



UNIVERSITAS
Dinamika

**PENERAPAN *DRONE* DAN *INTERNET OF THINGS* SEBAGAI
ALAT PEMANTAU PENCEMARAN UDARA SO₂ DAN NO₂
PADA LINGKUNGAN INDUSTRI**



TUGAS AKHIR

Program Studi

S1 TEKNIK KOMPUTER

UNIVERSITAS
Dinamika

Oleh:

ILHAM AINULBASHIR

19410200006

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA

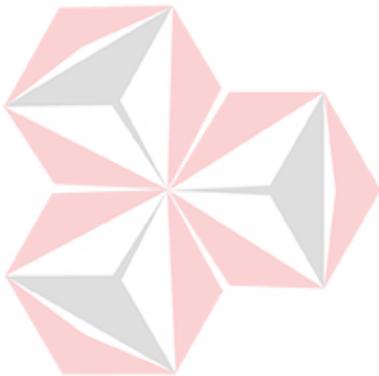
UNIVERSITAS DINAMIKA

2024

**PENERAPAN *DRONE* DAN *INTERNET OF THINGS* SEBAGAI ALAT
PEMANTAU PENCEMARAN UDARA SO₂ DAN NO₂ PADA
LINGKUNGAN INDUSTRI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Sarjana**



UNIVERSITAS
Dinamika

Oleh:

Nama : Ilham Ainul Bashir

NIM : 19410200006

Program Studi : S1 Teknik Komputer

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA

UNIVERSITAS DINAMIKA

2024

TUGAS AKHIR

PENERAPAN *DRONE* DAN *INTERNET OF THINGS* SEBAGAI ALAT PEMANTAU PENCEMARAN UDARA SO₂ DAN NO₂ PADA LINGKUNGAN INDUSTRI

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Ilham Ainul Bashir

NIM: 19410200006

Telah diperiksa, dibahas dan di setujui oleh Dewan Pembahas

Pada: 6 Agustus 2024

Susunan Dewan Pembahas

Pembimbing

I. Harianto, S.Kom., M.Eng.
NIDN. 0722087701

II. Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT.
NIDN. 0721047201

Pembahas

Heri Pratikno, M.T.
NIDN. 0716117302

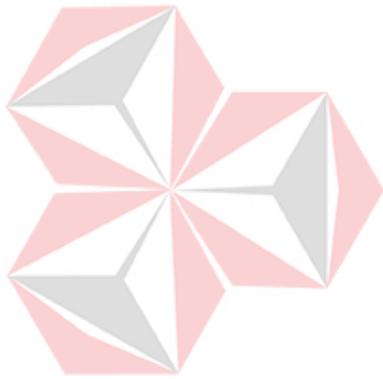
cn=Harianto Harianto,
ou=UniversitasDinamika,
ou=ProdiS1 TeknikKomputer,
email=hariodinamika.ac.id,
c=ID
2024.08.07 06:39:59+07'00'

cn=Weny Indah Kusumawati,
o=Undika,ou=ProdiS1 TK-FTI,
email=weny@dinamika.ac.id,
c=ID
2024.08.07 17:02:16+07'00'

Digitally signed by Heri Pratikno, M.T.,
DN: cn=Heri Pratikno, M.T.,
ou=UniversitasDinamika, ou=S1
Teknik Komputer,
email=heri@dinamika.ac.id, c=ID
Date: 2024.08.08 12:00:15 +07'00'
Adobe Acrobat version: 11.0.23

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar sarjana

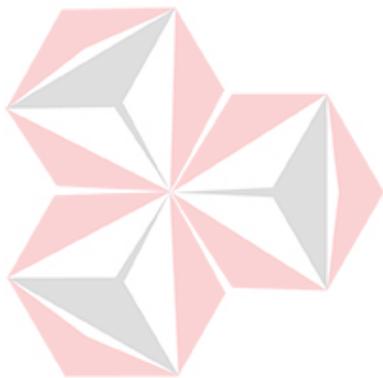
 Digitally signed by
Anjik Sukmaaji
Date: 2024.08.13
11:15:35 +07'00'
Dr. Anjik Sukmaaji, S.Kom., M.Eng.
NIDN. 0731057301
Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika
UNIVERSITAS DINAMIKA



Patah untuk tumbuh.

UNIVERSITAS
Dinamika

Karya ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya.



UNIVERSITAS
Dinamika

PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai mahasiswa Universitas Dinamika, Saya :

Nama : Ilham Ainul Bashir
NIM : 19410200006
Program Studi : SI Teknik Kompter
Fakultas : Fakultas Teknologi dan informatika
Jenis Karya : Laporan Tugas Akhir
Judul Karya : PENERAPAN *DRONE* DAN *INTERNET OF THINGS*
SEBAGAI ALAT PEMANTAU PENCEMARAN
UDARA SO₂ DAN NO₂ PADA LINGKUNGAN
INDUSTRI

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, Saya menyetujui memberikan kepada Universitas Dinamika Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas seluruh isi/sebagian karya ilmiah Saya tersebut diatas untuk disimpan, dialihmediakan, dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Karya tersebut diatas adalah hasil karya asli Saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya, atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini semata-mata hanya sebagai rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka Saya.
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiasi pada karya ilmiah ini, maka Saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kesarjanaan yang telah diberikan kepada Saya.

