135	81
Gambar 3. 7	MQ-136	82
Gambar 3. 8	Bentuk dan Simbol LED	83
Gambar 3. 9	Arduino UNO	84
Gambar 3. 10	Diagram Alir Pembacaan Sensor	86
Gambar 3. 11	Diagram Alir Early Warning System	87
Gambar 4. 1	Fungsi Keanggotaan SO ₂	89
Gambar 4. 2	Fungsi Keanggotaan CO ₂	91
Gambar 4. 3	Fungsi Keanggotaan Level Bahaya	93
Gambar 4. 4	Pengujian Koneksi Wifi Pada NodeMCU	99

Gambar 4. 5	Dashoard ThingSpeak	100
Gambar 4. 6	Rangkaian Sensor MQ-136	102
Gambar 4. 7	Kurva Pengujian Sensor MQ-136	104
Gambar 4. 8	Karakterisasi Sensor MQ-136	105
Gambar 4. 9	Kurva Pengujian Sensor MQ-135	108
Gambar 4. 10	Karakterisasi Sensor MQ-135	110
Gambar 4. 11	Pengujian Sensor MQ-135 Dengan Emisi Kendaraan Bermotor	111
Gambar 4. 12	Pengujian Early Warning System	113
Gambar 4. 13	Pengujian Early Warning System Pada Telegram	113
Gambar 4. 14	Titik Pengambilan Data	114
Gambar 4. 15	Alat Monitoring Kadar Gas SO ₂ dan CO ₂	115
Gambar 4. 16	Grafik Kadar Gas SO ₂	115
Gambar 4. 17	Grafik Kadar Gas CO ₂	117
Gambar 4. 18	Fuzzy Titik Pertama	118
Gambar 4. 19	Fuzzy Titik Kedua	120
Gambar 4. 24	Fuzzy Titik ketiga	121
Gambar 4. 21	Monitoring Pada Platform ThingSpeak	122
Gambar 4. 26	Eraly Warning System Pada Pengujian Lapangan	124

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Efek Paparan Gas SO ₂	27
Tabel 2. 2	Tingkat Konsentrasi Gas CO ₂	31
Tabel 2. 3	Material Sensor MQ-136	33
Tabel 2. 4	Spesifikasi Sensor MQ-136	34
Tabel 2. 5	Spesifikasi Sensor MQ-135	40
Tabel 2. 6	Material Sensor MQ-135	43
Tabel 2. 7	Spesifikasi NodeMCU ESP8266	47
Tabel 3. 1	Waktu Penelitian	72
Tabel 3. 2	Alat Penelitian	72
Tabel 3. 3	Bahan Penelitian	73
Tabel 4. 1	<i>Fuzzy Rules</i>	95
Tabel 4. 2	Pengujian Logika Fuzzy	97

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Letak Indonesia secara geologis berada di tiga lempeng, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia yang membuat kekayaan akan mineral tinggi serta aktivitas geologi yang dinamis membuat Indonesia rawan terhadap tsunami, gempa bumi, dan tanah longsor. Selain itu, Indonesia adalah salah satu negara yang dilewati oleh lintasan *The Pacific Ring of Fire*, yaitu sebuah daerah yang memiliki deretan gunung api aktif sehingga banyak terjadi aktivitas vulkanologi (Pratama et al., 2014). Akibat dari aktivitas vulkanologi yaitu keluarnya gas-gas beracun yang berbahaya bagi makhluk hidup. Gas yang dihasilkan oleh aktivitas vulkanologi yaitu terdiri dari H₂O (80-95%), CO, CO₂, H₂S, SO₂, HCl, HF, N₂, O₂, CH₂, dan H₂. Adapun konsentrasi gas-gas tersebut dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang dihasilkan dari aktivitas vulkanik gunung atau kawah (Priatna, 2014) (Subono et al., 2018).

Salah satu komponen dari polutan adalah Sulfur Dioksida (SO₂) yang dihasilkan dari proses pembakaran minyak bumi, aktivitas vulkanologi dan proses lain yang

memiliki unsur sulfat (Indrasti et al., n.d.). Sulfur Dioksida bersifat asam, tidak berwarna, tidak mudah terbakar, tidak eksplosif, relatif stabil, berbau menyengat dan memiliki berat jenis 2,6 g/liter (Priatna, 2014). Konsentrasi sulfur dioksida dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti suhu, kelembapan, laju angin, radiasi matahari, serta tekanan. Bagi makhluk hidup, sulfur dioksida sangat berbahaya karena dapat menyebabkan hujan asam dengan mengakumulasi zat-zat asam di udara. Sulfur dioksida dapat mempengaruhi kinerja sistem pernapasan dan gangguan fungsi paru-paru, mengakibatkan iritasi pada mata, inflamasi saluran pernapasan yang berdampak batuk, asma, bronkhitis kronis, sekresi lendir dan tekanan darah rendah akan memicu sakit kepala serta nadi cepat. Menurut WHO (*World Health Organization*) dalam udara bersih kandungan sulfur dioksida ialah 0,003-0,002 ppm dan udara tercemar 0,02-2 ppm. Standar kesehatan gas sulfur dioksida untuk waktu pemaparan 24 jam $366 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,14 ppm) sedangkan untuk satu tahun $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Namun kadar sulfur dioksida dalam konsentrasi 9,559 ppm dalam jumlah minimum bisa menyebabkan iritasi pada tenggorokan dan hidung (Dina et al., 2016). Ahli kesehatan mengeluarkan batas konsentrasi

maksimum untuk gas SO_2 , yaitu 5 ppm (Kesehatan, 2011)(Priatna, 2014).

Karbon dioksida (CO_2) merupakan senyawa kimia anorganik yang jumlahnya jauh lebih sedikit dari kadar oksigen dan nitrogen dalam udara bebas (Susana, 1988). Senyawa ini sangat diperlukan untuk keberlangsungan hidup organisme di dunia serta bersifat tidak memiliki bau, tidak terbakar, tidak reaktif, tidak berwarna, dan memiliki berat jenis 1,53 g/liter (Priatna, 2014). Karbon dioksida berperan penting dalam proses produksi tepung dan gula pada tumbuh-tumbuhan. Sebagian besar zat-zat yang membangun tubuh organisme hidup mengandung karbon, antara lain protein, gula, lemak, tulang atau kerangka organisme, dan lain sebagainya. Proses pembakaran bahan bakar fosil menjadi aktivitas yang paling banyak menghasilkan karbon dioksida, karena karbon dioksida yang dihasilkan dalam bentuk gas, maka limbah yang dihasilkan akan berkumpul di atmosfer bumi (Susana, 1988). Jumlah karbon dioksida sebelum adanya revolusi industri stabil dan tetap terjaga, karena tumbuh-tumbuhan mampu menyerap gas karbon dioksida untuk melakukan fotosintesis (Amsar et al., 2020). Setelah adanya revolusi industri, pembakaran bahan bakar fosil berlangsung setiap saat

yang menyebabkan bertambahnya karbon dioksida. Proses pembakaran ini diperkirakan menyumbang sepuluh kali lipat jumlah karbon dioksida yang dihasilkan oleh pernafasan (Susana, 1988). Penelitian (Wardhani & Ihwan, 2015) tentang kadar karbon dioksida dalam air hujan menunjukkan bahwa gas karbon dioksida mempunyai pengaruh terhadap pH air sebesar 40,72 %, jika gas karbon dioksida larut dalam air akan membentuk asam karbonat dan menyebabkan nilai pH air menjadi 5.60. Dampak yang disebabkan oleh karbon dioksida apabila konsentrasi di atas nilai ambang batas adalah sakit kepala, menurunkan aktivitas fisik, serta mendatangkan rasa kantuk. Pada konsentrasi 3% (30.000 ppm) karbon dioksida menjadi narkotik ringan yang mengakibatkan meningkatnya tekanan darah dan gangguan pendengaran. Efek stimulasi pernapasan, pusing-pusing, dan kesulitan pernapasan yang disertai sakit kepala akan timbul pada konsentrasi 5% (50.000 ppm). Konsentrasi >8% (80.000 ppm) akan menyebabkan sakit kepala, tremor, tidak sadarkan diri setelah paparan selama 5-10 menit serta berkeringat terus menerus (Kesehatan, 2011)(Priatna, 2014).

Keadaan lingkungan yang berpotensi terdapat keberadaan gas SO_2 dan CO_2 harus memiliki sistem

monitoring secara *real time* (Liandi, 2017). Mengingat akan dampak yang besar bagi manusia, hewan maupun tumbuhan apabila mengkonsumsi dalam jumlah banyak. Perkembangan teknologi IoT atau Internet of Things dapat dimanfaatkan untuk memantau kadar dan SO₂ dan CO₂ pada suatu kawah atau gunung api (Partiwin & Azmi, 2019)(Widodo et al., 2017). (Minerva et al., 2015) mengemukakan bahwa IoT ialah sebuah konsep yang memungkinkan semua objek dapat saling berkomunikasi, selain itu, IoT mampu mengintegrasikan teknologi dan bidang sosial. Sistem IoT berawal dari “*Things*” yang dapat diakses kapanpun dan dimanapun, serta menjadi sebuah label untuk mengirim dan menerima informasi. Informasi yang diperoleh dengan mengakses “*things*” dapat menjadi seperti data statis yang disimpan dalam RFID (Minerva et al., 2015). Aspek yang dimiliki oleh IoT antara lain keamanan privasi, jasa, *software*, bidang sosial, dan lainnya (Adnan, 2019). ThingSpeak merupakan salah satu *platform* yang mendukung teknologi IoT. Layanan *platform* IoT dari MathWorks ini mampu memvisualisasikan data dalam bentuk grafik secara *real-time* maupun mengolah data pada aplikasi MATLAB (Raharjo et al., 2019). Selain itu, data yang sudah di unggah ke ThingSpeak otomatis akan

tersimpan dan dapat di download untuk analisis lebih lanjut (Akbar et al., 2019). ThingSpeak juga mampu menerima data dari berbagai perangkat IoT seperti Arduino, NodeMCU, Raspberry Pi, dan perangkat IoT lainnya.

Salah satu perangkat yang digunakan dalam teknologi IoT adalah NodeMCU. NodeMCU merupakan sebuah platform IoT yang bersifat *open source*, terdiri dari *system on chip* ESP8266. Adanya ESP8266 yang sudah terintegrasi dengan berbagai fitur seperti mikrokontroler, NodeMCU dapat digunakan sebagai pusat pengolah data yang terhubung ke internet (Adnan, 2019). Penelitian mengenai pengembangan IoT menggunakan NodeMCU telah dilakukan Dewi Raokhil (Fariyya, 2020). NodeMCU digunakan sebagai mikrokontroller untuk memproses data dari sensor suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya serta mengoperasikan kipas pada kandang ayam. NodeMCU memiliki ukuran 47 x 24 mm sehingga lebih praktis untuk digunakan. Selain itu, NodeMCU dilengkapi dengan mikrokontroler yang mampu terhubung ke internet, hal ini dapat memudahkan pembuatan system berbasis *internet of things*.

Teknologi IoT apabila digunakan bersama dengan logika fuzzy akan mendapatkan sebuah early warning system yang cukup baik. Logika fuzzy diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, logika ini merupakan salah satu penyusun *soft computing* (Irfan et al., 2018). Logika fuzzy merupakan ilmu yang meninjau tentang suatu ketidakpastian yang mempunyai kelebihan (Purnama, 2013). Teori himpunan fuzzy menjadi dasar terbentuknya logika fuzzy, derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan memiliki peranan penting (Abidah, 2013). Konsep sistem dalam logika fuzzy yang dipakai dalam proses perhitungan terdiri dari empat tahapan, ialah fuzzyfikasi (pengubahan bilangan tegas ke dalam bentuk bilangan fuzzy, pembuatan *rule base*, penalaran atau sistem interferensi fuzzy, serta defuzzyfikasi (pengubahan bilangan fuzzy yang dihasilkan dari proses interferensi fuzzy ke dalam bentuk bilangan tegas) (Purnama, 2013). Logika fuzzy mempunyai kelebihan untuk melakukan perhitungan yang tidak kaku, oleh karena itu logika fuzzy dapat memperhitungkan kemungkinan yang tidak pasti (Izzah & Widyastuti, 2016). Dalam logika klasik, segala hal dapat dinyatakan sebagai istilah *binary* (0 atau 1),

sedangkan logika fuzzy menyatakan segala hal sebagai kebenaran sebagian yang memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1 (Ramdhani et al., 2012). Terdapat tiga model dalam logika fuzzy, metode Mamdani, Tsukamoto, dan Sugeno. Metode tsukamoto menerapkan aturan IF-THEN pada setiap konsekuen dan harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy, *output* dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhir didapatkan menggunakan rata-rata terbobot. Metode Sugeno memiliki aturan yang sama seperti metode tsukamoto, perbedaan terletak pada *outputnya* yang menggunakan konstanta atau persamaan linear bukan menggunakan himpunan fuzzy. Takagi-Sugeno Kang memperkenalkan metode ini pada tahun 1985 (Sri Kusumadewi & Purnomo, 2010). Sistem inferensi fuzzy metode Mamdani menggunakan aturan *min-max* pada setiap konsekuen untuk menghasilkan himpunan fuzzy baru (Irfan et al., 2018). Metode Mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Nurmuslimah et al., 2020). Kelebihan dari metode Mamdani yaitu sangat fleksibel, lebih intuitif, dan memiliki toleransi pada data yang ada (Irfan et al., 2018). Hal ini dikarenakan metode Mamdani menarik kesimpulan

secara intuitif dan *output* yang berupa interval (Naibaho, 2020).

Candi Gedong Songo merupakan salah satu obyek wisata di Kabupaten Semarang yang menyumbang Pendapatan Asli Daerah (PAD) serta mempunyai pengunjung terbanyak. Pengunjung obyek wisata Candi Gedong Songo mengalami kenaikan, pada tahun 2016 pengunjung Candi Gedong Songo berjumlah 347.323 jiwa baik domestik maupun asing, sedangkan pada tahun 2017 berjumlah 347.344 jiwa (Istiyani & Yuniningsih, 2019). Agung Dwi Saputro (Saputro, 2020) melakukan penelitian tentang *monitoring* gas sulfur dioksida pada kawah Candi Gedong Songo. *Internet of things* dan robot yang berperan sebagai media untuk mencapai kawah Candi Gedong Songo. Kadar gas sulfur dioksida yang didapatkan sebesar 3,23 ppm, sedangkan kadar gas karbon monoksida sebesar 7,74 ppm yang berarti aman untuk kegiatan manusia. Komplek candi gedong songo juga terdapat kawah yang masih aktif mengeluarkan semburan gas yang dimanfaatkan sebagai pemandian air hangat. Selain itu, dalam penelitian (Murbanendra, 2016) kawasan di komplek candi gedong songo terdapat sumber panas bumi, yang dapat digunakan untuk meningkatkan sektor pariwisata.

Apabila tidak dilakukan *monitoring* gas SO₂ dan gas CO₂ secara berkelanjutan dikhawatirkan akan membahayakan pengunjung.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang rancang bangun alat untuk memantau kadar gas SO₂ dan CO₂ menggunakan teknologi IoT dengan logika fuzzy sebagai algoritmanya. Alat yang sudah berhasil dibuat, diharapkan mampu memantau secara real time gas SO₂ dan CO₂ sehingga terwujudnya *early warning system* yang baik untuk kawasan Candi Gedong Songo.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang alat *monitoring* yang mampu mendeteksi kadar gas SO₂ dan CO₂ menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy pada kawah candi Gedong Songo yang dapat di pantau melalui website?
2. Bagaimana hasil dari pengujian alat *monitoring* untuk mengukur konsentrasi gas SO₂ dan CO₂ yang menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy?
3. Bagaimana kinerja alat *monitoring* untuk mengukur konsentrasi gas SO₂ dan CO₂ yang menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, peneliti membatasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Pengembangan alat *monitoring* untuk mengukur konsentrasi gas SO_2 dan CO_2 menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy dilakukan secara *prototype*.
2. Pengambilan data dilakukan dengan cara memvariasi titik pengambilan.
3. Data diambil dari kawah yang berada di kawasan Candi Gedong Songo, tidak termasuk persebaran gas SO_2 dan CO_2 .

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan:

1. Merancang alat *monitoring* pendeteksi gas SO_2 dan CO_2 menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy pada kawah Candi Gedong Songo yang dapat dipantau melalui website.
2. Mengetahui nilai gas SO_2 dan CO_2 yang diukur oleh alat *monitoring* gas SO_2 dan CO_2 menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy.

3. Mengetahui kinerja sistem dalam mendeteksi gas SO_2 dan CO_2 menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat untuk berbagai pihak:

1. Bagi Penulis:
 - a) Dapat menciptakan inovasi baru.
 - b) Dapat melatih kreativitas dalam mengembangkan teknologi.
2. Manfaat penelitian bagi masyarakat adalah adanya alat yang dapat membantu memantau gas SO_2 dan CO_2 , sehingga dapat meminimalisir korban apabila terjadi peningkatan kadar gas SO_2 dan CO_2 .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

Kajian pustaka merupakan bagian penting dalam sebuah penelitian yang kita lakukan. Sebuah kajian pustaka merupakan sebuah uraian atau deskripsi tentang *literature* yang relevan dengan bidang atau topik tertentu (Setyosari, 2016). Beberapa kajian pustaka yang digunakan peneliti dalam menambah wawasan antara lain :

1. Dewi I. A. Kasenda, Verna A. South, dan Handy I. R. Mosey dari Universitas Sam ratulangi dengan penelitian yang berjudul "*Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Gas Sulfur Dioksida (SO₂) Berbasis Mikrokontroller Dan Sensor MQ136*". Pada penelitian ini, dilakukan perancangan alat untuk mengukur konsentrasi gas sulfur dioksida didalam ruangan dan diluar ruangan, menggunakan Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroller dan LCD sebagai perantara outputnya. Pengujian didalam ruangan berlangsung selama 150 menit yang menghasilkan nilai linearitas sensor sebesar 98,05%, sedangkan pengujian diluar ruangan dilakukan pada empat titik dengan hasil konsentrasi rata-rata tiap titiknya

sebesar 1,278 ppm, 1,729 ppm, 1,173 ppm, dan 1,919 ppm.

2. Atik Sinawang Wahyuni dari Institut Teknologi Sepuluh November dengan penelitian yang berjudul "*Rancang Bangun Sistem Monitoring Emisi Kadar Gas Sulfur Dioksida Menggunakan Sensor MQ-136 Berbasis Mikrokontroler STM32F4 Discovery*". Pengujian alat dilakukan dengan dua kondisi, yaitu dengan polutan dan tanpa polutan, nilai *error* yang dihasilkan sebesar 5,5% dengan hasil pengukuran sebesar 0.52 ppm. Alat monitoring ini dilengkapi dengan *Real Time Clock* yang membuat penyimpanan data sesuai dengan waktu pengambilan data, selain RTC teknologi SMS *Gateway* juga diterapkan agar dapat berfungsi sebagai *early warning system*.
3. Simon Fredy Sinaga, Benny Kuriawan Lase, Prajna Sagga Putta, Johannes Partiwini, dan Fadhilah Azmi dengan judul "*Implementasi Fuzzy Logic Tsukamoto Untuk Deteksi Gas LPG Berbasis Arduino*". *Prototype* pendeteksi gas LPG dilengkapi dengan mikrokontroler Arduino Uno R3, *buzzer*, LCD, LED, kipas DC, dan sensor MQ-6 untuk menangkap adanya gas LPG. Ketika gas LPG terdeteksi oleh

sensor MQ-6 Arduino akan mengolah data menggunakan *fuzzy logic*, apabila hasil yang diperoleh bernilai tinggi *buzzer* akan menyala sebagai peringatan dini dan kipas DC berfungsi menghilangkan gas LPG yang ada disekitar. Pengujian prototype pendeteksi gas LPG dengan *fuzzy logic* Tsukamoto dapat membaca konsentrasi gas dengan nilai tertinggi 1003 ppm.

4. Hanna Febryna Simorangkir dari Institut Teknologi Nasional Malang dengan judul "*Rancang Bangun Pemantauan Kualitas Udara pada Taman Wilayah Melalui Website Berbasis Arduino Menggunakan Logika Fuzzy*". Perancangan alat pemantauan kualitas udara ini terdiri dari Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroller, sensor MQ-7 untuk pendeteksi gas karbon dioksida (CO), dan sensor MQ-135 untuk pendeteksi gas nitrogen dioksida (NO₂). *Fuzzy logic* diintegrasikan pada Arduino Uno R3 untuk mengolah data yang di peroleh dari sensor. Pengujian untuk sensor MQ-7 menghasilkan presentase kesalahan tertingi sebesar 9.65% dan presentase tekecil sebesar 0.11%, dengan rata-rata kesalahan sebesar 4.021%. Sedangkan pengujian sensor MQ-135 menghasilkan presentase kesalahan

tertinggi sebesar 14% dan presentase kesalahan terkecil sebesar 2%, dengan rata-rata kesalahan sebesar 8.1%. Penggunaan website sebagai *user interface* guna mempermudah proses pemantauan kualitas udara di taman wilayah, proses *input* dan *output* dilakukan secara otomatis.

5. Tri Rahjoeningroem dan Fergo Treska dari Universitas Komputer Indonesia dengan penelitian yang berjudul "*Rancang Bangun Warning System dan Monitoring Gas Sulfur Dioksida (SO₂) Gunung Tangkuban Perahu Via SMS Gateway Berbasis Mikrokontroller Menggunakan Sensor MQ-136*". *Prototype warning system dan monitoring gas sulfur dioksida* disusun oleh sensor MQ-136 untuk mendeteksi gas sulfur dioksida, ATMega16 sebagai mikrokontroller, dan sms *gateway* sebagai teknologi untuk mengirimkan pemberitahuan dini. Penelitian dilakukan di laboratorium ITB dengan cara menyalurkan gas sulfur dioksida ke dalam ruangan yang memiliki volume ±832 ml. Nilai tertinggi konsentrasi gas sulfur dioksida yang terukur adalah 54.04 ppm dan skala kesalahan 4.5.
6. Iin Karmila Putri K dari Universitas Islam Negeri Aauidin Makassar dengan penelitian yang berjudul

"Aplikasi Metode Fuzzy Min-Max (Mamdani) dalam Menentukan Jumlah Produksi Perusahaan (Studi Kasus Penentuan Jumlah Produksi Keramik PT. Sici Multi IndoMarmer)". Perancangan sistem dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, membentuk aturan-aturan, penegasan (*defuzzifikasi*). Proses menentukan jumlah produksi menggunakan metode *fuzzy logic* Mamdani. Sampel dalam penelitian ini menggunakan data jumlah permintaan dan jumlah persediaan produk di PT. Sici Multi Indo Marmer mulai bulan Juli 2004 sampai bulan Juli 2005. Merode untuk melakukan *defuzzifikasi* menggunakan metode *centroid*. Hasil analisis data menggunakan variabel masukan dengan jumlah permintaan sebesar 18.960 pada bulan Mei 2005 dan 21.641 pada bulan Juni 2005. Sedangkan untuk jumlah persediaan sebesar 2.589 pada bulan Mei 2005 dan 1.186 pada bulan Juni 2005. Mendapatkan variabel keluaran untuk bulan Mei 2005 sebesar 23.275 unit dan pada bulan Juni 2005 sebesar 19.065 unit

7. Kurniansyah Pratama dan Eko Budi Setiawan dari Universitas Komputer Indonesia dengan judul

penelitian "*Rancang Bangun Alat Monitoring Polusi Udara Berbasis Android dengan Fitur Forecasting di PT. Dirgantara Indonesia*". Sistem alat monitoring dalam penelitian ini menggunakan MQ_135 untuk *air quality sensor*, NodeMCU untuk mikrokontroler yang dapat terhubung dengan wifi, sensor DHT22 untuk kelembapan dan temperature, dan RESTful API untuk komunikasi data dengan protokol HTTP. Analisis data menggunakan metode pemulusan eksponensial musiman yang bekerja dengan menggunakan konstanta untuk memberikan bobot pada nilai saat ini dan sebelumnya untuk menentukan sebuah peramalan baru. Hasil dari pengujian sistem ini dapat mensukseskan program K3LH di PT. Dirgantara Indonesia.

8. Agasta Liandi dari Institut Teknologi Malang dengan judul penelitian "*Rancang Bangun Pemantauan Gas Berbahaya dan Suhu Pada Ruangan Melalui Wbsite Berbasis Arduino*". Cara kerja dari sistem pemantauan gas beracun dan suhu pada ruangan ini diawali dengan MQ-135 yang mendeteksi gas karbon dioksida dan sesnor MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida, apabila gas karbon dioksida melebihi batas normal buzzer akan berbunyi. Sensor

DHT11 akan mendeteksi nilai kelembapan dan suhu pada ruangan, ketika suhu mulai meningkat kipas *inlet* akan menyala dan ketika adanya kelembapan kipas *exhaust* akan menyala. *Waterpump* menyala ketika terdeteksi adanya nyala api dengan sensor *flame detector*. Hasil pengujian dari sistem ini mendapatkan nilai error pada sensor MQ-7 sebesar 2.3%, MQ-135 sebesar 4.08%, MQ-2 sebesar 1.2%, dan DHT11 sebesar 1.5%..

9. Jacqueline Waworundeng dan Oktoverano Lengkong dari Universitas Klabat Airmadidi dengan judul penelitian "*Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT*". Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kualitas udara, sinyal yang dihasilkan akan digunakan sebagai input ke dalam mikrokontroler Wemos. Pemantauan berbasis *Internet of Thing* dilakukan melalui *platform* ThingSpeak dengan bentuk grafik dan data *logging*. Notifikasi menggunakan *platform Blynk apps*. Cara kerja dari sistem ini adalah sensor MQ-135 akan mendeteksi kualitas udara pada ruangan, jika nilai yang di hasilkan melebihi level yang telah ditentukan, notifikasi akan diberikan melalui Blynk. Hasil yang didapatkan setelah

pengujian sensor selama 20 menit adalah nilai kualitas udara sebesar 489,3 yang berarti ruangan terindikasi polusi udara tingkat menengah.

10. Agung Dwi Saputro dari Universitas Islam Negeri Walisongo dengan judul penelitian "*Rancang Bangun Robot Pendeteksi Kadar Gas Sulfur Dioksida (SO_2) dan Gas Karbon Monoksida (CO) Untuk Eksplorasi Kawah Ijo Objek Wisata Candi Gedong Songo Berbasis Internet of Things*". Robot *tracked vehicle* atau bisa disebut dengan robot tank digunakan untuk mencapai kawah ijo. Pengambilan data gas sulfur dioksida dan karbon monoksida menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-136 yang diletakkan pada robot tank. Selain sensor MQ-7 dan MQ-136, didalam robot tank terdapat modul GPS Ublox Neo 6M yang digunakan untuk mengetahui posisi terkini robot tank. Motor driver L298N dan motor dc ditambahkan untuk menggerakkan robot tank. Mikrokontrol arduino mega sebagai pusat dari sistem robot pendeteksi kadar gas sulfur dioksida dan gas karbon monoksida. Komunikasi data ke server Blynk menggunakan ESP8266. Hasil dari pengujian alat di lapangan mendapatkan nilai konsentrasi gas sulfur dioksida sebesar 0,12-3,23

ppm dan konsentrasi gas karbon monoksida sebesar 0,15-7,74 ppm.

B. Kajian Teori

Berikut adalah kajian teori yang digunakan dalam penelitian rancang bangun alat *monitoring* kadar gas SO₂ dan gas CO₂ sebagai *early warning system* pada kawah Candi Gedong Songo menggunakan NodeMCU dan logika fuzzy:

1. Sulfur Dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida merupakan gas yang bersifat tidak berwarna, mudah larut dalam air, dan memiliki bau tajam. Ketika berada dibawah tekanan, gas sulfur dioksida ini akan berbentuk cairan dan akan mudah terlarut dalam air. Sulfur dioksida yang berada di udara di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap dan pembakaran minyak pada kendaraan bermotor. Secara alami, sulfur dioksida terkandung dalam bijih-bijih yang mengandung metal, seperti alumunium, timbal, dan besi yang berasal dari perut bumi. Melalui letusan gunung berapi, sulfur dioksida dilepaskan ke udara dan akan menyebabkan

hujan asam apabila tercampur dengan air (Solichin, 2016).

Sumber utama yang menjadi pencemaran sulfur dioksida adalah pembakaran bahan bakar fosil atau bijih-bijih yang mengandung metal, contohnya pabrik peleburan baja yang menjadi industri penghasil sulfur dioksida terbesar. Pada temperature ruangan, sulfur dioksida dapat berguna untuk proses oksidasi dan reduksi. Kemampuan bereaksi fotokimia ataupun katalik juga dimiliki oleh sulfur dioksida dalam atmosfer, proses ini dapat menghasilkan sulfur trioksida, garam dari asam sulfat, dan asam sulfur. Proses pengolahan logam yang dilakukan oleh industri akan menghasilkan selalu menghasilkan sulfur dioksida, karena sulfur merupakan kontamin pada logam dan lebih mudah diperoleh daripada produk dari pengolahan logam itu sendiri. Oleh karena itu, kandungan sulfur dioksida di udara akan bertambah seiring meningkatnya sektor industri (Solichin, 2016).

Sulfur dioksida sudah termaktub dalam Al-Qur'an surat al-A'raf ayat 116 :

قَالَ أَلْقُوا فَلَمَّا أَلْقَوْا سَحَرُوا أَعْيُنَ النَّاسِ وَأَسْأَرَهُمْ
وَجَاءُوا بِسِحْرِ عَظِيمٍ ﴿١١٦﴾

dan surat Thaha ayat 66:

قَالَ بَلْ أَلْقُوا فَإِذَا حِبَالُهُمْ وَعِصِيُّهُمْ يُخَيَّلُ إِلَيْهِ مِنْ سِحْرِهِمْ أَنَّهَا
تَسْعَى ﴿٦٦﴾

Arti dari surat al-A'raf ayat 116 dan surat Thaha ayat 66 menceritakan tentang kisah Nabi Musa dan para tukang sihir Fir'aun. Pada saat tali yang dilemparkan tukang sihir Fir'aun berubah menjadi ular, Allah memerintahkan Nabi Musa untuk melemparkan tongkat, dan seketika tongkat yang dilemparkan Nabi Musa menjadi ular besar yang memakan ular dari tali tukang sihir Fir'aun. Salah satu ulama ahli tafsir imam Musthofa Al-Maraghi menafsirkan bahwa perubahan tongkat dan tali menjadi ular pada ayat diatas karena adanya proses kimiawi. Kalimat *سَحَرُوا أَعْيُنَ النَّاسِ* dalam surat al-A'raf ayat 116 yang memiliki arti menyihir mata manusia, ditafsirkan oleh Imam Musthofa Al-Maraghi dengan terjadinya reaksi kimia oleh air raksa.

Sedangkan kata **يُخَيَّلُ** dalam surat Thaha ayat 66 yang memiliki arti terbayang, ditafsirkan oleh Imam Musthofa Al-Maraghi sebagai adanya reaksi kimia antara air raksa dengan zat kimia lain. Hal ini terjadi karena tongkat yang dilempar oleh Nabi Musa memiliki rongga dan mengandung air raksa. Begitu juga dengan tali yang berasal dari kulit, karena tali tersebut dilempar kedalam api air raksa yang terkandung menjadi panas dan menggerakkan tali tersebut. Barorotul (Arofah et al., 2018) melakukan penelitian untuk meninjau tafsir Al-Maraghi dalam ilmu kimia. Berlandaskan dengan ilmu kimia, diduga perubahan tongkat Nabi Musa dan tali tukang sihir Fir'aun menggunakan garam raksa (II) sianida ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$) hasil dari reaksi antara raksa NHO_3 dan KSCN . Jika dipanaskan, garam raksa (II) sianida ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$) akan menghasilkan massa besar yang mirip dengan ular. Produk dari pembakaran pada garam meliputi gas Sulfur dioksida (SO_2), karbon dioksida (CO_2), nitrit karbon, gas dicyan, dan gas nitrogen.

Sulfur dioksida dapat diklasifikasikan sebagai pencemar di atmosfer apabila mencapai konsentrasi tertentu. Konsentrasi 0,25 ppm dapat mengakibatkan bronkhokonstriksi apabila terpapar ke manusia dalam kondisi sehat maupun asma, dengan durasi paparan selama 5 menit. Hal ini dikuatkan dengan penemuan *TNF- α promoter polymorphism* yang berkaitan dengan penyakit asma pada pasien yang menghirup gas sulfur dioksida (Bernstein et al., 2004).

Gas sulfur dioksida sangat berbahaya bagi tubuh manusia. Hubungan antara polusi dengan kesehatan manusia di tunjukkan oleh data epidemiologi. Kandungan *particulate matter* pada udara tercemar berhubungan dengan adanya gangguan dalam sistem kardiovaskular dan sistem pernafasan manusia. Akibat dari terkena pencemaran udara baik dalam jangka panjang maupun berkelanjutan dapat menyebabkan penyakit paru-paru kronis dan gangguan pada sistem pernafasan lainnya yang berujung kematian

Sulfur dioksida memiliki rentan waktu 10 hari untuk berada di udara, setelah itu akan teroksidasi secara homogen dan heterogen kemudian akan hilang dengan proses presipitasi. Pada tingkat kelembapan permukaan udara tertentu, gas sulfur dioksida akan berubah menjadi asam sulfur.

Beberapa penelitian terkait efek dari sulfur dioksida dilakukan pada hewan. Percobaan dilakukan pada tikus yang di kenai paparan gas sulfur dioksida, data yang di dapat ialah sulfur dioksida dapat menyebabkan stress oksidatif, perubahan status antioksidan dioksida, dan derivatonya merupakan agent clastogenic dan genostatik. Partikel-partikel tersebut terdiri dari berbagai ukuran, bentuk, dan komposisi menurut data dari *Environment Protection Agency*. Adanya partikel dengan berbagai ukuran menyebabkan pengendapan pada saluran pernafasan yang berujung pada kondisi kesehatan.

Tabel 2. 1 Efek Paparan Gas SO₂

Konsentrasi ppm	Pengaruh
3-5	Jumlah minimum yang dapat terdeteksi baunya
8-12	Jumlah minimum yang dapat menyebabkan iritasi pada tenggorokan
20	Iritasi pada mata, batuk.

2. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah gas yang memiliki sifat berwarna, tidak memiliki bau, dan terdiri dari dua atom oksigen dan sebuah atom karbon dengan ikatan kovalen. Pada udara segar konsentrasi karbon dioksida antara 0,03% (300 ppm) bergantung dimana lokasi karbon dioksida dihasilkan (Harista, 2019). Bentuk karbon dioksida menjadi padat ketika berada pada tekanan di bawah -78°C , dan tidak akan menjadi cair pada tekanan di bawah 5.1 atm (Taufik, 2012). Gas karbon dioksida merupakan gas antropogenik utama yang memenuhi keseimbangan radiasi bumi. Menurut (Intergovernmental Panel on Climate Change,

2007) karbon dioksida merupakan gas yang terbentuk dari proses pembakaran fosil, hasil perubahan penggunaan lahan, dan proses biomassa.

Emisi gas karbon dioksida dihasilkan melalui berbagai macam hal, contohnya pembakaran bahan bakar kendaraan atau pesawat terbang, penambangan minyak, dan limbah hasil dari aktivitas manusia. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyatakan terdapat lima sektor yang menjadi sumber dari emisi gas karbon dioksida, yaitu penggunaan energi, proses industri dan penggunaan produk, PKPL (pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan), dan limbah (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006). Akibat dari pembakaran bahan bakar fosil, pembukaan lahan serta perubahan penggunaan lahan membuat kenaikan karbon dioksida di atmosfer sekitar 148% pada tahun 2019, 278 ppm di sumbang oleh aktivitas industri (who). Kadar gas karbon dioksida di atmosfer selama dekade terakhir sebesar 44%, dengan 23% diserap oleh laut, 29% oleh

tanah, dan 4% tidak terserap (who). Sejak terlaksananya revolusi industri jumlah karbon dioksida di atmosfer bertambah. Perubahan global serta iklim menjadi bukti ilmiah dari meningkatnya konsentrasi gas karbon dioksida. Karbon dioksida akan menyebabkan kenaikansuhu antara $2^{\circ}C - 4,5^{\circ}C$ (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Adanya gas karbon dioksida di atmosfer bumi menjadi bagian dari gas rumah kaca. Karbon dioksida menyumbang 9%-26% gas rumah kaca di atmosfer dan memiliki 56% potensi radiasi pemicu *global warming* dari seluruh potensi yang di sebabkan oleh gas rumah kaca. Waktu bertahan hidup gas karbon dioksida di atmosfer terbilang paling lama, kurang lebih 75 tahun bersirkulasi di dalam atmosfer. Hal ini membuat gas karbon dioksida memiliki sebutan lain, yaitu *the mayor long-lived greenhouse gasses* (Rahmawati et al., 2012).

Komponen utama dari emisi gas vulkanik ialah CO_2 , H_2O , CO , SO_2 , H_2S , dan HCL . Gas karbon dioksida termasuk gas yang mudah menguap,

dan di dalam gunung berapi merupakan unsur terbesar yang ada pada magma. Sehingga ketika terjadi erupsi, akan ada banyak gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer bumi (Kurniawan, 2009). Pada kelembapan tertentu, gas karbon dioksida dapat larut dalam air hujan yang dapat mengakibatkan naiknya kadar pH sebesar 5.6 yang berujung terjadinya hujan asam (Amsar, Khairuman, 2020).

Data dari *World Health Organization* (WHO) menyatakan tingkat rata-rata karbon dioksida tahunan secara global sekitar 410,5 ppm pada tahun 2019, mengalami peningkatan sebesar 2,7 ppm dari tahun 2018. Konsentrasi gas karbon dioksida Mauna Loa, Hawaii sebesar 411,29 ppm pada september 2020, dan Cape Grim, Australia sebesar 410,8 ppm. Kenaikan karbon dioksida dapat memicu terjadinya *global warming*. *International Energy Agency* atau IEA menyatakan suhu pada laut dan darat mengalami kenaikan sekitar $0,85^{\circ}C$ pada periode tahun 1880-2012. Hilangnya massa es di Arktik sendiri menjadi efek dari *global warming* yang disebabkan oleh karbon dioksida. Pada

tahun 1979-2012 massa es yang hilang sekitar 3,5 sampai 4,1% per dekade. Titik tertinggi pencairan es di arktik terjadi pada musim panas dengan nilai 9,4% sampai 13,6% atau sekitar 0,73-1,07 juta km² (Subkhan, 2017).

Tabel 2. 2 Tingkat Konsentrasi Gas CO₂

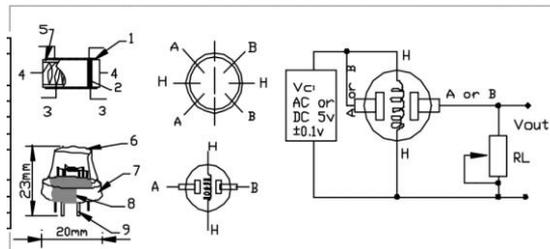
Konsentrasi PPM	Kondisi
250 - 400	Keadaan normal di udara
400 - 1000	Keadaan di dalam ruangan dengan pertukaran udara yang baik
1000 - 2000	Keadaan udara yang buruk
2000 - 5000	Menyebabkan sakit kepala, peningkatan detak jantung, kehilangan konsentrasi, serta bisa mengakibatkan rasa mual
5000	Keadaan dengan jumlah oksigen rendah, serta adanya kemungkinan gas berbahaya lainnya.

Meningkatnya konsentrasi gas karbon dioksida juga membawa efek samping terhadap tubuh manusia. Tingginya konsentrasi gas karbon dioksida yang terdapat dalam tubuh

manusia dapat menyebabkan gagal nafas, penyakit paru-paru obstruktif kronis, dan pneumonia. Tubuh yang mengandung banyak kadar gas karbon dioksida akan mengalami asidosis, dimana kadar asam dalam tubuh meningkat. Hal ini terjadi karena oksigen yang terkandung dalam darah tidak dapat dilepaskan ke dalam sel tubuh. Selain itu, kekurangan gas karbon dioksida akan mengalami gangguan pernafasan, kulit pucat dan kebiruan, pusing dan koma (Adrian, 2019, diakses 20 Desember 2020).

3. Sensor MQ-136

Sensor MQ-136 merupakan salah satu komponen semikonduktor yang dapat digunakan sebagai pendeteksi gas tin oksida (SnO_2). Sensitivitas terhadap gas sulfur dioksida yang dimiliki sensor MQ-136 tinggi, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi gas lain yang mengandung sulfur (Wahyuni, 2017).



Sumber : alldatasheet.com

Gambar 2. 1 Struktur Luar Sensor MQ-136

Tabel 2. 3 Material Sensor MQ-136

No.	Bagian Sensor	Material
1	<i>Gas sensing layer</i>	SnO ₂
2	<i>Electrode</i>	Au
3	<i>Electrode line</i>	Pt
4	<i>Heater coil</i>	Ni-Cr alloy
5	<i>Tubular ceramic</i>	Al ₂ O ₃
6	<i>Anti-explosion network</i>	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7	<i>Clamp ring</i>	Copper plating Ni
8	<i>Resin base</i>	Bakelike
9	<i>Tube Pin</i>	Copper plating Ni

Tegangan yang dibutuhkan untuk menghidupkan sensor MQ-136 sebesar 5V. Nilai resistansi sensor pada sensor ini dapat berubah apabila terkena gas dan terdapat sebuah pemanas yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar.

Sensor MQ-136 memerlukan rangkaian sederhana serta tegangan pemanas (*power heater*) sebesar 5V dengan resistansi beban (*load resistance*) (Wahyuni, 2017).

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor MQ-136

No.	Spesifikasi
1	<i>Power supply</i> menggunakan tegangan 2.5V-5V baik AC maupun DC.
2	Mampu mendeteksi 1ppm-100ppm H ₂ S
3	<i>Load resistance</i> dapat diatur.
4	Menggunakan ADC dengan resolusi 10 bit.
5	Resistansi pengukuran bernilai 30K Ω -200K Ω untuk 10ppm H ₂ S
6	Dilengkapi oleh antarmuka UART TTL dan I2C
7	Mampu bertahan pada temperatur -10 $^{\circ}$ C sampai 45 $^{\circ}$ C.
8	Waktu yang diperlukan untuk <i>pre-heat</i> adalah 24 jam.
9	Pin Input/Output kompatibel dengan level tegangan TTL
10	Keadaan standar untuk pengukuran ialah temperatur 20 $^{\circ}$ C \pm 2 $^{\circ}$ C dan kelembapan 65% \pm 5%

Sensor MQ-136 terdiri dari elemen sensor, dasar sensor, dan tudung sensor. Pada elemen sensor, terdapat dua bagian yaitu bagian untuk *sensing* dan pemanas. Bagian *sensing* terbuat dari bahan timah (IV) oksida (SnO_2), wolfram (VI) oksida (WO_3), dan lain sebagainya melihat gas yang akan dideteksi (Wahyuni, 2017).

Sensor secara tidak langsung mewakili indera manusia. Indera atau berfungsi sebagai sarana manusia untuk merasakan (*sensing*) dan mengetahui sesuatu yang ada disekitarnya. Suhu dingin dan panas, rasa oahit dan manis, keras dan lembut, warna, dan bunyi adalah hasil dari indera yang dimiliki manusia (Taqiyuddin, 2020). Seperti firman Allah dalam Al-Qur'an surat Al-Insan ayat 2:

إِنَّا خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ نُطْفَةٍ أَمْشَاجٍ نَبْتَلِيهِ فَجَعَلْنَاهُ سَمِيعًا
بَصِيرًا ﴿٢﴾

“Sungguh Kami telah menciptakan manusia dari setetes mani yang bercampur yang Kami hendak mengujinya (dengan perintah dan larangan), karena itu Kami jadikan mendengar dan melihat”.(Q.S Al-Insan-2)

Sensor MQ-136 dapat merasakan adanya gas sulfur dioksida, sedangkan salah satu karakteristik gas sulfur dioksida adalah berbau menyengat. Apabila ditinjau dari fungsi sensor MQ-136 dan karakteristik gas sulfur dioksida, indera penciuman memiliki fungsi yang cocok. Indera penciuman telah dijelaskan didalam Al-Qur'an surat Yusuf ayat 94:

وَلَمَّا فَصَلَتِ الْعِيرُ قَالَ أَبُوهُمْ إِنِّي لَأَجِدُ رِيحَ يُوسُفَ
لَوْلَا أَنْ تُفَنِّدُونِ ﴿٩٤﴾

“Tatkala kafilah itu telah keluar (dari negeri Mesir) berkata ayah mereka: ‘Sesungguhnya aku mencium bau Yusuf. Sekiranya kamu tidak menuduhku lemah akal (tentu kami membenarkan aku)’”.(Q.S Yusuf-94)

Fungsi indera penciuman yang dapat mengindikasikan bau dari sebuah objek terdapat dalam Al-Qur'an surat Ar-Rahman ayat 11 sampai 12:

فَكِهْمَةٌ وَالنَّخْلُ ذَاتُ الْأَكْمَامِ ﴿١١﴾ وَالْحَبُّ ذُو الْعَصْفِ وَالرَّجْحَانُ ﴿١٢﴾

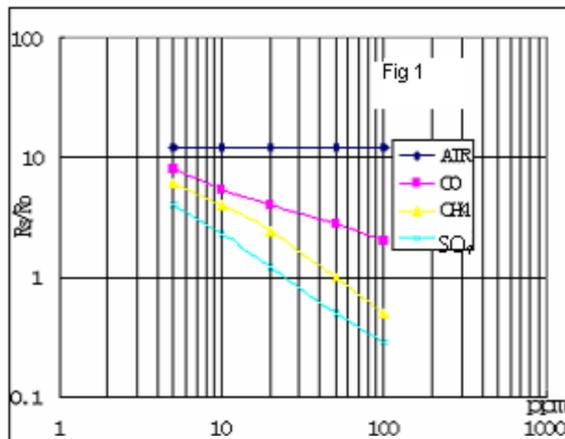
“Di bumi itu ada buah-buahan dan pohon kurma yang mempunyai kelopak mayang dan biji-bijian yang berkulit dan bunga-bunga yang harum”. (Q.S. Ar-Rahman-11-12)

Intisari dari beberapa ayat diatas ialah Allah memberikan karunia-Nya kepada manusia berupa indera penciuman, yang dapat mampu mengetahui berbagai macam aroma (Asnawan, 2017). Sensor MQ-136 memiliki fungsi yang sama dengan indera penciuman, dapat mengetahui gas sulfur dioksida yang berbau tajam.