Surabaya, 9 agustus 2024



Ilham Ainul Bashir
NIM : 19410200006

ABSTRAK

Kualitas udara merupakan suatu kondisi udara yang terdapat kandungan gas atau zat-zat tertentu yang berkaitan dengan kesehatan manusia. Seperti halnya, Sulfur dioksida (SO₂) yang merupakan kandungan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, jika bereaksi dengan uap air di udara akan menimbulkan hujan asam yang dapat menyebabkan kerusakan baik material maupun tanaman, sedangkan nitrogen dioksida (NO₂) adalah polutan yang memiliki karakteristik berwarna coklat dan memiliki bau yang tajam yang dimana dampaknya dapat menyebabkan penurunan fungsi paru, sesak nafas bahkan berujung pada kematian. Penelitian ini membuat alat pemantau kualitas udara dengan konsentrasi polutan nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) dengan menggunakan metode drone sebagai alat angkut sistem pemantau. Sebagai pengujian sensor MQ-135 dan sensor MQ-136 maka diperlukan data pembandingan yaitu menggunakan data yang diperoleh dari AQMS Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan kabupaten Sidoarjo. AQMS adalah sebuah sistem pemantau kualitas udara udara ambien tetap yang dimana metode pengambilan datanya secara otomatis, kontinyu dan real time. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan cara meletakkan sensor MQ-135 dan MQ-136 di dekat sistem AQMS Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kabupaten Sidoarjo, sensor MQ-135 mendapat nilai rata-rata error 10.7%, sensor MQ-136 mendapat nilai rata-rata error 10.2%, sedangkan sistem integrasi IoT yang digunakan sebagai pembacaan data berjalan dengan baik dengan memiliki tingkat akurasi 100%, dan untuk pengujian GPS dilakukan dengan cara pengambilan data koordinat di lokasi yang sama antara GPS smartphone dan GPS sistem. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan mendapat nilai selisih meter yaitu 5.4 meter. Untuk pengujian drone dilakukan dengan cara meletakkan kotak penyimpanan mikrokontroler, sensor dan GPS di atas drone. Berdasarkan hasil pengujian yang didapat drone hanya mampu menempuh jarak ketinggian (vertikal) 15 meter dan jarak tempuh (horisontal) 50 meter.

Kata kunci: Kualitas udara, sensor MQ-135, sensor MQ-136, GPS, IoT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkah, Rahmat serta semangat dan kesehatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian dalam pembuatan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini berjudul “Penerapan Drone dan Internet of things Sebagai Alat Pemantau Pencemaran Udara SO₂ Dan NO₂ Pada Lingkungan Industri”. Laporan ini di disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik di Fakultas Teknologi dan Informatika, Program Studi S1 Teknik Komputer, Universitas Dinamika.

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir serta penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

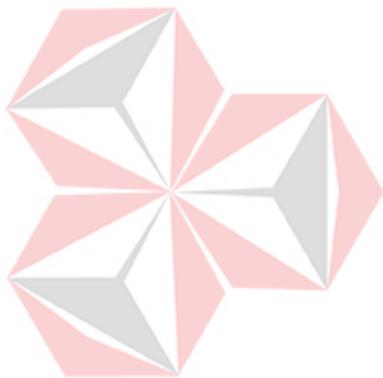
1. Ibu dan keluarga, yang tiada henti memberikan dukungan moral maupun moril, sehingga penulis mampu menyelesaikan kuliah dan Tugas Akhir ini.
2. Dwinta Agustina, yang telah memberikan dukungan moral serta membantu secara langsung kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Pauladie Susanto, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Komputer dan Dosen Wali.
4. Bapak Harianto., S.Kom., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi dukungan penuh secara moral, waktu dan ilmu pengetahuan serta arahan.
5. Ibu Weny Indah Kusumawati., S.Kom., M.MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi dukungan penuh secara moral, waktu, dan ilmu pengetahuan serta arahan.
6. Bapak Heri Praktikno., M.T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberi saran dan izin dalam penyusunan Tugas Akhir.
7. Muhammad Frizzy, Teo, Sukman, yang telah membantu secara langsung pada saat proses pengambilan data di lapangan.
8. Keluarga besar himapasti surabaya, yang telah memberikan dukungan moral kepada penulis.
9. Teman angkatan 2019 Teknik komputer, yang telah membantu dalam proses

pengerjaan Tugas Akhir.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang setimpal kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan bimbingan serta nasehat dalam proses Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini, oleh karena itu, kritik yang konstruktif dan saran dari semua pihak sangat diharapkan agar aplikasi ini dapat diperbaiki menjadi lebih baik. Semoga laporan Tugas Akhir ini diterima dengan baik dan memberikan manfaat bagi penulis serta semua pihak yang terlibat.