Cara kerja dari sensor MQ-136 ialah dengan memanaskan kristal oksida logam seperti SnO_2 . Ketika kristal oksida logam (SnO_2) dipanaskan dengan suhu tertentu, oksigen yang ada di udara akan terserap ke permukaan kristal dengan muatan negatif. Oksigen yang telah terserap akan dialiri elektron-elektron donor dari permukaan kristal. Hasil dari proses tersebut akan menciptakan lapisan ruang bermuatan positif yang mengakibatkan adanya potensial pada permukaan dan akan menghambat aliran elektron. Bagian penghubung kristal mikro SnO_2 berfungsi sebagai tempat mengalirnya arus listrik. Oksigen yang terserap akan membentuk penghalang potensial pada batas antar penghubung kristal, sehingga muatan tidak

dapat bergerak dengan bebas. Resistansi sensor terjadi karena adanya penghalang potensial ini (Wahyuni, 2017).

Kerapatan oksigen bermuatan negatif pada permukaan semikonduktor sensor menjadi menurun akibat adanya gas pereduksi, yang menyebabkan ketinggian penghalang pada batas antar penghubung berkurang. Ketinggian penghalang yang berkurang mengakibatkan berkurangnya tahanan sensor dalam lingkungan gas (Wahyuni, 2017).



Sumber : alldatsheet.com

Gambar 2. 2 Karakteristik Sensor MQ-136

Berdasarkan grafik diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai rasio resistansi sensor (R_s/R_o) ialah berbanding terbalik terhadap

konsentrasi gas sulfur dioksida. Sehingga dapat ditulis persamaan berikut.

$$\frac{R_s}{R_o} = \frac{1}{\text{Konsentrasi gas (ppm)}}$$

$$\text{Konsentrasi gas (ppm)} = \frac{R_s}{R_o}$$

Persamaan *sensor resistance* (R_s) adalah:

$$R_s = \left(\frac{V_{CC}}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

Keterangan :

Vcc : Tegangan uji sensor

VRL : Tegangan keluaran

RL : Resistansi dalam sensor

Rs : Resistansi sensor

Ro : Resistansi sensor pada saat 50 ppm

SO₂

4. Sensor MQ-135

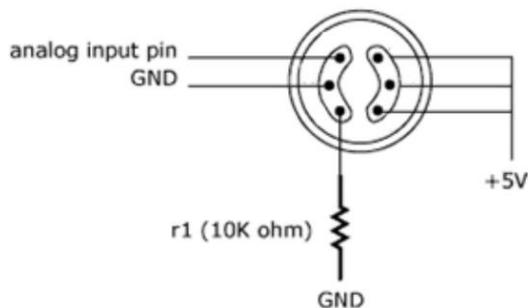
Sensor gas MQ-135 merupakan suatu komponen semikonduktor yang mampu mendeteksi berbagai macam gas, diantaranya adalah amonia (NH₃), natrium-(di)oksida (NO_x), alkohol atau ethanol (C₂H₅OH), benzena (C₆H₆), karbon dioksida (CO₂), dan gas lainnya yang ada di atmosfer. Tegangan untuk menghidupkan sensor MQ-135 sebesar 5V dengan sinyal yang

dihasilkan berupa analog. Hasil dari deteksi yang dilakukan oleh sensor MQ-135 akan di transmisikan berupa perubahan nilai resistansi analog pada *output* pinnya (Sebayang, 2017). Karakteristik dari sensor MQ-135 dapat dilihat pada gambar berikut.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor MQ-135

No.	Spesifikasi
1	<i>Power supply</i> menggunakan tegangan 2.5V-5V baik AC maupun DC.
2	<i>Load resistance</i> dapat diatur.
3	Menggunakan ADC dengan resolusi 10 bit.
4	Dilengkapi oleh antarmuka UART TTL dan I2C
5	Mampu bertahan pada temperatur -10°C sampai 45°C.
6	Waktu yang diperlukan untuk <i>pre-heat</i> adalah 24 jam.
7	Pin Input/Output kompatibel dengan level tegangan TTL
8	Keadaan standar untuk pengukuran ialah temperatur 20°C±2°C dan kelembapan 65%±5%

MQ-135 memiliki komponen sensitif yang berguna untuk mendeteksi suatu gas. Komponen sensitif sensor MQ-135 disusun oleh dua bagian, yaitu sirkuit pemanas dan *output* sinyal. Bagian sirkuit pemanas berfungsi sebagai kontrol waktu seperti menggunakan tegangan tinggi dan tegangan rendah secara bergantian. Bagian selanjutnya ialah rangkaian *output* sinyal, bagian ini bekerja secara akurat untuk merespon perubahan yang terjadi pada resistansi sensor.

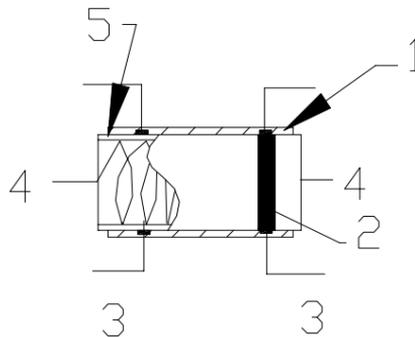


Sumber: electronicoscaldas.com

Gambar 2. 3 Pin Sensor MQ-135

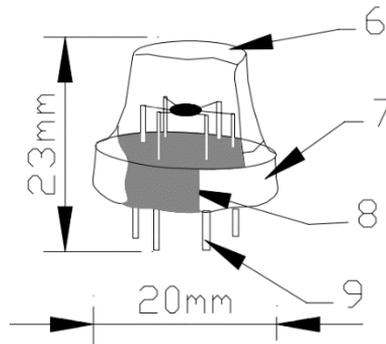
Komponen sensitif dari sensor MQ-135 terbuat dari material SnO_2 (timah oksida).

Material dari SnO_2 mempunyai nilai konduktifitas yang rendah apabila berada di udara bersih, sedangkan saat mendeteksi adanya polutan maka nilai konduktivitas material akan meningkat seiring meningkatnya polutan. Sensitivitas sensor MQ-135 ditentukan oleh konsentrasi gas yang akan di deteksi yang mempengaruhi nilai resistansi sensor. Penyesuaian sensitivitas sensor dapat dilakukan dengan cara menyesuaikan nilai resistansi sensor sesuai yang ada dalam *datasheet* terhadap gas yang akan dideteksi. Selain itu, untuk mendapatkan hasil deteksi yang akurat, proses kalibrasi untuk konsentrasi tertentu sangat diperlukan (Sebayang, 2017).



Sumber: electronicoscaldas.com

Gambar 2. 4 Bagian Dalam Sensor MQ-135

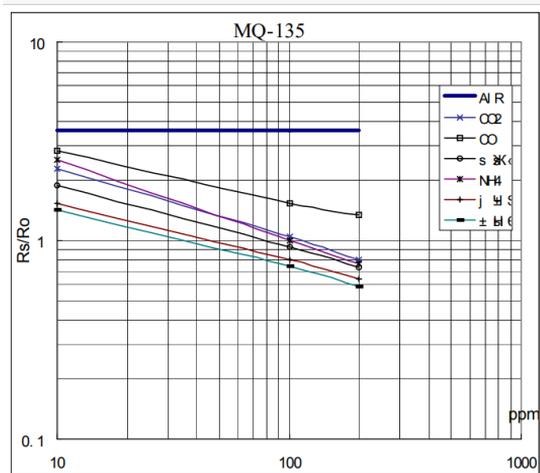


Sumber: electronicscaldas.com

Gambar 2. 5 Bagian Luar Sensor MQ-135

Tabel 2. 6 Material Sensor MQ-135

No.	Bagian Sensor	Material yang Digunakan
1	<i>Electrode</i>	Au
2	<i>Electrode Line</i>	Pt
3	<i>Heater Coil</i>	Ni-Cr Alloy
4	<i>Gas Sensing Layer</i>	SnO_2
5	<i>Tubular Ceramic</i>	Al_2O_3
6	<i>Anti-Explosin Newtork</i>	Stainless Steel Gauze (SUS316 100-mesh)
7	<i>Clamp Ring</i>	Copper Plating Ni
8	<i>Resin Base</i>	Bakelite
9	<i>Tube Pin</i>	Copper platng Ni

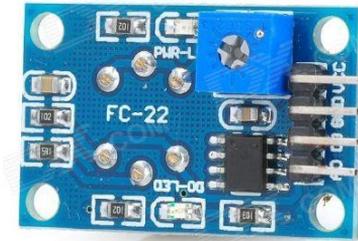


Sumber: electronicoscaldas.com

Gambar 2. 6 Karakteristik Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 memiliki empat pin yang terdiri dari VCC, GND, Digital Output, dan Analog Input. Terdapat dua LED indikator yaitu merah dan hijau pada modul sensor MQ-135. LED merah akan menyala sesuai dengan alamat I²C yang digunakan. Sedangkan LED hijau akan berkedip dengan cepat sampai waktu pemanasan sensor dan hasil deteksi sensor stabil. Jika sensor sudah melwati waktu pemanasan dan hasil deteksi sudah stabil, maka LED akan menyala tanpa berkedip. Waktu *pre-heat* atau pemanasan yang

diperlukan sensor berbeda-beda untuk setiap pabrikan, tergantung dari kecepatan sensor serta kondisi pemanas yang ada pada sensor.



Sumber: microcontrollerslab.com

Gambar 2. 7 Modul Sensor MQ-135

5. NodeMCU

Pada dasarnya NodeMCU merupakan pengembangan dari ESP8266 yang dilengkapi firmware berbasis e-Lua. NodeMCU memiliki *micro usb port* yang digunakan untuk mensuplai power ataupun mengunggah program. Bahasa yang digunakan untuk membuat program NodeMCU ialah bahasa Lua yang merupakan paket dari ESP8266. Tidak jauh berbeda dengan bahasa C, bahasa Lua memiliki algoritma dan susunan program yang sama hanya saja memiliki *syntax* yang berbeda. *Package* dari

ESP8266 dilengkapi dengan *tool* yang mendukung bahasa Lua, yaitu Lua *loader* dan Lua *uploader*. Selain menggunakan bahasa Lua untuk membuat program pada NodeMCU, Arduino IDE juga dapat digunakan. Akan tetapi, perlu sedikit pengaturan pada *board manager* dalam Arduino IDE agar dapat mengenali NodeMCU (Priyono, 2017).



Sumber: [instructables.com](https://www.instructables.com/@Danish%20Malhotra)@Danish Malhotra

Gambar 2. 8 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ialah salah satu *platform* IoT yang bersifat *open source* dilengkapi dengan SOC atau *System On Chip* ESP8266 dari *Espressif System*. NodeMCU hampir sama seperti *board* Arduino, dapat berfungsi sebagai *microcontroller*. Keunggulan dari NodeMCU yang terintegrasi oleh ESP8266 ialah dapat langsung mengakses wifi, tanpa bantuan dari komponen lain (Priyono, 2017).

Tabel 2. 7 Spesifikasi NodeMCU ESP8266

No.	Nama Komponen	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	ESP8266
2	<i>Board</i>	57 mm x 30 mm
3	Tegangan Input	3.3 V sampai 5 V
4	GPIO	13 Pin
5	Kanal PWM	10 Kanal
6	10 bit ADC Pin	1 pin
7	Flash Memory	4 MB
8	Clock Speed	40/26/24 MHz
9	Wifi	IEEE 802.11 b/g/n
10	Frekuensi	2.4 Ghz sampai 22.5 GHz
11	USB Port	Micro USB
12	USB to Serial Converter	CH340G

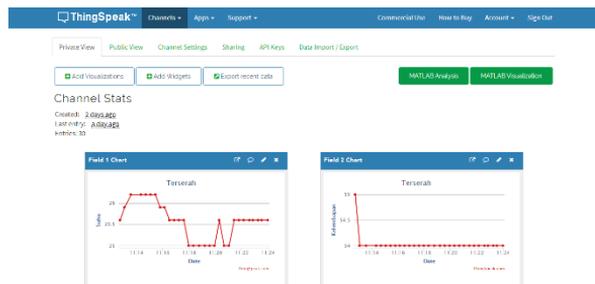
menembusnya kecuali dengan kekuatan” (Q.S Ar-Rahman-33).

Makna yang terkandung dalam ayat tersebut ialah petunjuk kepada manusia untuk berusaha melewati lapisan langit dan bumi, akan tetapi manusia memerlukan kekuatan yang lebih untuk melakukannya. Kata *sulthan* dalam ayat tersebut dapat diartikan sebagai kemampuan manusia dalam menciptakan suatu alat yang mampu melewati lapisan langit dan bumi, dengan kata lain manusia dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi (Fatah & Sudarsono, 2005).

6. ThingSpeak

ThingSpeak merupakan salah satu wadah *open source* yang menyediakan layanan untuk pengembangan IoT serta dapat menyimpan dan menerima data menggunakan protokol HTTP melalui internet yang berbentuk laman web. Pada awalnya ThingSpeak di kembangkan oleh ioBridge pada tahun 2010 yang berperan sebagai layanan untuk mendukung IoT. Pembuatan alat monitoring yang menggunakan data *logging*, aplikasi pelacakan, serta aplikasi

yang berkaitan dengan *update* status atau *warning system* sangat memungkinkan menggunakan ThingSpeak. ThingSpeak juga memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan serta menganalisis data menggunakan Matlab tanpa membeli lisensi dari MathWorks. Hal ini dikarenakan ThingSpeak telah terintegrasi dengan komptasi numerik perangkat lunak MATLAB dari MathWorks (Pahlevi, 2019).



Sumber: thingspeak.com

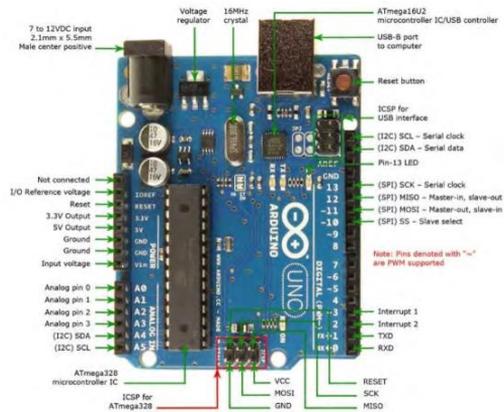
Gambar 2. 10 Tampilan ThingSpeak

7. Arduino UNO

Arduino UNO merupakan salah satu *board* untuk mikrokontroler yang bersifat *open source* dan menjadi salah satu perangkat *open source* populer. *Board* Arduino UNO dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega328 yang berfungsi pusat dari semua intruksi. Kapasitas *flash*

memory yang dimiliki ATmega328 sebesar 32 Kb, sedangkan untuk RAM sebesar 2 Kb, dan EEPROM sebesar 1024 bytes. Serta kecepatan maksimum yang dapat dicapai oleh ATmega 328 adalah 16 Mhz, hal ini menyebabkan mikrokontroler dapat mengeksekusi banyak instruksi dalam satu detik.

Arduino UNO dilengkapi 14 pin digital input/output 6 diantaranya dapat digunakan sebagai PWM, 6 pin analog, dan 16 MHz kristal osilator. Sebuah *port* USB tipe B dan *power jack* yang ada pada *board* Arduino UNO berfungsi sebagai penghubung antara Arduino UNO dengan *power supply*, selain itu *port* USB tipe juga dapat digunakan untuk memasukkan program dari komputer ke mikrokontroler.



Sumber: (Sebayang, 2017)

Gambar 3. 1 Arduino UNO

8. Logika Fuzzy

Tahun 1965, Prof. Lutfi A. Zadeh yang merupakan seorang peneliti dari Universitas California di Barkley memperkenalkan lgika fuzzy utuk pertama kalinya dalam bidang ilmu komputer. Menurut profesor Zadeh logika tegas atau sering dikenal dengan logika benar salah tidak mampu mempresentasikan setiap keadaan yang sedang terjadi, kemudian beliau mengembangkan logika fuzzy yang mampu mewakili setiap keadaan atau pemikiran manusia. Logika fuzzy memiliki keanggotaan elemen mulai dari 0 sampai 1. Sedangkan logika benar salah hanya memiliki dua keanggotaan

elemen yaitu 0 dan 1. Hal ini yang menjadi perbedaan antara logika fuzzy dan logika tegas (Trimartanti, 2011).

Logika fuzzy ialah sebuah nilai yang dapat berada pada keadaan benar ataupun salah secara bersamaan. Keadaan benar maupun salah suatu nilai dipengaruhi oleh derajat keanggotaan yang berlaku. Salah satu manfaat yang dapat diambil dari logika fuzzy adalah untuk menafsirkan suatu nilai atau besaran ke dalam bahasa yang lebih mudah dipahami, contohnya besaran kecepatan laju kendaraan yang dapat ditafsirkan menjadi pelan agak cepat, cepat, dan sangat cepat (Wulandari, 2011).

Salah satu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam ruang output ialah menggunakan logika fuzzy. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran (S Kusumadewi, 2002). Kelebihan dari logika fuzzy sehingga menjadikannya alternatif untuk berbagai sistem pengambilan keputusan sebagai berikut:

- a. Memiliki konsep yang sederhana sehingga mudah untuk dimengerti.
- b. Mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan dan ketidakpastian.
- c. Memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
- d. Dapat digabungkan dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- e. Mampu mensistemkan fungsi-fungsi non-linier yang sangat kompleks.
- f. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa sehari-hari sehingga mudah dipahami.

Logika fuzzy disusun oleh beberapa komponen yaitu himpunan fuzzy, fungsi keanggotaan, operator pada himpunan fuzzy, inferensi fuzzy dan defuzzyfikasi. Agar dapat tercipta sistem dengan logika fuzzy yang benar, setiap komponen penyusun harus disiapkan dengan baik.

- a. Himpunan Fuzzy

Dalam himpunan tegas, setiap nilai hanya memiliki dua derajat keanggotaan yaitu 0 dan 1.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & \text{jika } x \in A \\ 0; & \text{jika } x \notin A \end{cases}$$

μ_A adalah fungsi karakteristik dari himpunan A. Sedangkan dalam himpunan fuzzy derajat keanggotaan untuk setiap elemennya terletak pada rentang 0 sampai 1 (Trimartanti, 2011).

Wang (Wang, 1996) mendefinisikan suatu himpunan fuzzy pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan nilai fungsi keanggotaan pada interval 0 sampai 1. Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis dengan:

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in U\}$$

b. Fungsi Keanggotaan

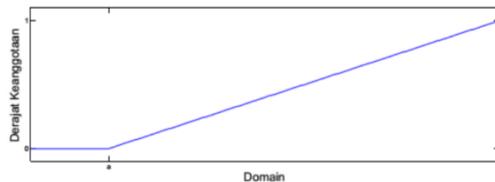
Fungsi keanggotaan logika fuzzy adalah suatu fungsi yang menggambarkan elemen suatu himpunan ke nilai keanggotaan dalam rentang 0 sampai 1. Berbagai cara dapat digunakan untuk merepresentasikan fungsi keanggotaan logika fuzzy, akan tetapi yang serung dipakai untuk representasi adalah cara analitik (Trimartanti, 2011).

Model logika fuzzy sangat sensitif terhadap jenis pendeskripsian himpunan fuzzy sehingga membutuhkan pemodelan

yang tepat. Terdapat berbagai jenis pemodelan himpunan fuzzy, antara lain sebagai berikut:

1) Representasi kurva linier

Representasi input ke dalam derajat keanggotaannya di gambarkan sebagai suatu garis lurus didalam kurva linier (Trimartanti, 2011). Pada representasi himpunan fuzzy kurva linier, ada dua keadaan. Himpunan akan mengalami penurunan derajat keanggotaan atau mengalami kenaikan. Representasi kurva linier turun ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2. 11 Representasi Kurva Linier Naik (Trimartanti, 2011)

Fungsi keanggotaan linier turun:

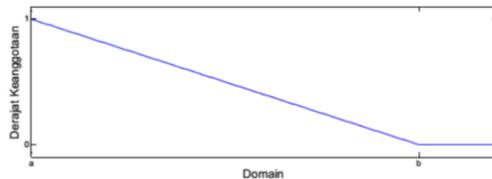
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x = b \end{cases}$$

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

Representasi kurva linier turun himpunan fuzzy ditunjukkan oleh gambar 2.15.



Gambar 2. 12 Representasi Kurva Linier Turun (Trimartanti, 2011)

Fungsi keanggotaan linier turun:

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

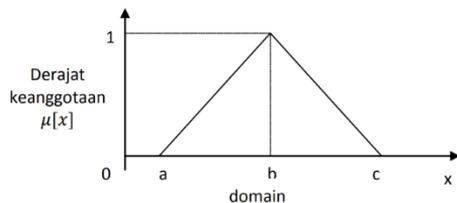
Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

2) Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga merupakan gabungan dari dua keadaan dalam representasi kurva linier (Wulandari, 2011). Representasi kurva segitiga dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2. 13 Representasi Kurva Segitiga (Wulandari, 2011)

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol.

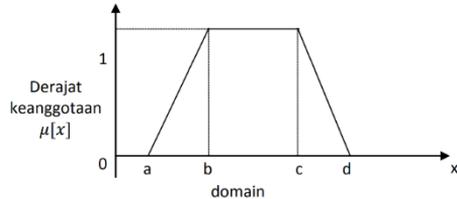
b = nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan satu.

c = nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan nol

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

3) Representasi kurva trapesium

Pada dasarnya representasi kurva trapesium seperti bentuk representasi kurva segitiga, namn ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (Trimartanti, 2011; Wulandari, 2011). Representasi kurva trapesium dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2. 14 Representasi Kurva Trapesium (Wulandari, 2011)

Fungsi keanggotaan:

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

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan nol.

b = nilai domain terkecil yang memiliki derajat keanggotaan satu.

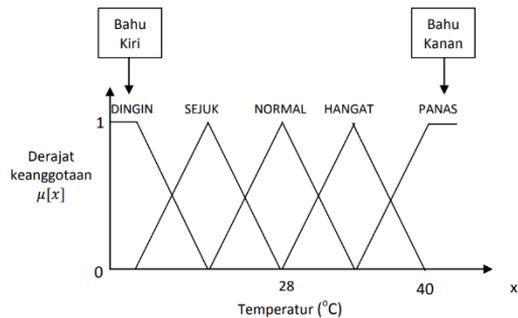
c = nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan satu.

c = nilai domain terbesar yang memiliki derajat keanggotaan nol.

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

4) Representasi kurva bahu

Representasi kurva bahu pada himpunan fuzzy berfungsi untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy. Kurva bahu memiliki bentuk yang berbeda dengan kurva segitiga, salah satu sisi pada variabel akan mengalami perubahan turun atau naik, untuk sisi yang lain tidak mengalami perubahan atau tetap (Wulandari, 2011). Representasi kurva bahu ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2. 15 Representasi Kurva Bahu (Wulandari, 2011)

c. Operasi pada Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy memiliki tiga operasi dasar, yaitu komplemen, gabungan atau *union*, dan irisan atau *intersection* (Wang, 1996).

1) Komplemen

Operasi komplemen dalam himpunan fuzzy ialah sebagai hasil dari operasi operator NOT yang didapatkan dengan mengurangi nilai dari keanggotaan elemen pada himpunan dengan 1.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

2) Gabungan

Operasi *Union* (gabungan) dalam himpunan fuzzy yaitu sebagai hasil

dari operasi dengan operator OR yang didapatkan dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar diantara elemen dalam himpunan yang berkaitan.

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

3) Irisan

Operasi irisan atau *intersection* dalam himpunan fuzzy ialah sebagai hasil dari operasi dengan operator AND yang didapatkan dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil diantara elemen dalam himpunan yang berkaitan.

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

d. Sistem Fuzzy

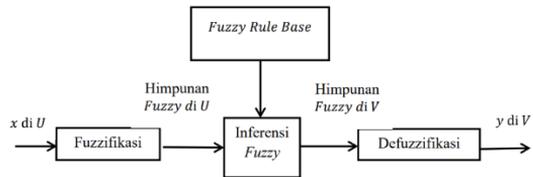
Sistem fuzzy merupakan sistem yang berdasarkan pada aturan yang terdaot dalam himpunan fuzzy. Menurut (Wang, 1996) sistem fuzzy memiliki beberapa keistimewaan, yaitu:

- 1) Sistem fuzzy sangat tepat digunakan dalam sistem pemodelan karena variabelnya bernilai real.

- 2) Terdapat kerangka yang bisa digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan fuzzy yang bersumber dari penalaran manusia.
- 3) Sistem fuzzy memiliki berbagai pilihan dalam menentukan *fuzzifier* dan *defuzzifier*.

Beberapa elemen dasar yang membentuk sistem fuzzy:

- 1) *Rule base* yaitu berisi aturan-aturan (*rules*) yang digunakan untuk menjalankan sistem fuzzy.
- 2) *Inference engine* (pengambil keputusan)
- 3) *Fuzzification* yaitu proses mengubah nilai himpunan tegas menjadi nilai himpunan fuzzy.
- 4) *Defuzzification* yaitu proses mengubah nilai himpunan fuzzy menjadi nilai himpunan tegas.



Gambar 2. 16 Sistem Fuzzy (Trimartanti, 2011)

Penjelasan langkah yang terdapat dalam sistem fuzzy ialah sebagai berikut:

1) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses perubahan nilai dari himpunan tegas ke dalam bentuk himpunan fuzzy (Wang, 1997). Langkah fuzzifikasi ini merupakan langkah pertama dalam sistem fuzzy, yang mengambil nilai-nilai crisp dan menentukan derajat di mana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari himpunan fuzzy. Adapun kriteria dalam proses fuzzifikasi yaitu semua anggota dari himpunan tegas harus termuat dalam himpunan fuzzy.

2) Fuzzy rule

Aturan *if-then* merupakan aturan yang digunakan dalam sistem fuzzy. Pernyataan dari aturan *if-then* dalam sistem fuzzy dapat digambarkan sebagai berikut:

IF < proposisi fuzzy > THEN

< proposisi fuzzy >

Terdapat dua jenis dalam proposisi fuzzy, yaitu proposisi fuzzy *atomic* dan proposisi fuzzy *compound*. Proposisi fuzzy *atomic* diartikan sebagai pernyataan dimana x berupa variabel linguistik sedangkan A adalah himpunan fuzzy dari x . Sedangkan proposisi fuzzy *compound* adalah gabungan dari proposisi fuzzy *atomic* yang dihubungkan dengan operator OR, AND, dan NOT (Wang, 1997).

3) Inferensi fuzzy

Inferensi fuzzy merupakan proses penalaran yang dilakukan oleh sistem fuzzy berdasarkan input dan *rules*

yang sudah diberikan. Proses penalaran akan menghasilkan output berupa himpunan fuzzy.

Terdapat beberapa jenis dari inferensi fuzzy yang sering digunakan dalam penelitian yaitu metode Mamdani, metode Tsukamoto dan Sugeno.

a) Metode Mamdani

Ibrahim Mamdani memperkenalkan metode ini pada tahun 1975. Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max yang membuatnya disebut sebagai metode MIN-MAX. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana di antara metode lainnya, sehingga sering digunakan dalam penelitian. *Output* untuk n pada metode Mamdani dapat didefinisikan sebagai

$$\mu_{B^k}(y) = \max[\min[\mu_{A_1^k}(x_i), \mu_{A_2^k}(x_j)]]_k$$

b) Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto adalah suatu metode dalam sistem fuzzy yang konsekuensi dari aturan fuzzynya direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan yang monoton.

c) Metode Sugeno

Metode Sugeno merupakan suatu metode dalam sistem fuzzy yang inputnya menggunakan fuzzy, sedangkan outputnya merupakan konstanta atau persamaan linier. Perbedaan antara metode Mamdani dan Sugeno terletak pada *output* dan proses defuzzifikasi, metode Mamdani *output* berupa himpunan fuzzy dan defuzzifikasi menggunakan agregasi daerah kurva, sedangkan metode Sugeno memiliki *output* berupa persamaan linier atau konstanta dan defuzzifikasi menggunakan agregasi *singleton-singleton*.

4) Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi adalah perubahan kembali himpunan fuzzy menjadi himpunan tegas. Proses ini berkebalikan dengan proses fuzzifikasi (Wang, 1997). Himpunan fuzzy yang diubah menjadi himpunan tegas adalah *output* dari proses inferensi fuzzy. Beberapa metode yang digunakan dalam proses defuzzifikasi adalah sebagai berikut:

a) Metode bisektor

Metode bisektor merupakan metode yang mengambil nilai pada daerah himpunan fuzzy yang mempunyai keanggotaan pada daerah fuzzy sebagai solusi tegas.

$$x_p = \int_a^p \mu(x) dx = \int_p^b \pi(x) dx$$

Dengan $a = \min(x: x \in X)$ dan $b = \max(x: x \in X)$ sedangkan $p = x$ yang membagi daerah inferensi menjadi dua bagian yang sama besar.

b) Metode centroid

Proses defuzzifikasi dalam metode centroid ialah mengambil nilai titik pusat dari daerah pada fungsi keanggotaan. Metode centroid juga disebut dengan metode *Center of Gravity* atau *Center of Area* (Wang, 1997).

$$x^* = \frac{\int_a^b x \mu_B(x) dx}{\int_a^b \mu_B(x) dx}$$

untuk domain kontinu, dan

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_B(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(x_i)}$$

untuk domain diskrit.

Nilai yang dihasilkan dari metode centroid bergerak halus, sehingga membuat kurva representasi himpunan fuzzy juga bergerak halus.

c) Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi tegas didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata domain yang dimiliki oleh nilai keanggotaan maksimum.

- d) Metode *Largest of Maximum*
Solusi tegas yang didapatkan dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum
- e) Metode *Smalles of Maximum*
Solusi tegas yang didapatkan dengan mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Tempat

Penelitian dilakukan dengan membuat perancangan pembuatan serta tahap pengujian alat. Merencanakan kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan alat, baik kebutuhan untuk perancangan perangkat keras (*hardware*) maupun kebutuhan untuk perancangan perangkat lunak (*software*). Kemudian proses pembuatan alat dilakukan di laboratorium fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Pegambilan data dan pengujian alat dilakukan di kawah Candi Gedong Songo, Bandungan, Semarang.

2. Waktu

Tahapan Penelitian yang meliputi studi literatur, perancangan *hardware*, perancangan *software*, pengujian dan pengambilan data, serta analisis data dan penyusunan laporan dilaksanakan pada minggu pertama bulan Januari 2021 sampai minggu kedua bulan April 2021.

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2021								
		Bulan ke-								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Studi Pustaka									
2	Perancangan Hardware									
3	Perancangan Software									
4	Pengujian dan Pengambilan Data									
5	Analisis Data dan Penyusunan Laporan									

B. Alat dan Bahan

Alat serta bahan yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Alat Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1	Solder dan Tenol	Menghubungkan antar komponen dengan menyolder.
2	Obeng	Membuka dan memasang baut
3	Gunting	Memotong kabel

Tabe 3. 2 Lanjutan

No.	Alat	Fungsi
4	Bor	Melubangi <i>box</i>
5	Laptop	Merancang perangkat keras dan perangkat lunak
6	Multimeter digital	Mengetahui koneksi antar komponen dan mengetahui <i>voltage</i> .
7	<i>Arduino IDE</i>	Membuat program <i>arduino uno</i>
8	<i>ThingSpeak</i>	Menyimpan dan menampilkan data yang dapat diakses dengan internet

Tabel 3. 3 Bahan Penelitian

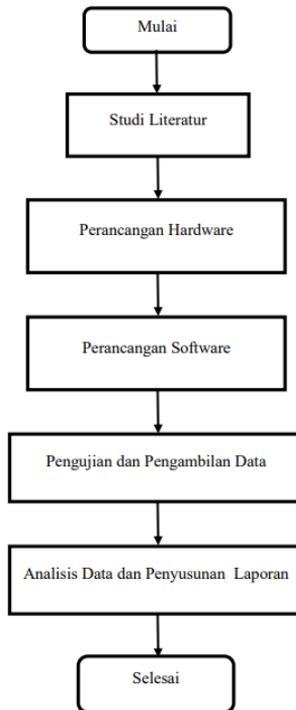
No.	Bahan	Tipe	Jumlah
1	Modul <i>NodeMCU</i>	ESP8266	1 buah
2	Sensor Sulfur Dioksida	MQ136	1 buah
3	Sensor Karbon Dioksida	MQ135	1 buah

Tabel 3. 3 Lanjutan

No.	Bahan	Tipe	Jumlah
4	PCB	<i>Double Layer</i>	1 buah
5	<i>Box</i> plastik	12.5 x 8 x 5.5 cm	1 buah
6	LED	Merah, kuning, dan hijau	6 buah
7	Kabel <i>jumper</i>		
8	Arduino UNO	UNO R. 3	1 buah

C. Metodologi Pelaksanaan dan Penelitian

Metodologi pelaksanaan dan penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

Tahap penelitian “Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kadar Gas Sulfur Dioksida (SO_2) dan gas Karbon Monoksida (CO_2) Sebagai *Early Warning System* Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy” adalah:

1. Studi Literatur

Pada tahap pertama penelitian, dilakukan mencari literatur yang berkaitan dengan penelitian supaya perancangan dan pelaksanaan penelitian berjalan sesuai yang diharapkan. Buku dan jurnal yang berkaitan dengan NodeMCU, logika fuzzy, gas sulfur dioksida, dan gas karbon dioksida digunakan sebagai sumber literature.

2. Perancangan Hardware

Tahap kedua merupakan perancangan desain dari alat *monitoring* gas sulfur dioksida dan gas karbon dioksida. Perancangan meliputi dari menghubungkan sensor dengan NodeMCU serta meletakkan semuanya dalam wadah yang telah disiapkan.

3. Perancangan Software

Tahap kedua adalah pembuatan channel pada thingSpeak, dan program untuk NodeMCU ESP8266. Pada tahapan ini, program untuk NodeMCU ESP8266 dibuat menggunakan *software* Arduino IDE. Program yang dibuat meliputi kalibrasi sensor,

pembacaan sensor, logika fuzzy, dan pengiriman data ke server thingSpeak.

4. Pengujian dan Pengambilan Data

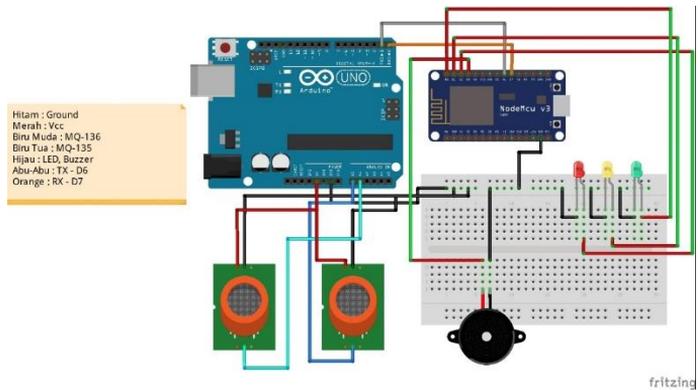
Tahap keempat adalah pengujian alat *monitoring* kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida. Pengujian pertama dilakukan terhadap sensor MQ-136 dan MQ-136 yang bertujuan untuk kalibrasi dan melihat kinerja dari sensor tersebut. Pengujian selanjutnya dilakukan terhadap program logika fuzzy yang telah dibuat. Pengujian terakhir dilakukan terhadap alat monitoring yang telah dirangkai termasuk program dan pengiriman data ke server thingSpeak. Pengambilan data dilakukan setelah semua proses pengujian telah berhasil.

5. Analisis Data dan Penyusunan Laporan

Tahap terakhir adalah melakukan proses analisis terhadap data yang telah didapatkan dari tahap sebelumnya. Analisis data dilakukan untuk mengetahui apakah terjadikesalahan atau alat *monitoring* berjalan sesuai dengan keinginan. Setelah proses analisis data selesai, proses selanjutnya adalah menyusun laporan.

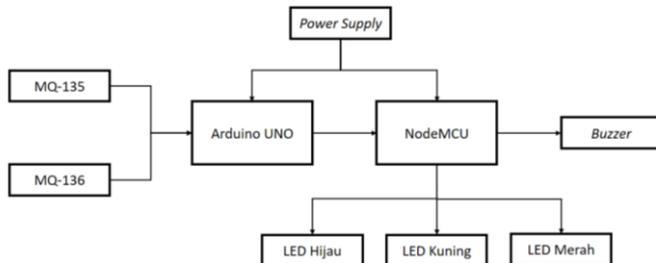
D. Desain Alat

Desain Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Gas SO_2 dan CO_2 Sebagai Early Warning System Pada Kawah Candi Gedong Songo Menggunakan NodeMCU dan Logika Fuzzy terdiri dari perangkat NodeMCU ESP8266, MQ135, MQ136 yang di rangkai dalam sebuah *box*. Perancangan alat *monitoring* seperti gambar berikut:



Gambar 3. 3 Desain Rancang Bangun Alat

E. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3. 4 Diagram Blok Perangkat Keras

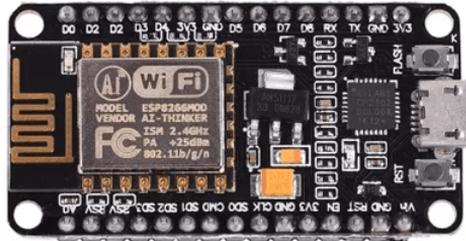
1. *Power Supply*

Sumber daya yang digunakan pada alat *monitoring* gas SO₂ dan CO₂ adalah *powerbank* untuk mengalirkan arus listrik pada semua perangkat keras. Tegangan yang dapat dihasilkan oleh *Powerbank* sekitar 5.1-12 V, tegangan ini sudah sesuai dengan yang dibutuhkan NodeMCU ESP8266.

2. NodeMCU

Perangkat keras yang paling berperan dalam membuat Alat ini ialah NodeMCU, yang akan menjadi penghubung semua perangkat keras supaya menjadi sistem yang diinginkan. Seperti halnya Arduino, NodeMCU dapat mengeksekusi sebuah program yang diberikan melalui *software* Arduino IDE. NodeMCU sudah dilengkapi dengan modul *Wifi*

802.11 b/g/n yang mempermudah untuk tersambung dengan *wifi* tipe apapun.



Sumber: [instructables.com](https://www.instructables.com/@Danish%20Malhotra)@Danish Malhotra

Gambar 3. 5 NodeMCU ESP8266

3. MQ-135

Sensor MQ-135 termasuk salah satu sensor yang dapat mengukur kadar karbon dioksida. Sensor MQ-135 yang digunakan sudah dilengkapi dengan konverter ADC, sehingga dapat menghasilkan data digital dan langsung di hubungkan dengan pin digital pada NodeMCU. MQ-135 memiliki empat kaki yaitu VCC, GND, AO, dan DO.



Sumber: electronics.com.bd

Gambar 3. 6 MQ-135

4. MQ-136

Sensor MQ-136 adalah salah satu sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi adanya gas SO_2 . Terbuat dari komponen semikonduktor yang peka akan bau gas tin oksida (SnO_2) membuat sensor MQ-136 memiliki sensitifitas tinggi terhadap gas-gas yang menganfung unsur sulfur, seperti halnya sulfur dioksida (SO_2). MQ-136 memiliki empat buah kaki, sama seperti MQ-135 yang berupa VCC, AO, DO, dan GND.



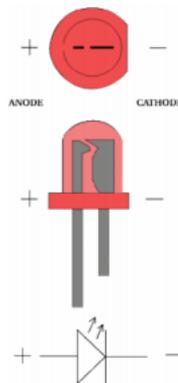
Sumber: sainsmart.com

Gambar 3.7 MQ-136

5. LED (*Light Emitting Diode*)

Light Emitting Diode atau biasa disebut dengan LED adalah salah satu komponen elektronik yang mampu mengeluarkan emisi cahaya monokromatik. LED termasuk dalam jenis dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna yang dihasilkan oleh LED dipengaruhi oleh bahan dari semikonduktor, contohnya seperti gallium, arsenic, dan phosphorus (Jati, 2011).

Struktur LED sama seperti dioda, yaitu memiliki kutub positif (P) dan kutub negative (N). Ketika LED diberi tegangan maju, electron yang terdapat pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang bermuatan positif diantara P-Type material dan N-Type material (*Hole*). Saat electron memasuki wilayah tersebut, photon akan dilepaskan electron dan memancarkan cahaya monokromatik. LED yang mengeluarkan cahaya ketika diberi tegangan dapat digolongkan sebagai tranduser yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi cahaya (Jati, 2011).



Sumber: repository.unikom.ac.id/Bambang I. Jati

Gambar 3. 8 Bentuk dan Simbol LED

6. Arduino Uno

Arduino uno merupakan salah satu jenis board mikrokontroler dari keluarga Arduino. Mikrokontroler yang digunakan pada arduino uno berbasis ATmega328. Arduni uno memiliki 6 pin input analog, 14 pin *input/output* digital dengan 6 yang dilengkapi PWM, 16 MHz kristal osilator, *port* USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol reset.



Sumber : <https://www.arduino.cc>

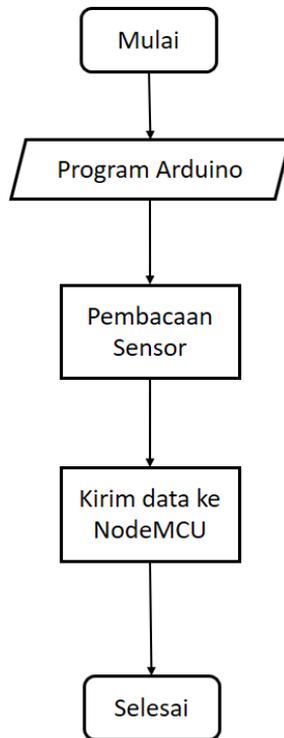
Gambar 3. 9 Arduino UNO

F. Perancangan Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak untuk sistem ini menggunakan *software* dari arduino yaitu arduino IDE serta dengan menambahkan *library board* NdeMCU kedalam arduino IDE. *Library board* NodeMCU dibutuhkan agar *software* arduino IDE dapat menganali

NodeMCU dan program bisa di *upload* dengan baik. *Software* arduino IDE sendiri menggunakan bahasa C atau yang disebut bahasa C++ untuk menuliskan *programnya*, dan *library* dari setiap perangkat keras yang akan digunakan dalam menjalankan *program* tersebut. Selain *software* arduino IDE, perangkat lunak yang digunakan untuk membangun sistem ini adalah ThinkSpeak. ThingSpeak sendiri merupakan salah satu *platform* IoT yang dapat digunakan untuk menyimpan, mengolah, serta menampilkan data menggunakan *protocol* HTTP. Peran ThingSpeak pada sistem ini sebagai *database* agar data dapat diakses dengan mudah, serta *display* supaya proses *monitoring* dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja.

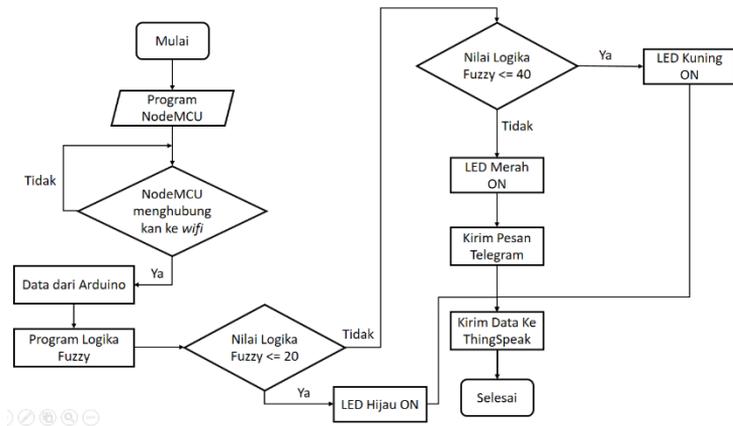
Pembacaan sensor MQ-135 dan MQ-136 dilakukan oleh Arduino uno. Hal ini dikarenakan sensor MQ-135 dan MQ-136 membutuhkan tegangan sebesar 5v untuk mendeteksi gas sulfur dioksida dan karbon dioksida. Setelah nilai dari sensor didapatkan, Arduino akan mengirimkan nilai tersebut ke NodeMCU.



Gambar 3. 10 Diagram Alir Pembacaan Sensor

Program untuk *early warning system* dan logika fuzzy di tanamkan kedalam NodeMCU. Nilai sensor didapatkan dari arduino melalui komunikasi serial dan digunakan untuk melakukan perhitungan logika fuzzy. Setelah proses perhitungan logika fuzzy selesai dan hasil didapatkan, NodeMCU akan mengeksekusi program *early warning system*. *Output* dari program *early*

warning system ini berupa LED, *buzzer*, dan pengiriman pesan ke aplikasi telegram. Data sensor yang diperoleh dari arduino akan di *upload* ke *database* thingspeak untuk proses *monitoring*.