Surabaya, 6 Agustus 2024

Penulis



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Drone.....	5
2.2 Internet of Things (IoT).....	6
2.3 MQTT.....	7
2.4 Mifi.....	8
2.5 Sensor MQ-135.....	9
2.6 Sensor MQ-136.....	9
2.7 GPS (Global Positioning System) Neo 6m.....	10
2.8 ESP32.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Perancangan Blok Diagram.....	13
3.2 Perancangan Perangkat Keras.....	14
3.3 Kalibrasi Sensor MQ-135.....	15
3.4 Kalibrasi sensor MQ – 136.....	16
3.5 Perancangan Perangkat Lunak.....	17
3.6 Perangkat Mekanik.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21

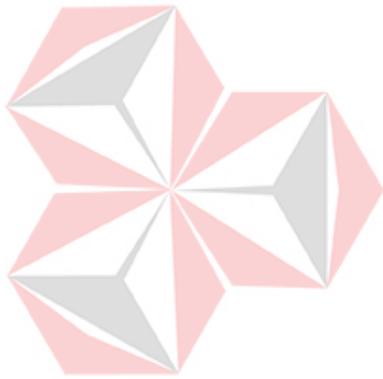
4.1	Pengujian Sensor MQ-135.....	21
4.1.1	Tujuan Pengujian Sensor MQ-135	21
4.1.2	Alat dan Bahan Pengujian Sensor MQ-135.	21
4.1.3	Prosedur Pengujian Sensor MQ-135	21
4.1.4	Hasil Pengujian Sensor MQ-135.....	22
4.1.5	Analisis Data Pengujian Sensor MQ-135.....	25
4.2	Pengujian Sensor MQ-136.....	26
4.2.1	Tujuan Pengujian Sensor MQ-136	26
4.2.2	Alat dan Bahan Pengujian Sensor MQ-136.	26
4.2.3	Prosedur Pengujian Sensor MQ-136	27
4.2.4	Hasil Pengujian Sensor MQ-136.....	27
4.2.5	Analisis Data Pengujian Sensor MQ-136.....	30
4.3	Pengujian GPS	31
4.3.1	Tujuan Pengujian GPS	31
4.3.2	Alat dan Bahan Pengujian GPS.....	31
4.3.3	Prosedur Pengujian GPS.....	32
4.3.4	Hasil Pengujian GPS	32
4.3.5	Analisis Data Pengujian GPS	36
4.4	Pengujian IoT.....	36
4.4.1	Tujuan Pengujian IoT.....	36
4.4.2	Alat dan Bahan Pengujian IoT	36
4.4.3	Prosedur Pengujian IoT	37
4.4.4	Hasil Pengujian IoT.....	37
4.4.5	Analisis Data Pengujian IoT	38
BAB V PENUTUP.....		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		45
BIODATA PENULIS		60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Drone SJRC F11s.	6
Gambar 2.2 MQTT.....	8
Gambar 2.3 Mifi Andromax M3Y.....	9
Gambar 2.4 Sensor MQ-135	9
Gambar 2.5 Sensor MQ-136	10
Gambar 2.6 GPS Neo 6m.....	11
Gambar 2.7 ESP32.....	12
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem	14
Gambar 3.2 Skematik Rangkaian.....	15
Gambar 3.3 Kurva Kalibrasi Sensor MQ-135.....	16
Gambar 3.4 Kurva Kalibrasi Sensor MQ-136.....	17
Gambar 3.5 Flowchart Sistem.....	18
Gambar 3.6 Perancangan Mekanik Drone	19
Gambar 3.7 Perancangan Kotak Penyimpanan Mikrokontroler	20
Gambar 4.1 AQMS NO2.....	22
Gambar 4.2 Dashoard IoT Sensor MQ-135.	25
Gambar 4.3 Grafik AQMS dan Sensor MQ-135.....	26
Gambar 4.4 AQMS SO2	27
Gambar 4.5 Dashoard IoT Sensor MQ-136.	30
Gambar 4.6 Grafik SO2	31
Gambar 4.7 GPS Smartphone (Photo GPS) dan Dashbord IoT GPS.....	35
Gambar 4.8 Integrasi Sistem IoT	39