Gambar 3. 11 Diagram Alir *Early Warning System*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

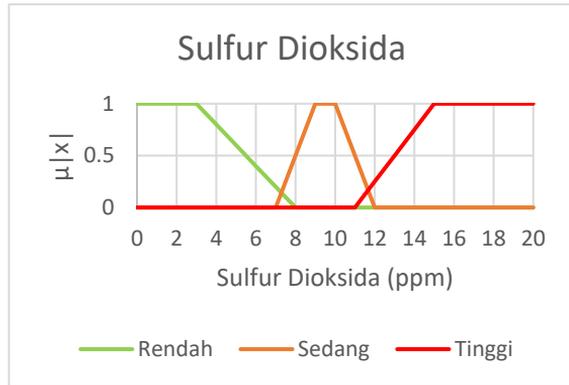
A. Hasil

1. Pengujian Logika Fuzzy

Pengujian logika fuzzy dilakukan guna mengetahui keakuratan hasil dari perhitungan sistem fuzzy pada mikrokontroler dalam menentukan tingkat bahaya gas sulfur dioksida dan karbon dioksida. Nilai yang dihasilkan oleh logika fuzzy didalam mikrokontroler akan dibandingkan dengan nilai logika fuzzy yang diperoleh dari simulasi *software*. Pengujian logika fuzzy pada MATLAB menggunakan metode yang sama dengan logika fuzzy pada mikrokontroler, yaitu logika fuzzy Mamdani. Implementasi dari sistem fuzzy harus melewati beberapa tahapan yaitu fuzzyfikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzyfikasi. Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan dalam membuat sistem fuzzy:

a. Fuzzyfikasi

1) Fungsi keanggotaan *input* sulfur dioksida



Gambar 4. 1 Fungsi Keanggotaan SO₂

Variabel *input* gas sulfur dioksida memiliki tiga buah himpunan yaitu *low*, *medium*, dan *high*. Penggunaan kurva trapesium dalam menentukan fungsi keanggotaan mengacu pada kemampuan sensor dalam mendeteksi gas sulfur dioksida (Maulana et al., 2018).

Setiap himpunan memiliki batasan nilai dan derajat keanggotaan sendiri, dapat dilihat pada gambar. Himpunan *low* memiliki *domain range* dari 0 ppm sampai 8 ppm. Sedangkan untuk himpunan *medium*

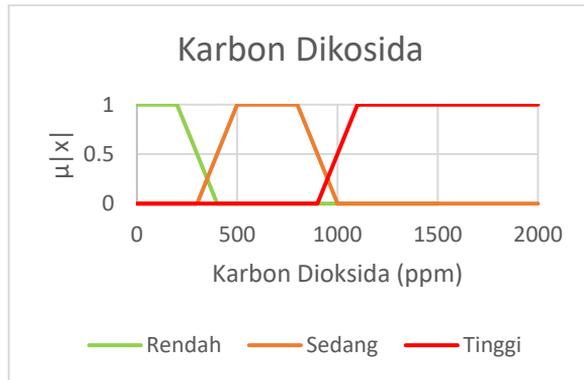
memiliki *domain range* dari 7 ppm sampai 12 ppm, dan himpunan *high* dari 11 ppm sampai 20 ppm. Nilai *domain range* pada setiap himpunan di sesuaikan dengan data pengaruh gas sulfur dioksida terhadap makhluk hidup (Wahyuni, 2017). Apabila sensor mendeteksi gas sulfur dioksida bernilai 2 ppm, maka himpunan *low* akan memiliki derajat keanggotaan satu. Nilai dari derajat keanggotaan dapat dicari menggunakan rumus berikut:

$$\mu_{SO_2Rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 3 \\ \frac{8-x}{8-3}, & 3 \leq x \leq 8 \\ 0, & 8 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{SO_2Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 7 \text{ atau } x \geq 12 \\ \frac{x-7}{9-7}, & 7 \leq x \leq 9 \\ 1, & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{12-x}{12-10}, & 10 \leq x \leq 12 \end{cases}$$

$$\mu_{SO_2Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 11 \\ \frac{x-11}{15-11}, & 11 \leq x \leq 15 \\ 1, & x \geq 15 \end{cases}$$

2) Fungsi keanggotaan karbon dioksida



Gambar 4. 2 Fungsi Keanggotaan CO₂

Pada variabel gas karbon dioksida terdapat tiga himpunan yaitu rendah, sedang, dan tinggi. *Domain range* dalam himpunan rendah memiliki nilai dari 0 ppm sampai 400 ppm, himpunan sedang memiliki nilai dari 300 ppm sampai 1000 ppm, dan himpunan tinggi memiliki nilai dari 900 ppm sampai 2000 ppm. Penentuan nilai dalam *domain range* berdasarkan data dari pengaruh gas karbon dioksida kepada makhluk hidup. Kurva dari variabel gas karbon dioksida dapat dilihat pada gambar. Variabel gas karbon dioksida menggunakan

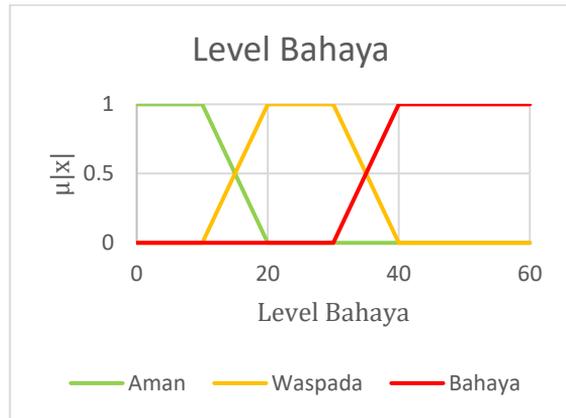
representasi kurva trapesium karena mengacu pada kemampuan sensor dalam mendeteksi gas karbon dioksida.

$$\mu_{CO_2Rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 200 \\ \frac{400 - x}{400 - 200}, & 200 \leq x \leq 400 \\ 0, & 400 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{CO_2Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 300 \text{ atau } x \geq 1000 \\ \frac{x - 300}{500 - 300}, & 300 \leq x \leq 500 \\ 1, & x \leq 800 \text{ atau } x \geq 1000 \\ \frac{1000 - x}{1000 - 800}, & 800 \leq x \leq 1000 \end{cases}$$

$$\mu_{CO_2Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 900 \\ \frac{1200 - x}{1200 - 900}, & 900 \leq x \leq 1200 \\ 1, & x \geq 1200 \end{cases}$$

3) Fungsi keanggotaan *output* level bahaya



Gambar 4. 3 Fungsi Keanggotaan Level Bahaya

Variabel *output* level bahaya memiliki tiga himpunan yaitu aman, waspada, dan bahaya. Setiap himpunan mempunyai *domain range* sendiri yang dapat menggambarkan ancaman dari gas sulfur dioksida dan karbon dioksida. Kurva variabel *output* level bahaya dapat dilihat pada gambar. Penggunaan kurva trapesium dalam variabel *output* level bahaya mengacu pada penelitian (Darmawan, 2019) tentang implementasi *fuzzy logic control* pada sistem peringatan dini

kebakaran berbasis IOT dan penelitian (Arifin et al., 2016) tentang implementasi logika fuzzy mamdani untuk mendeteksi kerentanan daerah banjir di Semarang Utara.

$$\mu_{LevelBahayaAman}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-10}, & 10 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{LevelBahayaWaspada}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{x-10}{20-10}, & 10 \leq x \leq 20 \\ 1, & x \leq 30 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{40-x}{40-30}, & 30 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{LevelBahayaBahaya}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{40-30}, & 30 \leq x \leq 40 \\ 1, & x \geq 40 \end{cases}$$

b. Inferensi fuzzy (*rule base*)

Inferensi fuzzy adalah proses dimana sistem fuzzy akan mencari relasi antara variabel input dan variabel *output* menggunakan aturan-aturan yang telah ditetapkan (Maulana et al., 2018). Terdapat

dua langkah dalam proses inferensi fuzzy yaitu penerapan fungsi implikasi pada variabel *input* dan *output*, serta penerapan komposisi *rules*. Proses inferensi fuzzy dalam metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min, yaitu mengambil nilai minimum dari derajat keanggotaan variabel *input* sebagai *output* (Arifin et al., 2016). Sedangkan fungsi maks digunakan untuk mencari nilai maksimum dari proses implikasi yang akan dijadikan sebagai solusi. Aturan-aturan fuzzy dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 *Fuzzy Rules*

No.	Sulfur Dioksida	AND	Karbon Dioksida	Level Bahaya
1	Rendah	AND	Rendah	Aman
2	Sedang	AND	Rendah	Waspada
3	Tinggi	AND	Rendah	Bahaya
4	Rendah	AND	Sedang	Waspada
5	Sedang	AND	Sedang	Waspada
6	Tinggi	AND	Sedang	Bahaya
7	Rendah	AND	Tinggi	Bahaya
8	Sedang	AND	Tinggi	Bahaya

9	Tinggi	AND	Tinggi	Bahaya
---	--------	-----	--------	--------

c. Defuzzyfikasi

Proses defuzzyfikasi merupakan tahap mengubah *output* dari proses inferensi yang berupa nilai *crisp (fuzzy)* ke dalam nilai tegas (Maulana et al., 2018). Defuzzyfikasi memiliki *input* nilai derajat keanggotaan dari suatu himpunan fuzzy, dan *output*-nya berupa nilai dari himpunan fuzzy tersebut. *Output* defuzzyfikasi akan digunakan untuk menyalakan LED dan buzzer melalui NodeMCU. Metode defuzzyfikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Center Of Gravity (COG)* atau *Centroid*.

Hasil yang di peroleh setelah melewati tahapan untuk implementasi sistem fuzzy terdapat dalam table 4.2.

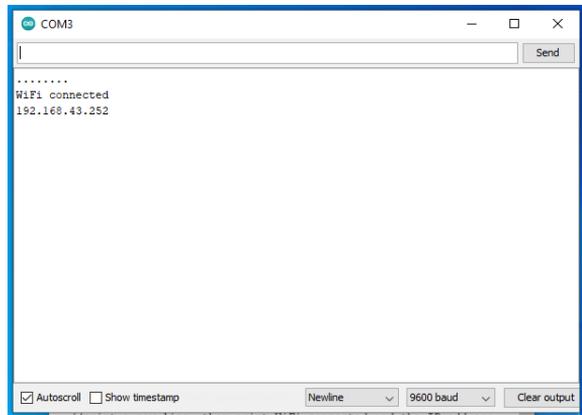
Tabel 4. 2 Pengujian Logika Fuzzy

No.	SO ₂ (ppm)	CO ₂ (ppm)	Fuzzy Mikroko ntroler	Fuzzy Simula si	Akur asi
1	0.72	166.5	7.78	7.62	98%
2	0.72	165.40	7.78	7.62	98%
3	1.41	189.5	7.78	7.62	98%
4	2.34	232.2	8.09	7.94	98%
5	2.54	264.15	8.42	8.27	98%
6	2.64	268.74	8.47	8.32	98%
7	2.67	279.68	8.58	8.43	98%
8	2.87	258.11	8.35	8.2	98%
9	3.07	307.58	10.84	10.5	97%
10	2.93	299.18	8.80	8.65	98%
11	0.72	243.5	8.20	8.05	98%
12	0.73	252.2	8.29	8.14	98%
13	0.72	271.8	8.50	8.35	98%
14	1.34	242	8.19	8.04	98%
15	1.3	233.6	8.10	7.95	98%
16	2.31	367.36	21.78	21.7	100 %
17	2.28	457.33	25	25	100 %
18	5.6	619.7	25	25	100 %
19	0.64	684.21	25	25	100 %
20	7.27	654.30	25	25	100 %
Rata-rata					99%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pengujian logika fuzzy menggunakan NodeMCU dan simulasi pada MATLAB. *Input* dalam pengujian menggunakan nilai dari sensor MQ-135 dan MQ-136. Sedangkan untuk batasan setiap variabel dan aturan fuzzy yang digunakan sama dengan program pada mikrokontroler. Rerata tingkat akurasi dari kedua pengujian mencapai nilai 99%. Dapat dikatakan kinerja dari logika fuzzy yang telah dibuat cukup baik.

2. Pengujian Koneksi *Wifi* Pada NodeMCU

Tahap pengujian ini dilakukan guna mengetahui performa NodeMCU dalam terkoneksi dengan sumber *wifi* atau akses poin. Proses pengujian dilakukan dengan cara mengatur NodeMCU untuk menampilkan status terkoneksi pada saat terhubung dengan akses poin. Program selanjutnya akan memerintahkan NodeMCU menampilkan *IP Address (Internet Protocol Address)* setelah terhubung dengan akses poin.



Gambar 4. 4 Pengujian Koneksi Wifi Pada NodeMCU

Hasil dari pengujian koneksi *wifi* pada NodeMCU dapat dilihat pada gambar. Pada saat NodeMCU dinyalakan, program akan memeriksa terlebih dahulu apakah *wifi* tersedia atau tidak, proses ini ditandai dengan *output* berupa titik-titik pada serial monitor. Apabila *wifi* tersedia, program akan menampilkan status terkoneksi dan menampilkan IP Address.

3. Pengujian Pengiriman Data ke ThingSpeak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja NodeMCU dalam mengirim data ke server ThingSpeak. Sebelum mengirim data ke server ThingSpeak, NodeMCU diatur untuk terkoneksi dengan *wifi* terlebih dahulu. Sehingga serial

4. Pengujian Sensor MQ-136

Pengujian sensor MQ-136 dilakukan dengan tujuan mengetahui kinerja sensor dalam mendeteksi gas sulfur dioksida. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur emisi dari kendaraan bermotor di dalam sebuah ruangan. Sebelum melakukan pengujian terhadap sensor MQ-136, langkah pertama yang dilakukan adalah kalibrasi sensor terhadap gas sulfur dioksida. Sensitifitas sensor merupakan rasio perubahan tahanan sensor atau RS pada waktu mendeteksi gas terhadap tahanan sensor di udara bersih atau R_0 (Saputro, 2020). Sensor MQ-136 memiliki output berupa tegangan analog, sehingga untuk mencari nilai PPM suatu gas diperlukan karakterisasi terlebih dahulu. Karakteristik sensor MQ-136 untuk berbagai macam gas terdapat dalam *datasheet*.

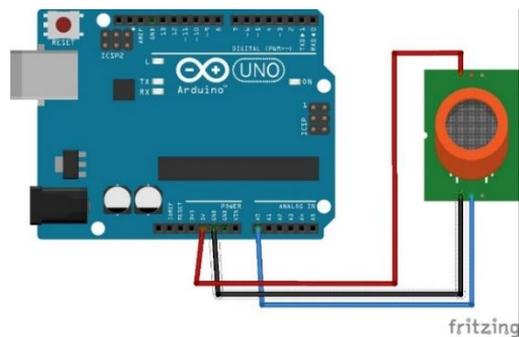
Nilai konsentrasi gas sulfur dioksida dalam satuan PPM dapat diketahui dengan cara mengambil beberapa data nilai RS. RS sendiri adalah resistansi sensor yang akan berubah ketika sensor mendeteksi adanya gas sulfur dioksida. Nilai hasil pembacaan RS yang dibaca Arduino merupakan nilai ADC yang kemudian akan diolah

menjadi nilai V_{out} , R_S , dan PPM dengan rumus sebagai berikut:

$$R_S = \left(\frac{V_{CC}}{V_{out}} - 1 \right) R_L$$

$$PPM = a \times \left(\frac{R_S}{R_O} \right)^b$$

Setelah dilakukan kalibrasi terhadap gas dulfur dioksida, langkah selanjutnya adalah menyalakan sensor atau *pre-heat* selama 24 sampai 48 jam. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, dan sesuai dengan saran dari *datasheet*.

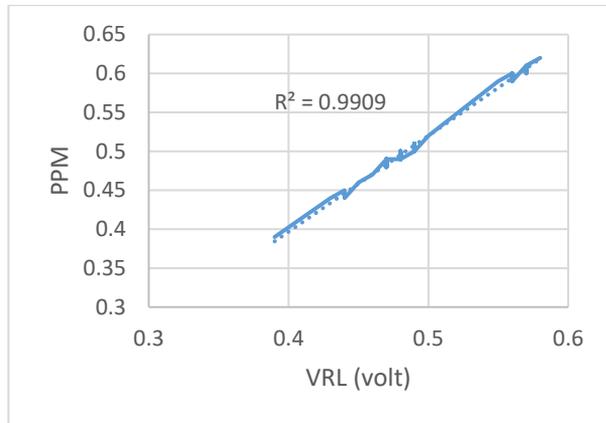


Gambar 4. 6 Rangkaian Sensor MQ-136

Rangkaian sensor untuk pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6. Pin analog pada sensor

terhubung ke pin analog A0 pada Arduino. Sedangkan pin vcc dari sensor MQ-136 terhubung ke pin 5 volt Arduino UNO, hal ini dikarenakan sensor menggunakan daya sebesar 5 volt dc untuk dapat beroperasi.

Metode dari pengujian sensor MQ-136 ialah dengan menggunakan gas dari emisi kendaraan bermotor, metode ini pernah digunakan oleh (Yusuf & Zaid, 2016). Penelitian tersebut menggunakan 3 unit sepeda motor yang dinyalakan secara bersama dalam ruang tertutup berukuran 3m x 4m x 3m. Pada pengujian kali ini, Arduino mengambil data setiap 15 detik selama 30 menit dengan meletakkan rangkaian sensor tepat dibelakan sepeda motor.

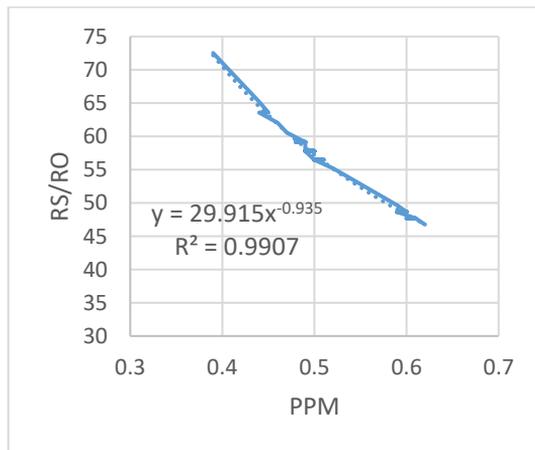


Gambar 4. 7 Kurva Pengujian Sensor MQ-136

Pengujian dilakukan saat sepeda motor dinyalakan, dan sepeda motor akan terus menyala selama 30 menit. Pada gambar 4.7 terjadi kenaikan konsentrasi gas sulfur dioksida terhadap emisi kendaraan bermotor selama motor terus menyala. Gas sulfur dioksida yang dihasilkan oleh sepeda motor akan menumpuk dalam ruangan tersebut. Nilai R^2 yang diperoleh dari pengujian kali ini sebesar 0,9739 , menunjukkan kenaikan nilai PPM akan diikuti oleh kenaikan nilai VRL. Data dari pengujian sensor MQ-136 dapat dalam bentuk tabel dilihat dalam lampiran.

Nilai karakteristik sensor MQ-136 dapat diketahui berdasarkan grafik pada *datasheet*.

Perbandingan R_s/R_o akan menjadi acuan untuk mencari nilai konsentrasi gas sulfur dioksida. R_o merupakan nilai resistansi yang dimiliki oleh sensor MQ-136 pada konsentrasi tertentu sebuah gas. Berdasarkan grafik karakterisasi dalam *datasheet* nilai R_s/R_o bernilai satu ketika konsentrasi gas sulfur bernilai 50 ppm. Menggunakan nilai R_s/R_o dan ppm dari grafik didapatkan nilai R_o untuk sensor MQ-136 sebesar 163Ω .



Gambar 4. 8 Karakterisasi Sensor MQ-136

Hubungan antara R_s/R_o dengan konsentrasi gas sulfur dioksida dalam pengujian sensor MQ-136 menggunakan emisi gas kendaraan bermotor

ditunjukkan oleh gambar 4.13. Nilai R_s/R_o mewakili nilai konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor, oleh karena itu terdapat hubungan linier antara keduanya. Ketika nilai R_s/R_o mengalami kenaikan, maka nilai konsentrasi gas (ppm) akan mengalami penurunan. Hal ini sudah tercantum dalam *datasheet* sensor MQ-136.

Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan terhadap sensor MQ-136, dapat dikatakan bahwa sensor MQ-136 mampu bekerja dengan baik. Hal ini di dasarkan pada relasi antar variabel.

5. Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan dengan mengukur konsentrasi gas karbon dioksida di udara sekitar sensor. Sensor MQ-135 memiliki cara kerja yang sama dengan sensor MQ-136. Sehingga dilakukan pengujian dengan cara yang sama, yaitu dengan mengukur emisi kendaraan bermotor. Sebelum melakukan pengujian sensor MQ-135, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap gas karbon dioksida. Sensor MQ-135 memiliki output berupa tegangan analog, sehingga untuk mencari

nilai PPM suatu gas diperlukan karakterisasi terlebih dahulu. Karakteristik sensor MQ-135 untuk pelbagai gas terdapat pada *datasheet*.

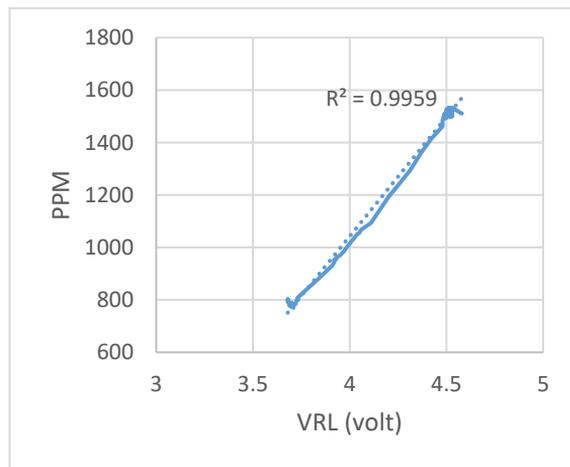
Nilai konsentrasi gas sulfur dioksida dalam satuan PPM dapat diketahui dengan cara mengambil beberapa data nilai RS. RS sendiri adalah resistansi sensor yang akan berubah ketika sensor mendeteksi adanya gas sulfur dioksida. Nilai hasil pembacaan RS yang dibaca Arduino merupakan nilai ADC yang kemudian akan diolah menjadi nilai Vout, RS, dan PPM dengan rumus sebagai berikut:

$$R_s = \left(\frac{V_{cc}}{V_{out}} - 1 \right) R_L$$

$$PPM = a \times \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^b$$

Sebelum melakukan pengukuran, sensor akan dinyalakan selama kurang lebih 24 sampai 48 jam, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan sesuai dengan *datasheet* yang ada. Rangkain sensor MQ-135 untuk pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9.

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan dengan menggunakan gas dari emisi kendaraan bermotor, metode ini pernah digunakan oleh (Yusuf & Zaid, 2016). Penelitian tersebut menggunakan 3 unit sepeda motor yang dinyalakan secara bersama dalam ruang tertutup berukuran 3m x 4m x 3m. Pada pengujian kali ini, Arduino mengambil data setiap 15 detik selama 30 menit dengan meletakkan rangkaian sensor tepat dibelakang sepeda motor.