DAFTAR TABEL

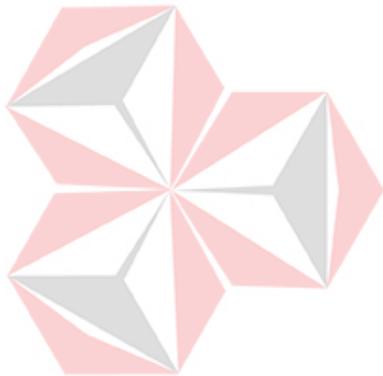
	Halaman
Tabel 1.1 Indeks Pencemaran Udara (ISPU)	1
Tabel 1.2 Penjelasan Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).....	2
Tabel 4.1 Pengujian Sensor MQ-135.	24
Tabel 4.2 Pengujian Sensor MQ-136.	29
Tabel 4.3 Pengujian GPS	35
Tabel 4.4 Pengujian IoT	38
Tabel 4.5 Pengujian Drone.....	40



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Program Sensor MQ-135 dan Sensor MQ-136	45
Lampiran 2 Program GPS.....	48
Lampiran 3 Program Lengkap	50
Lampiran 4 Dashboard IoT.....	54
Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan	55
Lampiran 6 Form Bimbingan Tugas Akhir.....	58
Lampiran 7 Bukti Originalitas Tugas Akhir	59



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara merupakan suatu kondisi udara yang terdapat kandungan gas atau zat-zat tertentu yang berkaitan dengan kesehatan manusia. Guna mengetahui suatu wilayah yang memiliki kualitas udara yang layak, maka diperlukan parameter pencemar udara untuk mengukur kadar pencemaran lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai Baku mutu udara ambien yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Baku mutu udara ambien adalah nilai batas dari kandungan zat dan energi yang mengandung unsur pencemaran pada udara ambien. Adapun parameter udara yang terdapat pada penentuan baku mutu udara ambien yaitu Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), oksigen dalam bentuk Ozon (O₃), dan Partikulat (PM₁₀). Berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP 45/MENLH/1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), dilansir dari situs <https://ditppu.menlhk> untuk menguji kualitas udara di berbagai wilayah yang ada di Indonesia memiliki beberapa indeks seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2:

Tabel 1.1 Indeks Pencemaran Udara (ISPU)

ISPU	24 jam SO ₂ (Mg/m ³)	24 jam CO (Mg/m ³)	24 jam O ₃ (Mg/m ³)	24 jam NO ₂ (Mg/m ³)	24 jam HC (Mg/m ³)
0 - 50	52	4000	120	80	45
51 - 100	180	8000	235	200	100
101 - 200	400	15000	400	1130	215
201 - 300	800	30000	800	2260	432
>300	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:

Data pengukuran 24 jam secara terus menerus.

Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{2.5}) disampaikan tiap jam selama 24 jam.

Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit di sampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Tabel 1.2 Penjelasan Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 – 50	Tingkat kualitas udara tidak memberi efek buruk bagi kesehatan manusia atau hewan, serta tidak mempengaruhi tumbuhan, bangunan, dan nilai estetika
Sedang	51 – 100	Tingkat kualitas udara tidak memberi efek buruk bagi kesehatan manusia dan hewan, namun mempengaruhi tumbuhan yang sensitif, serta nilai estetika
Tidak sehat	101 – 199	Tingkat kualitas udara merugikan manusia dan kelompok hewan yang sensitif, serta menimbulkan kerusakan pada tumbuhan aataupun nilai estetika
Sangat tidak sehat	200 – 299	Tingkat kualitas udara dapat merugikan kesehatan pada beberapa segmen populasi yang terpapar
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya secara umum dan menimbulkan kerugian kesehatan yang serius.

Namun, untuk beberapa daerah seperti halnya di Surabaya tepatnya kawasan industri SIER dilansir dari <https://surabaya.co.id>, monitoring kualitas udaranya merujuk pada parameter Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂). Sulfur Dioksida (SO₂) yang merupakan kandungan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, jika bereaksi dengan uap air di udara akan menimbulkan hujan asam yang dapat menyebabkan kerusakan baik material maupun tanaman, sedangkan Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah polutan yang memiliki karakteristik berwarna coklat dan memiliki bau yang tajam yang dimana dampaknya dapat menyebabkan penurunan fungsi paru, sesak nafas, bahkan berujung pada kematian (Suyono 2014).

Dampak gas Sulfur Dioksida dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan, selaput lendir pada hidung, tenggorokan, dan saluran pernafasan paru-paru. Dampak kesehatan ini bahkan lebih buruk lagi bagi penderita asma. Selain itu, Sulfur Dioksida di udara diubah menjadi polutan sekunder seperti aerosol sulfat. Aerosol yang dihasilkan biasanya berukuran sangat kecil dan dapat terhirup ke saluran pernafasan bagian bawah. Meningkatnya angka kematian akibat gagal napas, terutama pada orang lanjut usia dan anak-anak, mungkin berhubungan dengan konsentrasi (SO₂) dan partikel secara simultan, karena gas (SO₂) sering kali dapat menghasilkan Aerosol Sulfat sebagai polutan sekunder, sedangkan

dampak polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) terhadap kesehatan manusia, terutama dalam jangka pendek, meliputi peradangan paru-paru dan penurunan resistensi terhadap infeksi saluran pernapasan. Dalam jangka panjang, asma berkembang, meningkatkan risiko serangan asma yang lebih sering dan parah, kerusakan jaringan paru-paru, dan kematian dini (<https://ditppu.menlhk>).

Dalam pengambilan sampel kualitas udara dinas DLHK Surabaya menggunakan metode Passive Sampler. Metode Passive Sampler merupakan metode yang menggunakan cara penyerapan gas secara difusi dengan media yang terpapar dalam suatu waktu tertentu tanpa menggunakan pompa hisap dan memanfaatkan fisis gas yang berdifusi dari nilai tinggi ke nilai rendah namun metode ini memiliki kekurangan berupa pengambilan datanya tidak bisa kontinu (<https://ditppu.menlhk>). Oleh karena itu seiring dengan berkembangnya ilmu teknologi dan informasi pemantauan kualitas udara dapat dilakukan dengan memanfaatkan *Internet of Things* agar pemantauan dapat dilakukan secara berkala guna pencegahan dini terhadap dampak yang diakibatkan oleh kandungan gas Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemanfaatan *Internet of Things* untuk memantau kondisi kualitas udara, penelitian tersebut antara lain: “Pemanfaatan *Internet of Things* Pada Rancang Bangun UAV Untuk Alat Pengukur Polutan CO dan CO₂” dengan hasil pengujian pemantauan data secara real time didapatkan perbedaan total waktu dari data diterima dan data menuju server adalah 6.90 detik dengan nilai maksimum 12.67 detik dan nilai standar deviasi 3.05 detik (Mohammad Husain Rifai, 2021).

Berdasarkan penelitian (Virgilius Galih Widyo Raharnata, 2021) dengan judul “Rancang Bangun Pemantauan Pencemaran Udara Menggunakan Autonomous Waypoint Quadcopter” memiliki hasil pengujian pada sore hari dilakukan pemantauan kadar ppm gas CO. Pada ketinggian 10 meter nilai rata-rata sebesar 3.31 ppm. Pada ketinggian 15 meter, ketinggian rata-ratanya adalah 3.36 ppm, dan pada ketinggian 20 meter memiliki nilai rata-rata 3.40 ppm.

Berdasarkan dari penelitian-penelitian sebelumnya didapatkan alat pemantau kualitas udara yang merujuk pada polutan CO dan CO₂ berbasis *Internet of Things* serta penerapan drone. Namun pada penelitian ini penulis bertujuan untuk

memodifikasi pada bagian konsentrasi pemantauan kondisi kualitas udara terhadap pencemaran udara yang diakibatkan oleh kandungan gas Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas penulis merumuskan beberapa masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana sistem dapat mendeteksi kondisi udara yang tercemar kandungan gas SO₂ dan NO₂?
2. Bagaimana analisis dari sistem pemantau pencemar udara SO₂ dan NO₂?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan yang ditetapkan oleh penulis agar pembahasan tidak melebar adalah sebagai berikut:

1. Parameter pengukuran kualitas udara hanya merujuk pada kandungan gas Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂).
2. Drone hanya dapat dikendalikan oleh user dan tidak ada mode automatic waypoint.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat mendeteksi kondisi udara yang tercemar kandungan gas SO₂ dan NO₂.
2. Dapat menganalisis dari sistem pemantau pencemar udara SO₂ dan NO₂.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempermudah petugas di lapangan dalam pemantauan kondisi kualitas udara.
2. Petugas di lapangan tidak perlu berpindah dalam identifikasi dari titik 1 ke titik lainnya. BAB II

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Drone

Drone adalah pesawat tanpa awak yang dimana mesin ini terkendali oleh atau melalui program komputer yang dirancang secara otomatis *Remote Control Pilot* di darat atau di dalam kendaraan lain. Awalnya, UAV adalah pesawat yang dikendalikan dari jarak jauh, namun sistem otomatis kini semakin sering digunakan. Perkembangan teknologi pembuatan drone semakin banyak digunakan untuk tujuan lain di sektor sipil, khususnya perdagangan, industri dan logistik. Dunia usaha, drone digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pengawasan prasarana, pengiriman paket barang, pemadaman kebakaran hutan, pencarian material pertambangan, pemetaan lahan pertanian dan pemetaan kawasan industri. Teknologi UAV atau biasa disebut drone awalnya hanya digunakan oleh instansi militer saja, kini drone telah banyak digunakan oleh seluruh pihak. Badan pemerintahan juga memanfaatkan teknologi canggih ini untuk dapat menghubungkan intelejen dengan pertanian. Namun untuk saat ini, untuk masyarakat awam sekalipun dapat menggunakan drone (Indreswari, 2016).