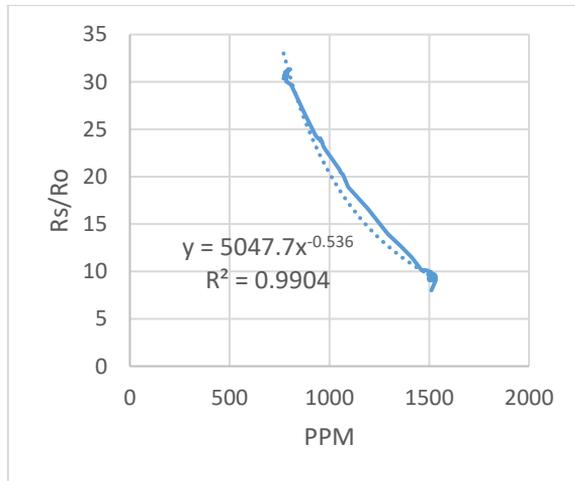


Gambar 4. 9 Kurva Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian dilakukan saat sepeda motor dinyalakan, dan sepeda motor akan terus menyala selama 30 menit. Pada gambar. terjadi kenaikan konsentrasi gas karbon dioksida terhadap emisi

kendaraan bermotor selama motor terus menyala. Gas karbon dioksida yang dihasilkan oleh sepeda motor akan menumpuk dalam ruangan tersebut. Nilai R^2 yang diperoleh dari pengujian kali ini sebesar 0,9968, menunjukkan kenaikan nilai PPM akan diikuti oleh kenaikan nilai VRL. Data dari pengujian sensor MQ-135 dalam bentuk tabel dapat dilihat pada lampiran.

Nilai karakteristik sensor MQ-135 dapat diketahui berdasarkan grafik pada *datasheet*. Perbandingan R_s/R_o akan menjadi acuan untuk mencari nilai konsentrasi gas sulfur dioksida. R_o merupakan nilai resistansi yang dimiliki oleh sensor MQ-135 pada konsentrasi tertentu sebuah gas. Berdasarkan grafik karakterisasi dalam *datasheet* nilai R_s/R_o bernilai 1.04 ketika konsentrasi gas karbon dioksida bernilai 100 ppm. Menggunakan nilai R_s/R_o dan ppm dari grafik didapatkan nilai R_o untuk sensor MQ-135 sebesar 229,08 Ω .



Gambar 4. 10 Karakterisasi Sensor MQ-135

Hubungan antara R_s/R_o dengan konsentrasi gas karbon dioksida dalam pengujian sensor MQ-135 menggunakan emisi gas kendaraan bermotor ditunjukkan oleh gambar 4.13. Nilai R_s/R_o mewakili nilai konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor, oleh karena itu terdapat hubungan linier antara keduanya. Ketika nilai R_s/R_o mengalami kenaikan, maka nilai konsentrasi gas (ppm) akan mengalami penurunan. Hal ini sudah tercantum dalam *datasheet* sensor MQ-135.

Berdasarkan hasil dari dua pengujian yang dilakukan terhadap sensor MQ-135, dapat dikatakan bahwa sensor MQ-135 mampu bekerja dengan baik. Hal ini didasarkan pada relasi antar variabel.



Gambar 4. 11 Pengujian Sensor MQ-135 Dengan Emisi Kendaraan Bermotor

6. Pengujian Early Warning System

Pengujian *early warning system* dilakukan untuk mengetahui kinerja alat dalam memberikan peringatan dini kepada petugas. Ketika sensor mendeteksi gas sulfur dioksida atau gas karbon dioksida dalam konsentrasi tinggi, pemberitahuan

berupa *buzzer*, LED, dan notifikasi telegram akan dikirim ke petugas.

Early warning system dalam aplikasi telegram memanfaatkan fitur *chat bot*. Fitur *chat bot* memungkinkan untuk mengirim pesan otomatis ke *user* telegram. Penggunaan aplikasi telegram juga pernah dilakukan dalam penelitian (Amsar, Khairuman, 2020). Dalam penelitian tersebut, telegram digunakan untuk mengirim notifikasi ketika sensor mendeteksi gas karbon dioksida dalam konsentrasi tinggi.

Pengujian *early warning system* dilakukan dengan cara mengirim notifikasi berdasarkan hasil pengolahan logika fuzzy. *Input* yang digunakan dalam pengujian adalah nilai dari sensor MQ-136 dan MQ-135. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.15 dan gambar 4.16.



Gambar 4. 12 Pengujian *Early Warning System*



Gambar 4. 13 Pengujian *Early Warning System* Pada Telegram

7. Uji Keseluruhan

Pengujian secara keseluruhan alat *monitoring* gas sulfur dioksida dan karbon dioksida dilaksanakan di kawah ijo Candi Gedong Songo. Pengujian alat ini dilakukan dengan mengukur tiga titik yang menjadi sumber keluarnya gas atau kawah di area kawah ijo Candi Gedong Songo. Proses pengukuran kadar gas sulfur dioksida dan gas karbon dioksida dilakukan selama 20 menit di setiap titik, dan jarak alat dari bibir kawah sebesar satu meter. Mikrokontroler akan mengambil data setiap 15 detik sekali selama waktu pengukuran berlangsung.



Gambar 4. 14 Titik Pengambilan Data

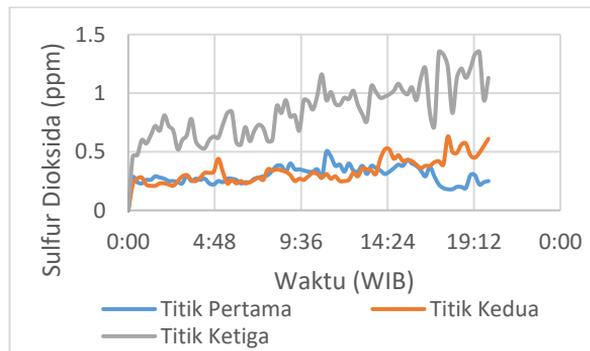
Pengujian alat di lapangan dilakukuan pada tanggal 16 September 2021. Cuaca di kawasan

Candi Gedong Songo menurut *The Weather Channel* cerah berawan dengan kecepatan angin 5 Km/H ke arah barat daya.



Gambar 4. 15 Alat *Monitoring* Kadar Gas Sulfur Dioksida dan Karbon Dioksida

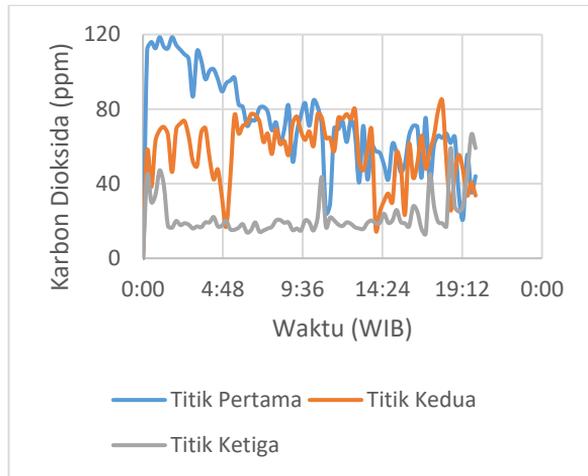
Hasil pengukuran kadar gas sulfur dioksida selama 20 menit dapat dilihat dari gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Grafik Kadar Gas SO_2

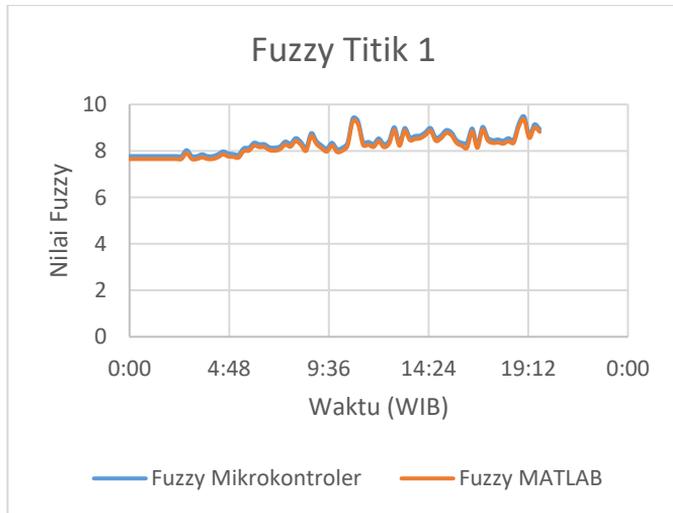
Kadar gas sulfur dioksida pada titik pertama mengalami perubahan selama proses pengukuran. Nilai konsentrasi tertinggi yang didapatkan adalah 0,5 ppm, dan nilai konsentrasi terendah adalah 0,18 ppm. Sedangkan unruk titik kedua, kadar tertinggi gas sulfur dioksida yang terdeteksi sebesar 0,63 ppm, kadar terendah sebesar 0,21 ppm. Pada pengukuran titik ketiga, kadar gas sulfur dioksida tertinggi adalah 2,57 ppm, dan untuk kadar terendah sebesar 0,45 ppm.

Pengukuran kadar gas karbon dioksida pada titik pertama juga mengalami perubahan selama proses pengukuran. Nilai kadar gas karbon dioksida tertinggi yang diperoleh sebesar 118,57 ppm, dan untuk kadar terendah sebesar 21,09 ppm. Pada titik kedua, kadar tertinggi gas karbon dioksida yang terdeteksi sebesar 84,9 ppm dan kadar terendah sebesar 15,34 ppm. Sedangkan pada titik ketiga, nilai tertinggi kadar gas karbon dioksida pada titik ketiga sebesar 59,07 ppm, dan nilai terendah sebesar 13,05 ppm. Hasil pengukuran kadar gas sulfur dioksida dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik Kadar Gas CO₂

Data kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida yang telah diperoleh akan digunakan sebagai variabel input logika fuzzy. Hasil perhitungan logika fuzzy pada titik pertama dapat dilihat pada gambar 4.18.

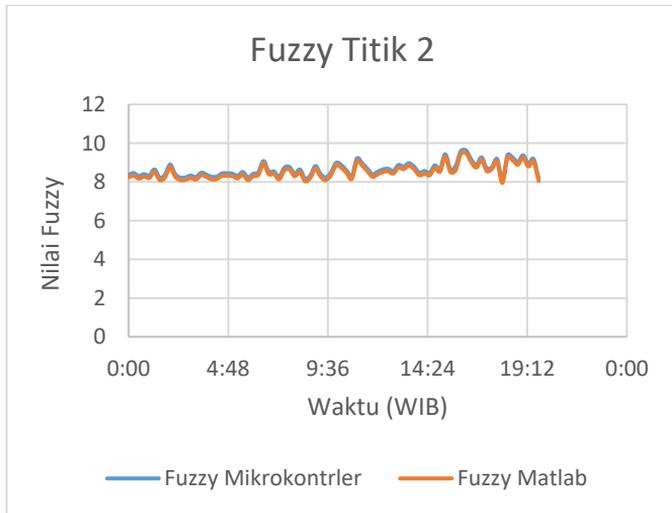


Gambar 4. 18 Fuzzy Titik Pertama

Hasil perhitungan logika fuzzy dalam gambar 4.18 merupakan sampel dari hasil logika fuzzy pada titik pertama. Keseluruhan data perhitungan logika fuzzy dapat dilihat pada lampiran. Nilai yang dihasilkan oleh logika fuzzy dalam pengujian di titik pertama berkisar antara 7,78 sampai 9,48. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar gas sulfur dioksida dan gas karbon dioksida pada titik pertama masih aman. Pengujian logika fuzzy pada MATLAB dengan variabel input kadar gas sulfur dioksida dan gas karbon dioksida pada titik pertama menghasilkan nilai yang bervariasi. Perbandingan antara hasil

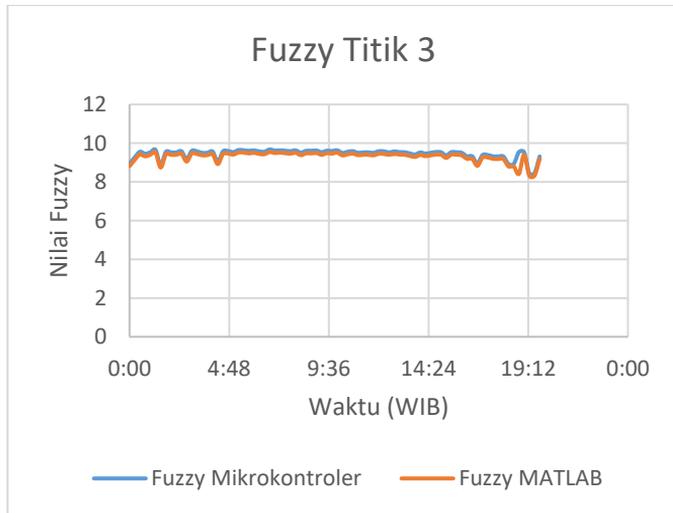
logika fuzzy dari mikrokontroler dan simulasi MATLAB memiliki tingkat akurasi sebesar 98%.

Perhitungan logika fuzzy oleh mikrokontroler dengan variabel input kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida pada titik kedua dapat dilihat pada lampiran. Data yang ditampilkan pada gambar 4.19 merupakan sampel dari data yang diperoleh. Hasil dari perhitungan logika fuzzy oleh mikrokontroler memperoleh nilai antara 8,22 sampai 8,64, sedangkan hasil simulasi pada aplikasi MATLAB mendapatkan hasil yang bervariasi. Tingkat akurasi dari perbandingan antara perhitungan logika fuzzy oleh mikrokontroler dengan aplikasi MATLAB memiliki rata-rata 99%. Nilai perhitungan logika fuzzy pada titik ke dua menunjukkan bahwa kadar gas sulfur dioksida dan gas karbon dioksida dalam kategori aman.



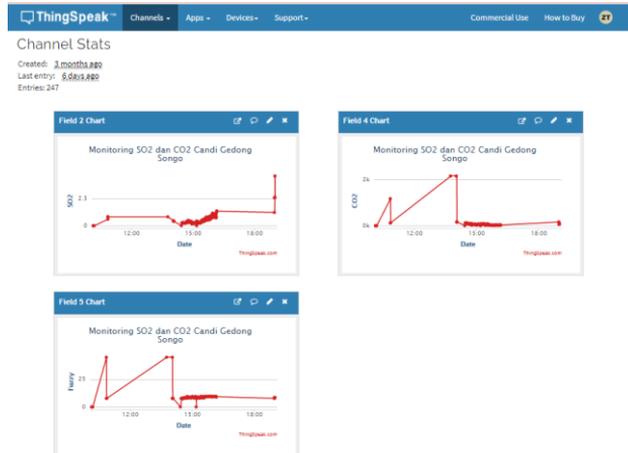
Gambar 4. 19 Fuzzy Titik Kedua

Hasil perhitungan logika fuzzy oleh mikrokontroler pada titik ketiga bernilai antara 8,87 sampai 9,66, sedangkan hasil dari simulasi aplikasi MATLAB dengan variabel input yang sama bernilai 8,41 sampai 9,54. Rata-rata akurasi dari perhitungan fuzzy pada titik ketiga ini sebesar 98%. Nilai perhitungan fuzzy oleh mikrokontroler ini menunjukkan bahwa pada titik ketiga masih dalam kategori aman.



Gambar 4. 20 Fuzzy Titik ketiga

Setiap hasil dari pengukuran kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida pada setiap titik dapat di pantau secara *real time* melalui *platform* IoT ThingSpeak. Gambar 4.21 menunjukkan tampilan *dashboard* dari ThingSpeak yang memuat nilai dari sensor MQ-135 dan MQ-136 beserta hasil perhitungan logika fuzzy.



Gambar 4. 21 *Monitoring Pada Platform ThingSpeak*

B. Pembahasan

Pengujian alat secara keseluruhan di lapangan mendapatkan hasil yang rendah, baik kadar gas sulfur dioksida atau gas karbon dioksida. Hal ini menyebabkan nilai perhitungannya logika fuzzy rendah, dan tergolong dalam keadaan aman menurut aturan fuzzy yang sudah diterapkan. Begitu juga hasil dari simulasi MATLAB menggunakan data lapangan yang menunjukkan kadar gas rendah dan keadaan aman. Proses perhitungan logika fuzzy pada MATLAB melalui langkah yang sama dengan logika fuzzy pada mikrokontroler, yaitu fuzzyfikasi inferensi fuzzy, dan defuzzyfikasi. Batas

setiapvariabel dan aturan-aturan yang digunakan sama, sehingga hasil pengujian pada MATLAB dapat digunakan sebagai acuan untuk mencari akurasi dari perhitungan logika fuzzy pada mikrokontroler. Nilai akurasi yang didapatkan dari perbandingan logika fuzzy dari titik pertama sampai titik ketiga adalah 98%, 99%, dan 98%. Hal ini terjadi karena perbedaan kinerja dari mikrokontroler dengan *processor* yang digunakan oleh MATLAB, adanya arus listrik yang tidak stabil dalam rangkaian alat, serta sensitivitas sensor dalam mendeteksi perubahan gas.

Sistem peringatan dini dalam pengujian di lapangan pun tidak menyala, karena status nilai dari logika fuzzy dalam keadaan aman. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.23 yang menunjukkan LED berwarna hijau menyala.



Gambar 4. 22 *Eraly Warning System* Pada Pengujian Lapangan

Tidak seperti dalam pengujian *erly warning system* yang telah dilakukan, dimana nilai logika fuzzy masuk dalam keadaan bahaya. Kemudian *buzzer* akan berbunyi disertai led merah akan menyala, dan pesan dalam aplikasi telegram akan dikirim ke *smartphone* sebagai *early warning system*. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida masih dikatakan aman karena dibawah nilai ambang batas dengan nilai tertinggi untuk sulfur dioksida adalah 0,5 ppm, 0,63 ppm, dan 1,35 ppm, sedangkan untuk nilai tertinggi karbon dioksida adalah 118,57 ppm, 84,9 ppm, dan 59,07 ppm.

Pengukuran kadar gas sulfur dioksida pada setiap titik yang telah di tentukan dalam wilayah kawah Candi

Gedong Songo menghasilkan data yang bervariasi. Kadar gas sulfur dioksida yang tertinggi terdapat pada titik ke tiga sebesar 2,57 ppm. Sedangkan kadar terendah terdapat pada titik pertama sebesar 0,18 ppm. Penelitian (Saputro, 2020) yang dilakukan pada 16 Januari 2020 pukul 13:34 WIB mendapatkan hasil kadar gas sulfur dioksida terendah sebesar 0,12 ppm dan kadar tertinggi sebesar 3,23 ppm, kondisi tersebut masih aman untuk aktivitas manusia.

Kondisi di lapangan sangat mempengaruhi konsentrasi dari kadar gas sulfur dioksida. Dalam penelitian (Istantinova et al., 2013) yang berjudul Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembaban Dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (SO_2) Dalam Udara Ambien Di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang menyebutkan bahwa faktor kecepatan angin, kelembapan udara serta suhu udara mempengaruhi konsentrasi gas sulfur dioksida. Kecepatan angin dan kelembapan berbanding terbalik terhadap konsentrasi gas sulfur dioksida, sedangkan suhu berbanding lurus dengan konsentrasi sulfur dioksida.

Kadar gas karbon dioksida dalam pengukuran di setiap titik dalam wilayah kawah ijo Candi Gedong Songo mendapatkan data yang bervariasi. Pada titik pertama terdeteksi kadar gas karbon dioksida tertinggi diantara ke tiga titik sebesar 118,57 ppm, sedangkan titik terendah terdapat pada titik ketiga sebesar 13,09 ppm.

Menurut badan geologi dalam penyelidikan geokimia di gunung Papandayan pada 21 Mei 2016 sampai 1 Juni 2016 gas karbon dioksida dapat langsung terdistribusi dan tercecercan di udara. Hal ini menyebabkan konsentrasi gas karbon dioksida yang keluar dari kawah menjadi rendah (Badan Geologi Kementerian ESDM 2016, diakses 23 September 2021). Tinggi rendahnya konsentrasi gas karbon dioksida di udara juga dipengaruhi oleh factor kecepatan angin. Penelitian (Agustina et al., 2019) yang berjudul Pengaruh Parameter Meteorologi Terhadap Konsentrasi CO₂ Dan CH₄ Di Dki Jakarta menunjukkan kecepatan udara mempengaruhi kadar gas karbon dioksida di udara sebesar 83%.

Berdasarkan data yang diperoleh, kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida di kawah ijo masih dalam

keadaan aman bagi manusia, akan tetapi aroma dari belerang dapat tercium beberapa saat.

BAB V

PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Alat *monitoring* kadas gas sulfur dioksida dan karbon dioksida memiliki sistem yang dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu *input*, *data processing*, dan *ouput*. Bagian input terdiri dari sensor MQ-136 dan MQ-135 yang berfungsi sebagai pendeteksi gas sulfur dioksida dan karbon dioksida. *Data processing* dilakukan oleh Arduino UNO dan NodeMCU yang dilengkapi oleh mikrokontroler serta mampu terhubung ke internet untuk menyimpan data. *Output* yang dihasilkan oleh alat berupa *early warning system* dalam bentuk LED, *buzzer*, serta notifikasi atau pesan ke aplikasi Telegram. Selain itu kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida dapat dipantau secara *real-time*, melalui website ThingSpeak.
2. Pada pengujian tanggal 16 September 2021 di kawah ijo area Candi Gedong songo kadar SO₂ dan CO₂ di setiap titik sangat bervariasi. Kadar SO₂

tertinggi terdapat pada titik ke tiga sebesar 2,57 ppm, sedangkan kadar terendah terdapat pada titik pertama sebesar 0,18 ppm. Sedangkan kadar gas CO₂ berada di titik pertama dengan nilai 118,57 ppm, dan kadar terendah berada pada titik ke tiga dengan nilai 13,09 ppm. Berdasarkan hasil pembacaan di lapangan, kadar gas sulfur dioksida dan karbon dioksida masih dikatakan aman karena dibawah nilai ambang batas.

3. Alat *monitoring* kadar gas SO₂ dan CO₂ bekerja dengan baik saat pengujian di lapangan. Hal ini dibuktikan bahwa alat mampu mendeteksi adanya gas SO₂ dan CO₂ yang teremisikan oleh kawah ijo. Serta alat mampu mengirim data yang diolah oleh mikrokontroler ke ThingSpeak. Sedangkan *early warning system* pada alat bekerja dengan baik seperti pada gambar 4.22.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan sebagai berikut:

1. Melakukan kalibrasi sensor MQ-136 dan MQ-135 dengan sumber gas yang lebih baik serta

membandingkan hasilnya dengan alat ukur yang telah teruji.

2. Sistem *monitoring* dengan teknologi *internet of things* sangat diperlukan koneksi internet yang stabil agar tidak ada *delay* dalam pengiraman data ke platform IoT.
3. *Early warning system* dapat buzzer dan LED dapat di implementasikan ke arah yang lebih baik agar peringatan dapat dengan jelas untuk diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidah, S. (2013). Analisis komparasi metode tsukamoto dan sugeno dalam prediksi jumlah siswa baru. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 8(2), 57–63.
- Adnan, A. R. (2019). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Rumah dengan Model ClientServer Menggunakan NodeMcu ESP12E Berbasis Internet of Things (IoT)*. Universitas Lampung.
- Adrian, K. (2019). *Peran dan Dampak Karbon Dioksida terhadap Tubuh Manusia - Alodokter*. Alodokter.
<https://www.alodokter.com/mari-telusuri-seluk-beluk-karbon-dioksida-di-dalam-tubuh-kita>
- Agustina, L., Simanjuntak, P. P., & Khoir, A. N. (2019). Pengaruh Parameter Meteorologi Terhadap Konsentrasi Co2 Dan Ch4 Di Dki Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(2), 39–47.
<https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.121>
- Akbar, S. A., Kalbuadi, D. B., & Yudhana, A. (2019). Online Monitoring Kualitas Air Waduk Berbasis ThingSpeak. *Transmisi*, 21(4), 109–115.
<https://doi.org/10.14710/transmisi.21.4.109-115>
- Amsar, Khairuman, M. (2020). Perancangan Alat Pendeteksi CO

2 Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Internet of Thing.
METHOMIKA, 4(1), 73–79.

Amsar, Khairuman, & Marlina. (2020). PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI CO 2 MENGGUNAKAN SENSOR MQ-2 BERBASIS INTERNET OF THING. *METHOMIKA*, 4(1), 73–79.

Arifin, S., Muslim, M. A., & Sugiman, S. (2016). Implementasi Logika Fuzzy Mamdani untuk Mendeteksi Kerentanan Daerah Banjir di Semarang Utara. *Scientific Journal of Informatics*, 2(2), 179.
<https://doi.org/10.15294/sji.v2i2.5086>

Arofah, B. U., Firmansyah, R. A., & Muthohar, S. (2018). Bahan Utama Tongkat dan Tali Tukang Sihir Fir'aun Berubah Menjadi Ular dalam Senyawa Merkuri. *Al Kimia*, 6(1), 87–98.

Asnawan, M. L. (2017). *Upaya Pengembangan Potensi Manusia Sebagai Peserta Didik Kajian Surat Al-Isro' Ayat 70*. Institut Agama Islam Negeri Salatiga.

Badan Geologi Kementerian ESDM. (2016). *Penyelidikan Geokimia Gunung Papandayan, Jawa Barat (21 Mei-1 Juni 2016)*.

Bernstein, J. A., Alexis, N., Barnes, C., Bernstein, I. L., Bernstein,

- J. A., Nel, A., Peden, D., Diaz-Sanchez, D., Tarlo, S. M., & Williams, P. B. (2004). Health effects of air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(5), 1116–1123. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030>
- Darmawan, M. A. (2019). *Implementasi Fuzzy Logic Control Pada Sistem Peringatan Dini Kebakaran Berbasis IOT*. Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya.
- Dina, A., Sjahrul, M., Zakir, M., & Dadang. (2016). Studi Pengurangan Cemaran Gas Buang Sulfur Dioksida dari Emisi Cerobong Pabrik Nikel dengan Menggunakan Senyawa Kimia Penjerapamonium Hidroksida. *Al-Kimia*, 4, 87–97.
- Fariyya, D. R. I. (2020). *Rancang Bangun Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Intensitas Cahaya Pada Kandang Ayam Berbasis Web*. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Fatah, R. A., & Sudarsono. (2005). *Ilmu dan Teknologi dalam Islam*. Departemen Agama RI.
- Harista, D. (2019). *Analisis Beba Emisi Gas Rumah Kaca Karbon Dioksida (CO₂) di Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma untuk Aktivitas Komersial Tahun 2014-2018*. Universitas Trisakti.
- Indrasti, N. S., Yani, M., & Manik, S. P. (n.d.). PENGHILANGAN

GAS SO₂ (SULFUR DIOKSIDA) DENGAN TEKNIK BIOFILTER MENGGUNAKAN *Thiobacillus* sp. PADA MED. *Jurnal Teknik Industri*, 14 (3), 107–111.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Guidelines for National Greenhouses Gas Inventories* (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (eds.)). Institut for Global Environmental Stratgies.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Fourth Assesment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Irfan, M., Ayuningtias, L. P., & Jumadi, J. (2018). Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, Dan Mamdani (Studi Kasus : Prediksi Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Sunan Gunung Djati Bandung). *Jurnal Teknik Informatika*, 10(1), 9–16. <https://doi.org/10.15408/jti.v10i1.6810>

Istantinova, D. B., Hadiwidodo, M., & Handayani, D. S. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembaban Dan Suhu Udara Terhadap Konsentrasi Gas Pencemar Sulfur Dioksida (So₂) Dalam Udara Ambien Di Sekitar PT. Inti General Yaja Steel Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1), 1–10.

- Istiyani, & Yuniningsih, T. A. (2019). Analisis Kinerja Organisasi Dinas Pariwisata Kabupaten Semarang (Studi Kasus di UPTD Obyek Wisata Candi Gedongsongo). *Fakultas Ilmu Sosial Politik UNDIP*. <http://www.fisip.undip.ac.id>
- Izzah, A., & Widyastuti, R. (2016). Prediksi Kelulusan Mata Kuliah Menggunakan Hybrid Fuzzy Inference System. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 2(2), 60. <https://doi.org/10.26594/r.v2i2.548>
- Jati, I. B. (2011). *Robot Pengangkut Box Berdasarkan Perbedaan Warna RGB Berbasis Mikrokontroler*. Universitas Komputer Indonesia.
- Kurniawan, E. (2009). *Identifikasi Temperatur dan Emisi Gas CO2 Permukaan Dangkal Pada Sisi Utara Gunung Merapi di Ketinggian 1700 m Sampai 240 mdpl*. Universitas Diiponegoro.
- Kusumadewi, S. (2002). *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab (Pertama)*. Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri, & Purnomo, H. (2010). Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan. *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 33–34.
- Liandi, A. (2017). *Rancang Bangun Pemantauan Gas Berbahaya dan Suhu pada Ruangan Melalui Website Berbasis Arduino*.

Institut Teknologi Malang.

Maulana, R., Ichsan, M. H. H., & Setyawan, G. E. (2018).

Implementasi Pengkondisian Kipas dan Lampu Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Pengembangan Teknik Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2(11), 5301–5309.

Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). Toward a Definition of The Internet of Things (IoT). *IEEE Internet of Things*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.5923/j.ijit.20150401.01>

Murbanendra, B. W. (2016). *Identifikasi Panas Bumi di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik*. Universitas Negeri Semarang.

Naibaho, L. K. L. (2020). *Analisis Perbandingan Kinerja Metode Fuzzy- Mamdani Dan Metode Fuzzy-Sugeno Dalam Menentukan Jumlah Produksi*.

Nurmuslimah, S., P, A. Y. P., & Mulya, D. A. (2020). *Aplikasi Fuzzy Mamdani Untuk Meminimalkan Biaya Produksi Petis*. 87–94.

Pahlevi, M. (2019). Kendali Lampu dan Motor Servo Berbasis Arduino Melalui Internet of Things (IoT) Berbasis Web. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universitas Mercubuana Yogyakarta.

Pratama, A., Arief, N. L., & Arwan, W. P. (2014). PEMODELAN

KAWASAN RAWAN BENCANA ERUPSI GUNUNG API BERBASIS DATA PENGINDERAAN JAUH (Studi Kasus Di Gunung Api Merapi). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(April), 117–123.

Priatna. (2014). Karakteristik gas vulkanik dan implikasinya terhadap daerah wisata di Dataran Tinggi Dieng The characteristics of volcanic gases and its implications to tourism area. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(3), 159–172.

Priyono, N. Y. (2017). *Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Protocol MQTT Menggunakan NodeMCU ESP8266* [STMIK AKAKOM Yogyakarta].
<http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

Purnama, P. A. (2013). Aplikasi Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno dalam Memprediksi Laju Inflasi. *Jurnal Mahasiswa Statistik*, 1(4), pp-273.

Raharjo, E. B., Marwanto, S., & Romadhona, A. (2019). Rancangan Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Internet of Things. *Teknika*, 6(2), 61–68.

Rahmawati, L. A., Haryono, E., Fandeli, C., Bawah, K. E., Mlati, K.,

- & Sleman, K. (2012). Studi Optimalisasi Sequestrasi Karbon Dioksida (Co₂) Berbasis Rumah Tangga. *Majalah Geografi Indonesia*, 26(1), 59–79.
<https://doi.org/10.22146/mgi.13405>
- Ramdhani, I., Rifkan, I. S., Endarsari, N., & Huda, S. N. (2012). Fuzzy Inference System Dengan Metode Sugeno Untuk. *Seminar, 2012(Snati)*, 15–16.
- Saputro, A. D. (2020). *Rancang Bangun Robot Pendeteksi Kadar Gas Sulfur Dioksida (SO₂) dan Gas Karbon Monoksida (CO) untuk Eksplorasi Kawah Ijo Objek Wisata Candi Gedong Songo Berbasis Internet of Things*. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Sebayang, M. A. (2017). Stasiun Pemantau Kualitas Udara Berbasis Web. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 1(1), 24.
<https://doi.org/10.31289/jite.v1i1.571>
- Solichin, R. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Paparan Sulfur Dioksida (SO₂) Pada Masyarakat di Pemukiman Penduduk Sekitar Industri PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Tahun 2016 [Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah]. In *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah*.
<http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/1234567>

89/34325/1/ROIS SOLICHIN-FKIK.pdf

Subkhan, A. (2017). *Kajian Emisi Co2 Dari Pemanfaatan Energi Rumah Tangga Di Kelurahan Candi Kota Semarang* [Universitas Negeri Semarang].

<https://doi.org/10.15294/geoimage.v6i2.19058>

Susana, T. (1988). Karbon Dioksida. *Oseana, XIII*(1), 1–11.

Taqiyuddin, M. (2020). Panca Indera dalam Epistemologi Islam. *Tasfiah, 4*(1), 113.

<https://doi.org/10.21111/tasfiah.v4i1.3964>

Taufik, A. F. (2012). *Monitoring Kadar Karbondioksida Didalam Suatu Model Ruang Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*. Politeknik Negeri Bandung.

Trimartanti, L. W. (2011). Penerapan Sistem Fuzzy Untuk Diagnosis Campuran Bahan Bakar Dan Udara Pada Mobil F15 Gurt. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta, 7–37*.

<http://eprints.uny.ac.id/43552/>

Wahyuni, A. S. (2017). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Emisi Kadar Gas Sulfur Dioksida Menggunakan Sensor MQ-136 berbasis Mikrokontroler STM32F4 Discovery*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wang, L.-X. (1996). *A Course in Fuzzy Systems and Control*.

Prentice-Hall, Inc.

Wang, L.-X. (1997). A COURSE IN ' FUZZY A Course in Fuzzy Systems and Control. In *Design*. Prentice-Hall, Inc.

<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=248374&dl=>

Wardhani, N. K., & Ihwan, A. (2015). Studi Tingkat Keasaman Air Hujan Berdasarkan Kandungan Gas CO₂, SO₂ Dan NO₂ Di Udara (Studi Kasus Balai Pengamatan Dirgantara Pontianak). *Friska Fisika*, III(01), 9–14.

Wulandari, Y. (2011). *Aplikasi Metode Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dengan Indeks Massa Tubuh (IMT) Menggunakan Logika Fuzzy*. Universitas Negeri Yogyakarta.

Yusuf, M., & Zaid, M. (2016). Sistem Pemantauan Indeks Kualitas Udara dan Keadaan Cuaca pada Lingkungan Berbasis Webserver. *Jurnal Mahasiswa Teknik Komputer Kendali Elektronika (TKKE)*, 1–10.

LAMPIRAN 1

Data Pengujian Sensor MQ-136

Nomor	VRL (volt)	SO ₂ (ppm)
1	0.39	0.39
2	0.43	0.44
3	0.44	0.45
4	0.44	0.44
5	0.45	0.46
6	0.45	0.46
7	0.46	0.47
8	0.46	0.47
9	0.46	0.47
10	0.46	0.47
11	0.46	0.47
12	0.46	0.47
13	0.46	0.47
14	0.47	0.49
15	0.47	0.49
16	0.47	0.49
17	0.47	0.48
18	0.47	0.49
19	0.47	0.48
20	0.47	0.48
21	0.47	0.49
22	0.47	0.48
23	0.47	0.48
24	0.47	0.49
25	0.47	0.49
26	0.47	0.49

Nomor	VRL (volt)	SO₂ (ppm)
27	0.47	0.49
28	0.47	0.48
29	0.47	0.48
30	0.47	0.49
31	0.47	0.49
32	0.47	0.49
33	0.47	0.48
34	0.47	0.49
35	0.47	0.49
36	0.48	0.49
37	0.48	0.49
38	0.48	0.49
39	0.48	0.5
40	0.48	0.5
41	0.48	0.5
42	0.48	0.5
43	0.48	0.5
44	0.48	0.49
45	0.48	0.49
46	0.48	0.49
47	0.48	0.5
48	0.48	0.5
49	0.48	0.5
50	0.48	0.5
51	0.48	0.49
52	0.48	0.49
53	0.48	0.49
54	0.48	0.49
55	0.48	0.5

Nomor	VRL (volt)	SO₂ (ppm)
56	0.48	0.49
57	0.48	0.5
58	0.48	0.49
59	0.48	0.5
60	0.48	0.49
61	0.48	0.49
62	0.48	0.49
63	0.49	0.5
64	0.49	0.5
65	0.49	0.5
66	0.49	0.5
67	0.49	0.51
68	0.49	0.51
69	0.49	0.5
70	0.49	0.5
71	0.49	0.5
72	0.49	0.5
73	0.49	0.5
74	0.49	0.51
75	0.49	0.5
76	0.49	0.5
77	0.49	0.5
78	0.5	0.52
79	0.5	0.52
80	0.5	0.52
81	0.55	0.59
82	0.55	0.59
83	0.55	0.59
84	0.56	0.6

Nomor	VRL (volt)	SO₂ (ppm)
85	0.56	0.6
86	0.56	0.6
87	0.56	0.6
88	0.56	0.6
89	0.56	0.6
90	0.56	0.59
91	0.56	0.59
92	0.56	0.59
93	0.56	0.59
94	0.56	0.59
95	0.56	0.59
96	0.56	0.59
97	0.56	0.59
98	0.56	0.6
99	0.56	0.59
100	0.56	0.59
101	0.56	0.59
102	0.56	0.6
103	0.56	0.6
104	0.56	0.6
105	0.56	0.6
106	0.56	0.59
107	0.56	0.59
108	0.56	0.59
109	0.56	0.59
110	0.56	0.59
111	0.56	0.59
112	0.57	0.61
113	0.57	0.6

Nomor	VRL (volt)	SO₂ (ppm)
114	0.57	0.61
115	0.58	0.62
116	0.58	0.62
117	0.58	0.62
118	0.58	0.62
119	0.58	0.62
120	0.58	0.62

LAMPIRAN 2

Data Pengujian Sensor MQ-135

Nomor	VRL (volt)	CO ₂ (ppm)
1	3.71	770.06
2	3.68	793.57
3	3.68	803.8
4	3.69	776.72
5	3.69	780.07
6	3.69	780.07
7	3.69	790.18
8	3.7	776.72
9	3.7	773.39
10	3.7	776.72
11	3.7	780.07
12	3.7	786.8
13	3.7	790.18
14	3.71	773.39
15	3.71	783.43
16	3.72	783.43
17	3.72	783.43
18	3.73	807.24
19	3.75	821.08
20	3.77	835.11
21	3.84	881.92
22	3.91	930.66998
23	3.92	942.20001
24	3.92	953.84003
25	3.93	953.84003
26	3.93	961.65997

Nomor	VRL (volt)	CO₂ (ppm)
27	3.95	969.53003
28	3.96	977.45001
29	3.97	985.40997
30	3.99	1005.53998
31	4.04	1050.91003
32	4.05	1055.10999
33	4.06	1067.78003
34	4.11	1093.47998
35	4.2	1191.72
36	4.31	1291.63
37	4.37	1361.69
38	4.42	1413.5
39	4.48	1461.4
40	4.48	1477.64
41	4.48	1483.08
42	4.49	1510.54
43	4.5	1494.02
44	4.5	1494.02
45	4.5	1499.51
46	4.5	1510.54
47	4.5	1505.02
48	4.5	1510.54
49	4.5	1510.54
50	4.5	1521.63
51	4.5	1521.63
52	4.5	1521.63
53	4.5	1521.63
54	4.5	1521.63
55	4.5	1521.63

Nomor	VRL (volt)	CO₂ (ppm)
56	4.5	1527.2
57	4.5	1527.2
58	4.5	1527.2
59	4.51	1499.51
60	4.51	1499.51
61	4.51	1505.02
62	4.51	1505.02
63	4.51	1505.02
64	4.51	1510.54
65	4.51	1510.54
66	4.51	1510.54
67	4.51	1516.08
68	4.51	1516.08
69	4.51	1516.08
70	4.51	1516.08
71	4.51	1516.08
72	4.51	1516.08
73	4.51	1516.08
74	4.51	1516.08
75	4.51	1516.08
76	4.51	1521.63
77	4.51	1521.63
78	4.51	1521.63
79	4.51	1521.63
80	4.51	1521.63
81	4.51	1527.2
82	4.51	1527.2
83	4.51	1532.78
84	4.51	1532.78

Nomor	VRL (volt)	CO₂ (ppm)
85	4.52	1499.51
86	4.52	1499.51
87	4.52	1499.51
88	4.52	1499.51
89	4.52	1505.02
90	4.52	1499.51
91	4.52	1499.51
92	4.52	1505.02
93	4.52	1505.02
94	4.52	1505.02
95	4.52	1505.02
96	4.52	1510.54
97	4.52	1510.54
98	4.52	1510.54
99	4.52	1510.54
100	4.52	1510.54
101	4.52	1510.54
102	4.52	1516.08
103	4.52	1516.08
104	4.52	1516.08
105	4.52	1521.63
106	4.52	1521.63
107	4.52	1532.78
108	4.53	1499.51
109	4.53	1499.51
110	4.53	1516.08
111	4.53	1516.08
112	4.53	1516.08
113	4.53	1516.08

Nomor	VRL (volt)	CO₂ (ppm)
114	4.53	1516.08
115	4.53	1516.08
116	4.53	1516.08
117	4.53	1516.08
118	4.53	1532.78
119	4.53	1532.78
120	4.58	1510.54

LAMPIRAN 3

Data Pengukuran Titik Pertama

Nomor	SO ₂	CO ₂	Fuzzy Mikrokontroller	Fuzzy Simulasi	Akurasi
1	0.28	111.79	7.77778	7.65	98%
2	0.24	116	7.77778	7.65	98%
3	0.23	112.62	7.77778	7.65	98%
4	0.26	118.57	7.77778	7.65	98%
5	0.26	113.46	7.77778	7.65	98%
6	0.29	112.62	7.77778	7.65	98%
7	0.28	118.57	7.77778	7.65	98%
8	0.27	114.3	7.77778	7.65	98%
9	0.25	111.79	7.77778	7.65	98%
10	0.25	109.32	7.77778	7.65	98%
11	0.24	106.89	7.77778	7.65	98%
12	0.23	86.66	8.03323	7.9	98%
13	0.3	110.96	7.77778	7.65	98%
14	0.25	106.08	7.77778	7.65	98%
15	0.27	96.03	7.85206	7.72	98%
16	0.26	100.58	7.77778	7.65	98%
17	0.27	101.36	7.77778	7.65	98%
18	0.23	96.03	7.85206	7.72	98%
19	0.22	89.47	7.97807	7.85	98%
20	0.25	93.81	7.89426	7.76	98%
21	0.24	95.29	7.86608	7.74	98%
22	0.27	96.78	7.83791	7.71	98%
23	0.27	82.55	8.11514	7.99	98%
24	0.26	81.21	8.14215	8.01	98%
25	0.23	71.04	8.35184	8.22	98%
26	0.24	74.12	8.28749	8.16	98%
27	0.24	74.12	8.28749	8.16	98%
28	0.27	80.55	8.15551	8.03	98%
29	0.28	81.21	8.14215	8.01	98%
30	0.29	78.58	8.19559	8.07	98%
31	0.3	68.65	8.40228	8.27	98%
32	0.34	72.88	8.31331	8.18	98%
33	0.38	61.79	8.54932	8.42	98%

Nomor	SO ₂	CO ₂	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
34	0.38	69.24	8.38979	8.26	98%
35	0.33	81.88	8.12862	8	98%
36	0.4	51.91	8.76676	8.64	99%
37	0.35	67.47	8.42733	8.3	98%
38	0.35	76.65	8.23517	8.11	98%
39	0.34	83.23	8.10149	7.97	98%
40	0.33	71.04	8.35184	8.22	98%
41	0.33	84.59	8.0743	7.95	98%
42	0.35	81.21	8.14215	8.01	98%
43	0.28	71.04	8.35184	8.22	98%
44	0.5	24.45	9.40202	9.27	99%
45	0.46	29.12	9.29105	9.16	99%
46	0.38	69.84	8.37711	8.25	98%
47	0.39	69.24	8.38979	8.26	98%
48	0.33	73.5	8.30038	8.17	98%
49	0.4	62.34	8.53741	8.41	99%
50	0.34	74.12	8.28749	8.16	98%
51	0.33	66.88	8.43989	8.31	98%
52	0.38	40.64	9.0223	8.89	99%
53	0.31	71.04	8.35184	8.22	98%
54	0.38	42.31	8.98396	8.86	99%
55	0.36	60.15	8.58497	8.46	99%
56	0.34	57.48	8.64338	8.51	98%
57	0.31	56.44	8.66627	8.54	99%
58	0.33	49.98	8.80997	8.68	99%
59	0.36	42.31	8.98396	8.86	99%
60	0.39	61.24	8.56126	8.43	98%
61	0.38	56.44	8.66627	8.54	99%
62	0.43	46.26	8.89391	8.77	99%
63	0.4	50.46	8.7992	8.67	99%
64	0.38	65.73	8.46446	8.34	99%
65	0.34	71.04	8.35184	8.22	98%
66	0.29	70.44	8.36447	8.13	97%
67	0.37	43.17	8.96427	8.84	99%
68	0.29	75.38	8.26137	8.13	98%
69	0.22	40.22	9.03197	8.91	99%

Nomor	SO₂	CO₂	Fuzzy Mikrokontroller	Fuzzy Simulasi	Akurasi
70	0.19	60.69	8.57321	8.45	99%
71	0.18	65.73	8.46446	8.34	99%
72	0.18	64.58	8.48912	8.36	98%
73	0.2	66.88	8.43989	8.31	98%
74	0.2	61.79	8.54932	8.42	98%
75	0.19	65.15	8.47688	8.35	99%
76	0.3	33.64	9.18474	9.06	99%
77	0.3	21.09	9.48253	9.35	99%
78	0.22	55.41	8.689	8.56	99%
79	0.24	35.49	9.14155	9.01	99%
80	0.25	44.04	8.94441	8.82	99%
Rata-rata					98%

LAMPIRAN 4**Data Pengukuran Titik Ke Dua**

Nomor	SO₂	CO₂	Fuzzy Mikrokontroller	Fuzzy Simulasi	Akurasi
1	0.21	70.44	8.36447	8.24	99%
2	0.21	66.3	8.45227	8.32	98%
3	0.21	73.5	8.30038	8.17	98%
4	0.22	68.65	8.40228	8.27	98%
5	0.22	72.26	8.32627	8.2	98%
6	0.22	57.48	8.64338	8.51	98%
7	0.23	77.29	8.22201	8.09	98%
8	0.23	71.04	8.35184	8.22	98%
9	0.23	46.26	8.89391	8.77	99%
10	0.23	69.24	8.38979	8.26	98%
11	0.23	77.29	8.22201	8.09	98%
12	0.24	76.65	8.23517	8.11	98%
13	0.25	72.26	8.32627	8.2	98%
14	0.25	76.01	8.24835	8.12	98%
15	0.25	65.15	8.47688	8.35	99%
16	0.25	69.84	8.37711	8.25	98%
17	0.25	75.38	8.26137	8.13	98%
18	0.25	74.75	8.27441	8.15	98%
19	0.26	66.88	8.43989	8.31	98%
20	0.26	66.88	8.43989	8.31	98%