Gambar 2.1 menunjukkan drone SJRC F11S 4K 'S' yang merupakan generasi baru dari SJRC F11 4KPro. Drone ini diproduksi oleh SJRC. Brand yang satu ini terkenal dengan produk-produknya yang super bagus dengan harga yang sangat terjangkau. F11S juga dilengkapi dengan motor *brushless* berkualitas yang menghasilkan tenaga besar dan waktu terbang hingga 26 menit. Paket 3S LPO dapat diisi dengan baik melalui port USB Type-C. Adapun fitur yang terdapat pada drone ini sebagai berikut:

1. Kamera dengan lensa FOV (bidang pandang) 100° memberikan tampilan panorama untuk perekaman.
2. GPS membantu untuk kembali ke rumah secara otomatis dan mendarat sesuai perintah, kehilangan sinyal, atau baterai lemah.
3. Transmisi Wifi 5G memastikan video real time berkualitas tinggi.
4. Mode penerbangan cerdas (Penerbangan *Waypoint*, Inteligen ikuti saya dan Lingkaran melayang).

5. Motor tanpa sikat.
6. Gimbal dua sumbu yang distabilkan dan prosesor onboard khusus untuk stabilisasi gambar elektronik menghasilkan video yang sangat stabil.
7. Kamera 4K HD, video direkam pada resolusi 4K (3840p x 2160p) pada 30 fps.
8. Desain lipat memiliki ukuran hanya 176X105X80mm (berat lepas landas 585gram).
9. Repeater bawaan menawarkan jangkauan kendali yang panjang (3000 meter).
10. Kartu SD terpasang, slot kartu micro SD 32-128GB.
11. Kasing EVA untuk transportasi.



Gambar 2.1 Drone SJRC F11s

(Sumber: <https://www.best-quadcopter.com/news/2021/09/sjrc-f11s-4k-pro-drone/>)

2.2 Internet of Things (IoT)

Menurut Kevin Ashton (2009), pengertian IoT berdasarkan pernyataannya adalah suatu alat yang bekerja dengan dukungan fungsi Internet, dimana alat tersebut (*Internet of Things*) mempunyai potensi untuk mengubah dunia. Misalnya, seperti yang dilakukan Internet, hal ini bisa menjadi lebih efektif (Ashton, 2009).

Obyek yang ingin terhubung ke Internet memerlukan alamat *Internet Protokol* (IP). Alamat Protokol Internet (IP) adalah pengidentifikasi pada jaringan yang memungkinkan suatu obyek diklasifikasikan di antara obyek lain di jaringan yang sama. Alamat *Internet Protokol* (IP) obyek tersebut kemudian dihubungkan ke jaringan Internet. Sederhananya, IoT bekerja menggunakan instruksi atau perintah pemrograman. Instruksi atau perintah ini dapat secara otomatis menghasilkan bahasa yang dapat dipahami oleh perangkat lain yang terhubung

tanpa campur tangan atau gangguan. Dapat digunakan oleh pengguna campuran, bahkan dalam jarak jauh. Elemen kunci kelancaran pengoperasian perangkat IoT adalah jaringan Internet, yang merupakan koneksi antara sistem dan perangkat. Sebaliknya pada tahap ini, manusia hanya menjadi pengawas, mengkoordinasikan dan mengarahkan alur kerja setiap perangkat dalam bekerja. IoT memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari. Faktanya, penggunaan alat ini sangat berguna dalam membantu orang dalam kehidupan sehari-hari. Pengguna dapat memantau dan mengelola obyek sesuai kebutuhan, dan bahkan dapat meminta obyek yang tersambung ke Internet dari jarak jauh. Setelah suatu obyek diberi alamat IP dan terhubung ke Internet, obyek tersebut memerlukan sensor. Sensor pada obyek memungkinkan obyek memperoleh informasi yang dibutuhkannya. Setelah menerima informasi tentang suatu obyek, memproses informasi tersebut dan juga berkomunikasi dengan obyek lain yang terhubung ke Internet dan memiliki alamat IP. Setelah memproses informasi ini, obyek dapat bertindak secara mandiri sesuai dengan pengaturannya atau memerintahkan obyek lain untuk melakukan hal yang sama. Inilah kelebihan IoT (Tauhid, 2022).

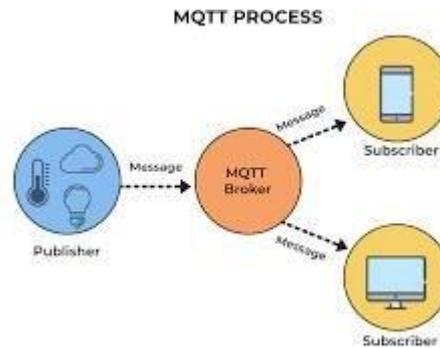
2.3 MQTT

Protokol MQTT adalah protokol perpesanan yang ringan dengan fasilitas publish-subscribe digunakan di atas protokol TCP/IP. Protokol ini melakukannya ukuran paket data kecil dengan biaya rendah (minimal 2 gigabyte) dengan konsumsi daya rendah. MQTT adalah protokol komunikasi, sederhana dan dirancang untuk kemudahan selesai, siapa yang dapat mengelolanya ribuan klien jarak jauh dengan satu server. Karakteristik ini menjadikannya ideal untuk digunakan dalam banyak situasi termasuk lingkungan yang terbatas seperti dalam komunikasi *Machine to Machine* (M2M) dan lanskap Internet obyek (IOT) memerlukan kode sidik jari jaringan kecil dan/atau terbatas. Model publikasikan pesan berlangganan memerlukan broker pesan. Broker bertanggung jawab atas kirim pesan ke pelanggan yang tertarik berdasarkan topik pesannya.

Broker adalah penyedia layanan server yang digunakan pada jaringan protokol MQTT sebagai alat komunikasi antara perangkat sistem dan MQTT, sehingga sistem yang tidak saling terhubung dapat terhubung dalam jaringan internet dengan menggunakan layanan komunikasi broker. Dalam sebuah

komunikasi diperlukan adanya *publish/subscribe* dalam topik yang sama.

Gambar 2.2 adalah contoh pada sistem transfer data yang dimana fungsi *publisher* sebagai proses pengiriman data sedangkan untuk *subscriber* sebagai penerima data pada layanan MQTT (Abilovani, Yahya, Bakhtiar, 2018).



Gambar 2.2 MQTT

(Sumber: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-mqtt/>)

2.4 Mifi

MiFi adalah jaringan nirkabel yang menyediakan konektivitas saat tidak berada di lokasi tetap, artinya MiFi hadir dengan satu perangkat khusus yang mudah dibawa ke mana pun pergi. Konsepnya bekerja serupa ketika menggunakan jaringan ponsel cerdas untuk menghubungkan perangkat lain ke Internet. Fungsi berbagi yang dapat diatur di smartphone bekerja dengan prinsip yang sama seperti MiFi. Namun MiFi menggunakan perangkat mandiri dengan baterai internal dan slot kartu SIM untuk bertindak sebagai penyedia layanan internet. Setelah kartu SIM dimasukkan, dapat terhubung ke Internet melalui koneksi ini (Baktikominfo, 2019).

Gambar 2.3 adalah Smartfren MiFi Andromax M3Y yang merupakan modem WiFi LTE yang menerapkan teknologi CAT4, sehingga pengguna dapat menikmati kecepatan internet hingga 150Mbps. Chipset yang digunakan juga merupakan prosesor terbaru dari Qualcomm. Selain itu, melanjutkan tradisi modem MiFi sebelumnya, Smartfren MiFi Andromax M3Z & M3Y juga dapat berfungsi sebagai perangkat penyimpanan nirkabel, dimana data disimpan di kartu memori. Kedua MiFi ini juga dibekali baterai lebih besar dibandingkan pendahulunya, yakni 3000 mAh.



Gambar 2.3 Mifi Andromax M3Y

(Sumber: <https://inapedia.com/product/detail/SKU0146528>)

2.5 Sensor MQ-135

Sensor kualitas udara MQ-135 adalah sensor yang digunakan untuk pantau kualitas udara untuk gas Amonia (NH_3), Nitrogen Dioksida (NO_2), Alkohol/Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), Benzena (C_6H_6), Karbon Dioksida (CO_2), gas Belerang/Sulfur Hidroksida (H_2S) dan asap/gas lainnya di udara. Sensor ini melaporkan hasil deteksikualitas udara berupa perubahan nilai resistansi analog pada pin keluaran. Pin output ini dapat dihubungkan ke pin ADC (*Analog To Digital Converter*) mikrokontroler/pin input analog Arduino hanya menambahkan resistor (berfungsi sebagai pembagi tegangan). Analog konverter digital ke digital (ADC) adalah perangkat elektronik yang bekerja dengan sinyal analog (Signals terus menerus) menjadi sinyal digital. Perangkat ADC bisa dalam bentuk modul atau rangkaian elektronik chip IC. ADC bertindak sebagai jembatan pemrosesan sinyal analog dari sistem digital (Ridwan, P. M. 2016). Pada Gambar 2.4 merupakan bentuk fisik dari sensor MQ-135.