Nomor	SO₂	CO₂	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
21	0.26	67.47	8.42733	8.3	98%
22	0.26	73.5	8.30038	8.18	99%
23	0.26	63.46	8.51322	8.38	98%
24	0.26	77.29	8.22201	8.09	98%
25	0.27	68.06	8.41479	8.29	99%
26	0.27	64.58	8.48912	8.36	98%
27	0.27	38.2	9.07861	8.95	99%
28	0.28	62.9	8.5253	8.4	99%
29	0.28	62.34	8.53741	8.41	99%
30	0.28	75.38	8.26137	8.13	98%
31	0.28	53.89	8.72267	8.59	98%
32	0.29	51.91	8.76676	8.64	99%
33	0.29	68.06	8.41479	8.29	99%
34	0.29	57.48	8.64338	8.51	98%
35	0.29	79.89	8.1689	8.04	98%
36	0.3	72.26	8.32627	8.2	98%
37	0.3	49.5	8.82076	8.69	99%
38	0.31	68.65	8.40228	8.27	98%
39	0.31	77.29	8.22201	8.09	98%
40	0.31	64.58	8.48912	8.36	98%
41	0.32	42.31	8.98396	8.86	99%
42	0.32	47.63	8.8629	8.73	99%

Nomor	SO₂	CO₂	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
43	0.32	60.15	8.58497	8.46	99%
44	0.32	74.75	8.27441	8.15	98%
45	0.33	32.56	9.21004	9.08	99%
46	0.33	43.17	8.96427	8.84	99%
47	0.33	55.41	8.689	8.56	99%
48	0.34	69.24	8.38979	8.26	98%
49	0.34	62.9	8.5253	8.4	99%
50	0.34	57.48	8.64338	8.51	98%
51	0.35	55.93	8.67751	8.55	99%
52	0.35	61.24	8.56126	8.43	98%
53	0.35	47.17	8.8733	8.74	98%
54	0.36	50.94	8.78845	8.66	99%
55	0.36	43.17	8.96427	8.84	99%
56	0.38	50.94	8.78845	8.66	99%
57	0.38	65.73	8.46446	8.34	99%
58	0.39	61.24	8.56126	8.43	98%
59	0.39	65.73	8.46446	8.34	99%
60	0.41	48.1	8.85229	8.72	99%
61	0.42	56.96	8.65482	8.53	99%
62	0.42	23.29	9.42975	9.3	99%
63	0.42	57.48	8.64338	8.51	98%
64	0.43	49.98	8.80997	8.61	98%

Nomor	SO₂	CO₂	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
65	0.44	16.89	9.58395	9.45	99%
66	0.44	15.34	9.6216	9.49	99%
67	0.44	34.74	9.15903	9.03	99%
68	0.45	47.17	8.8733	8.74	98%
69	0.47	30.13	9.2672	9.14	99%
70	0.47	55.41	8.689	8.56	99%
71	0.49	51.91	8.76676	8.68	99%
72	0.49	33.64	9.18474	9.06	99%
73	0.5	84.59	8.0743	7.95	98%
74	0.52	25.04	9.38793	9.26	99%
75	0.52	30.81	9.25118	9.12	99%
76	0.55	40.64	9.0223	8.89	99%
77	0.56	25.64	9.37363	9.25	99%
78	0.57	44.92	8.92436	8.8	99%
79	0.61	33.64	9.18474	9.06	99%
80	0.63	79.24	8.18213	8.05	98%
Rata-rata					99%

LAMPIRAN 5

Data Pengukuran Titik Ke Tiga

Nomor	SO ₂ (ppm)	CO ₂ (ppm)	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
1	0.46	44.48	8.93437	8.81	99%
2	0.47	30.13	9.2672	9.14	99%
3	0.52	18.06	9.55562	9.42	99%
4	0.53	22.17	9.45659	9.32	99%
5	0.54	19.28	9.52614	9.4	99%
6	0.56	13.88	9.65716	9.52	99%
7	0.57	47.17	8.8733	8.74	98%
8	0.58	18.3	9.54981	9.42	99%
9	0.59	19.28	9.52614	9.4	99%
10	0.59	19.28	9.52614	9.4	99%
11	0.59	16.89	9.58395	9.45	99%
12	0.6	34	9.17632	9.05	99%
13	0.6	15.99	9.6058	9.47	99%
14	0.6	17.12	9.57838	9.44	99%
15	0.6	20.3	9.50154	9.37	99%
16	0.62	20.05	9.50757	9.38	99%
17	0.63	17.59	9.56699	9.43	99%
18	0.64	39.41	9.05064	8.92	99%
19	0.64	17.12	9.57838	9.44	99%
20	0.68	16.43	9.59511	9.46	99%
21	0.68	18.79	9.53797	9.41	99%

Nomor	SO₂ (ppm)	CO₂ (ppm)	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
22	0.68	14.29	9.64716	9.52	99%
23	0.68	14.91	9.63206	9.51	99%
24	0.7	15.99	9.6058	9.47	99%
25	0.71	15.12	9.62695	9.5	99%
26	0.72	17.35	9.57281	9.44	99%
27	0.72	17.82	9.56142	9.43	99%
28	0.72	13.09	9.67644	9.54	99%
29	0.73	15.55	9.61649	9.49	99%
30	0.73	14.91	9.63206	9.51	99%
31	0.76	15.77	9.61114	9.48	99%
32	0.78	16.66	9.58953	9.46	99%
33	0.8	15.12	9.62695	9.5	99%
34	0.81	20.05	9.50757	9.38	99%
35	0.81	15.99	9.6058	9.47	99%
36	0.82	15.99	9.6058	9.47	99%
37	0.83	15.34	9.6216	9.49	99%
38	0.83	19.04	9.53193	9.4	99%
39	0.83	15.77	9.61114	9.48	99%
40	0.84	16.43	9.59511	9.46	99%
41	0.86	14.91	9.63206	9.51	99%
42	0.89	20.56	9.49528	9.37	99%
43	0.9	18.06	9.55562	9.42	99%
44	0.9	16.66	9.58953	9.46	99%

Nomor	SO₂ (ppm)	CO₂ (ppm)	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
45	0.91	20.3	9.50154	9.38	99%
46	0.93	19.28	9.52614	9.4	99%
47	0.94	19.28	9.52614	9.4	99%
48	0.94	20.3	9.50154	9.37	99%
49	0.94	16.89	9.58395	9.45	99%
50	0.94	17.12	9.57838	9.44	99%
51	0.95	19.28	9.52614	9.4	99%
52	0.96	17.35	9.57281	9.44	99%
53	0.96	18.79	9.53797	9.41	99%
54	0.97	19.04	9.53193	9.4	99%
55	0.98	21.63	9.46955	9.34	99%
56	0.99	23.86	9.41611	9.29	99%
57	0.99	19.54	9.51986	9.39	99%
58	1.01	21.9	9.46307	9.33	99%
59	1.01	20.3	9.50154	9.37	99%
60	1.02	18.54	9.54401	9.41	99%
61	1.02	19.04	9.53193	9.4	99%
62	1.02	25.95	9.36625	9.24	99%
63	1.05	18.79	9.53797	9.41	99%
64	1.06	19.04	9.53193	9.4	99%
65	1.08	20.3	9.50154	9.37	99%
66	1.13	27.82	9.32183	9.19	99%
67	1.13	27.82	9.32183	9.19	99%

Nomor	SO₂ (ppm)	CO₂ (ppm)	Fuzzy Mikrokontroler	Fuzzy Simulasi	Akurasi
68	1.16	43.6	8.95445	8.83	99%
69	1.21	25.04	9.38793	9.26	99%
70	1.21	25.04	9.38793	9.26	99%
71	1.13	27.82	9.32183	9.19	99%
72	1.33	28.14	9.31425	9.18	99%
73	1.33	28.14	9.31425	9.18	99%
74	1.35	44.92	8.92436	8.8	99%
75	1.35	44.92	8.92436	8.8	99%
76	1.05	18.79	9.53797	8.41	88%
77	1.06	19.04	9.53193	9.4	99%
78	2.57	66.3	8.45227	8.32	98%
79	2.57	66.3	8.45227	8.32	98%
80	1.33	28.14	9.31425	9.18	99%
Rata-rata					98%

LAMPIRAN 6

Data Sheet Sensor MQ-135

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω ±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

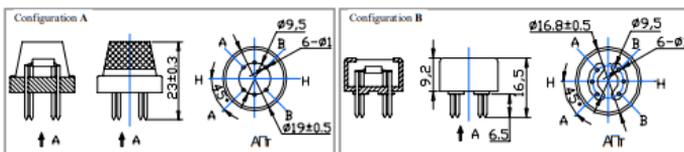
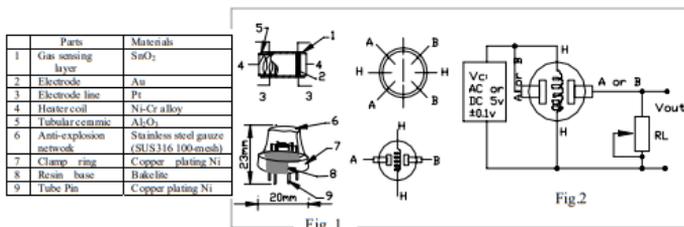
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃...+45℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃...+70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ -200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope : 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
a (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤ 0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃ ±2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H :5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of

sensitive components. The enveloped MQ-135 have 6 pins ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

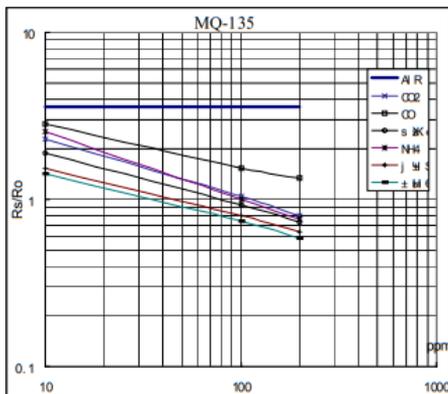


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20°C.

Humidity: 65%.

O₂ concentration 21%

RL=20kΩ

Ro: sensor resistance at 100ppm of

NH₃ in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

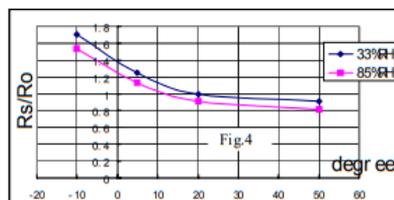


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air

at 33%RH and 20 degrees.

Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃

at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20 KΩ (10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



LAMPIRAN 7

Data Sheet Sensor MQ-136

TECHNICAL DATA MQ-136 GAS SENSOR

FEATURES

Fast response and High sensitivity
Stable and long life Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of H₂S.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _e	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	31 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

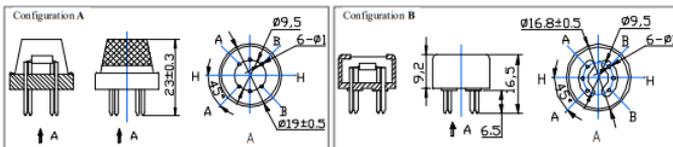
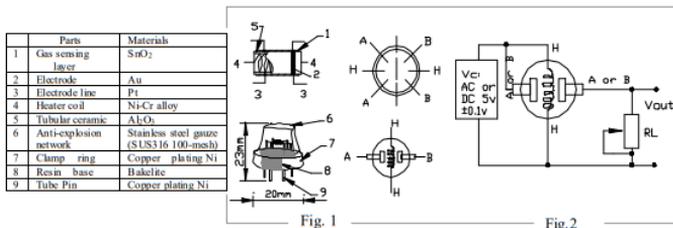
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C-45°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C-70°C	
R _H	Relative humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30K Ω-200K Ω (10ppm H ₂ S)	Detecting concentration scope : 1-100ppm H ₂ S
α (20/5) H ₂ S	Concentration Slope rate	≤ 0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20°C ± 2°C V _e :5V±0.1 Humidity: 65%±5% V _H : 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-136 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of

sensitive components. The enveloped MQ-136 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2
 E. Sensitivity characteristic curve

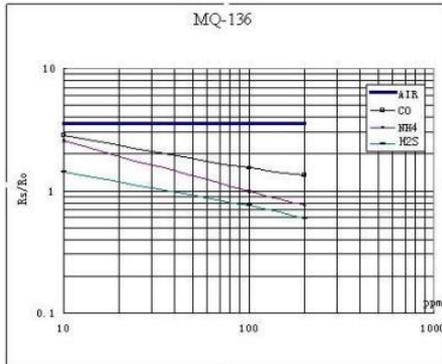


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-136 for several gases. in their: Temp: 20°C. Humidity: 65%. O₂ concentration 21%. RL=20kΩ. R₀: sensor resistance at 10ppm of H₂S in the clean air. R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-136

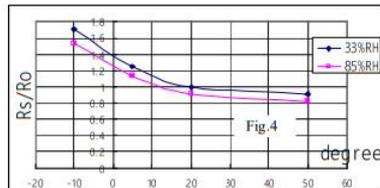
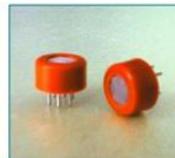


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-136 on temperature and humidity. R₀: sensor resistance at 10ppm of H₂S at 33%RH and 20 degree. R_s: sensor resistance at 10ppm of H₂S at different temperatures and humidity.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-136 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 10ppm H₂S concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 KΩ(10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



LAMPIRAN 8

Datasheet Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0.5 KB is used for the bootloader); it has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the `attachInterrupt()` function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares RADIONICS



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the Tools > Board menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



radiospares RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



radiospares RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

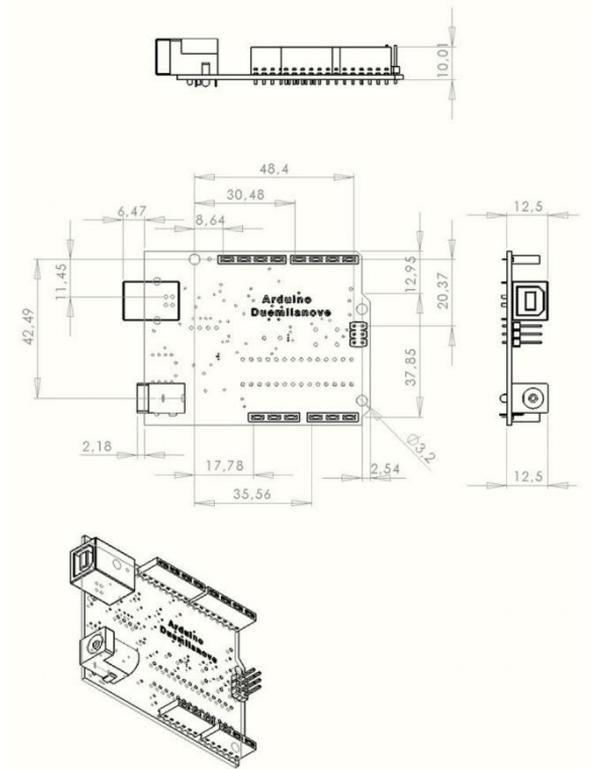
In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```

Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
-----
Sketch
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
249
```

Dimensioned Drawing



radiospares **RADIONICS**



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. The warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or misreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, the producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to do so. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



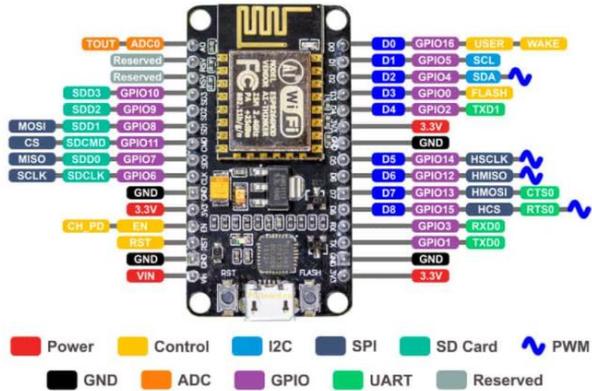
radiospares

RADIONICS



LAMPIRAN 9

Datasheet NodeMCU



- Power Pins** There are four power pins. VIN pin and three 3.3V pins.
- VIN can be used to directly supply the NodeMCU/ESP8266 and its peripherals. Power delivered on VIN is regulated through the onboard regulator on the NodeMCU module – you can also supply 5V regulated to the VIN pin

GND are the ground pins of NodeMCU/ESP8266

I2C Pins are used to connect I2C sensors and peripherals. Both I2C Master and I2C Slave are supported. I2C interface functionality can be realized programmatically, and the clock frequency is 100 kHz at a maximum. It should be noted that I2C clock frequency should be higher than the slowest clock frequency of the slave device.

GPIO Pins NodeMCU/ESP8266 has 17 GPIO pins which can be assigned to functions such as I2C, I2S, UART, PWM, IR Remote Control, LED Light and Button programmatically. Each digital enabled GPIO can be configured to internal pull-up or pull-down, or set to high impedance. When configured as an input, it can also be set to edge-trigger or level-trigger to generate CPU interrupts.

ADC Channel The NodeMCU is embedded with a 10-bit precision SAR ADC. The two functions can be implemented using ADC. Testing power supply voltage of VDD3P3 pin and testing input voltage of TOUT pin. However, they cannot be implemented at the same time.

UART Pins NodeMCU/ESP8266 has 2 UART interfaces (UART0 and UART1) which provide asynchronous communication (RS232 and RS485), and can communicate at up to 4.5 Mbps. UART0 (TXD0, RXD0, RST0 & CTS0 pins) can be used for communication. However, UART1 (TXD1 pin) features only data transmit signal so, it is usually used for printing log.

SPI Pins NodeMCU/ESP8266 features two SPIs (SPI and HSPI) in slave and master modes. These SPIs also support the following general-purpose SPI features:

- 4 timing modes of the SPI format transfer
- Up to 80 MHz and the divided clocks of 80 MHz
- Up to 64-Byte FIFO

SDIO Pins NodeMCU/ESP8266 features Secure Digital Input/Output Interface (SDIO) which is used to directly interface SD cards. 4-bit 25 MHz SDIO v1.1 and 4-bit 50 MHz SDIO v2.0 are supported.

PWM Pins The board has 4 channels of Pulse Width Modulation (PWM). The PWM output can be implemented programmatically and used for driving digital motors and LEDs. PWM frequency range is adjustable from 1000 μ s to 10000 μ s (100 Hz and 1 kHz).

Control Pins are used to control the NodeMCU/ESP8266. These pins include Chip Enable pin (EN), Reset pin (RST) and WAKE pin.

- **EN:** The ESP8266 chip is enabled when EN pin is pulled HIGH. When pulled LOW the chip works at minimum power.
- **RST:** RST pin is used to reset the ESP8266 chip.
- **WAKE:** Wake pin is used to wake the chip from deep-sleep.



Control Pins are used to control the NodeMCU/ESP8266. These pins include Chip Enable pin (EN), Reset pin (RST) and WAKE pin.

- **EN:** The ESP8266 chip is enabled when EN pin is pulled HIGH. When pulled LOW the chip works at minimum power.
- **RST:** RST pin is used to reset the ESP8266 chip.
- **WAKE:** Wake pin is used to wake the chip from deep-sleep.

LAMPIRAN 10

Foto Kawah Ijo Saat Pengambilan Data



Foto Pengambilan Data di Titik Pertama



Foto Titik Pertama



Foto Pengambilan Data di Titik Kedua



Foto Titik Kedua



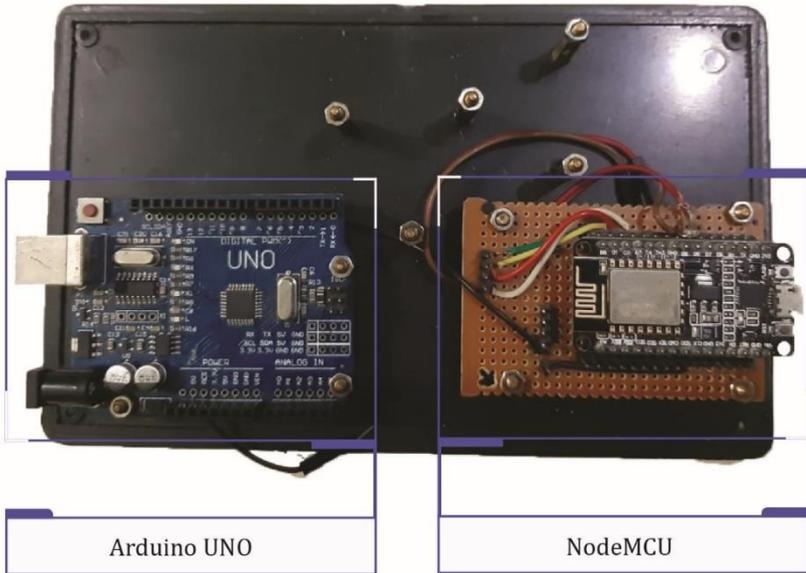
Foto Pengambilan Data di Titik Ketiga



Foto Titik Ketiga

LAMPIRAN 11

Foto Bagian Dalam Alat



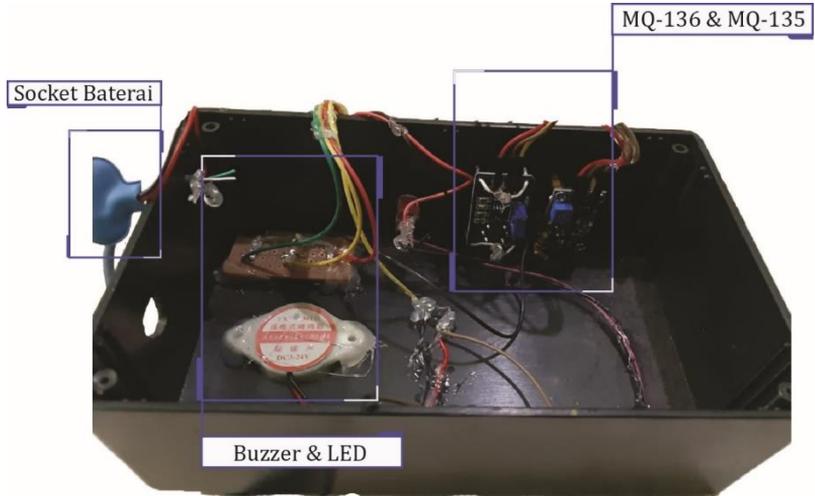


Foto Bagian Luar Alat



RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Muhmmad Zadid Taqwa
2. Tempat & Tgl. Lahir : Kendal, 2 Oktober 1998
3. Alamat Rumah : Kel. Banyutowo RT. 03 RW. 02
Kec. Kendal Kab. Kendal
4. No. HP : 085600362689
5. E-mail : Zadidtaqwa123@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal:
 - a. SD N 2 Banyutowo
 - b. SMP N 3 Patebon
 - c. SMK Syubbanul Wathon

Semarang, 11 Oktober 2021

Muhammad Zadid Taqwa

NIM : 1608026027