Gambar 2.4 Sensor MQ-135

(Sumber: <https://store.ichibot.id/product/sensor-MQ-135-air-quality-detection-sensor-kualitas-udara/>)

2.6 Sensor MQ-136

Sensor MQ-136 merupakan suatu alat penginderaan yang digunakan

sebagai pendeteksi gas yang mengandung Tin Oksida (SnO_2). Selain itu juga sensor MQ-136 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap uap yang memiliki kandungan gas Sulfur Dioksida (SO_2). Dalam pengoperasiannya sensor MQ-136 memerlukan tegangan input 5V. Sensor ini memiliki nilai Resistansi Sensor (R_s), yang dapat berubah saat terkena gas dan juga pemanas digunakan untuk membersihkan ruangan. Sensor ini juga memerlukan rangkaian sederhana dan memerlukan tegangan pemanas (*heat power*) 5V, resistansi beban (Wahyuni, 2017). Gambar 2.5 merupakan bentuk fisik dari sensor MQ-136.

MQ136 Hydrogen Sulfide Gas Sensor

Features MQ136

Dual signal output (analog output and TTL level output)

The TTL output effective signal is low. (The signal light is on when the output is low and can be directly connected to the microcontroller)

Analog output 0 - 5V voltage, the higher the concentration the higher the voltage.

For More Information Visit:
www.Circuits-DIY.com



Gambar 2.5 Sensor MQ-136

(Sumber: <https://www.circuits-diy.com/MQ136-hydrogen-sulfide-gas-sensor-module/>)

2.7 GPS (Global Positioning System) Neo 6m

GPS (sistem pemosisian global) merupakan sistem navigasi satelit global untuk penentuan posisi, kecepatan, arah dan waktu yang berfungsi penuh di dunia saat ini. GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem navigasi berbasis satelit yang terhubung di orbit. Satelit Departemen Pertahanan Amerika Serikat yang pertama diluncurkan pada tahun 1978 dan pada tahun 1994 sudah menggunakan 24 satelit. Untuk mengetahui status seseorang, diperlukan alat yang disediakan nama alat penerima GPS yang tugasnya menerima sinyal yang dikirim oleh satelit (Wildan Habibi, 2011).

GPS menggunakan konstelasi satelit yang mengirimkan koordinat posisi satelit. Perangkat navigasi menerima sinyal dan memrosesnya menjadi koordinat lokasi di bumi. Sinyal GPS dapat digunakan:

1. Penunjuk ke lokasi dimana perangkat berada.
2. Membuat jalan raya.
3. Navigasi atau arah jalan

4. Simpan dan hitung perkiraan jarak dan waktu. Seiring jarak yang ditempuh, waktu tempuh, jalur alternatif dan lain-lain.

Gambar 2.6 adalah GPS Neo 6m yang menunjukkan beberapa komponen yang digunakan dalam pengoperasiannya, yaitu antena, ufl connector, position led indicator, Neo 6m GPS chip, HC24C32 serial EEPROM, 3.3V, pin.



Gambar 2.6 GPS Neo 6m

(Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id/2020/08/tutorial-membuat-gps-tracker.html/>)

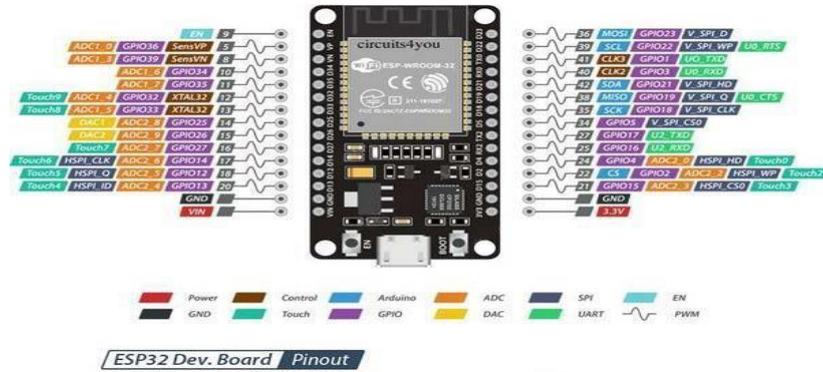
2.8 ESP32

ESP32 adalah sebuah *board* mikrokontroler penerus dari ESP 8266 yang dikembangkan oleh ESPresif systems. ESP32 di rancang untuk sebuah proyek yang membutuhkan konektivitas wifi dan bluethoot. ESP32 memiliki wifi 802.11 b/g/n, bluethoot versi4.2 dan berbagai peripheral lainnya (Agus Wagyaana, 2019).

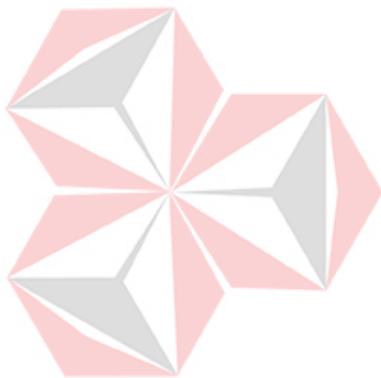
Gambar 2.7 menunjukkan spesifikasi dan fitur fitur ESP32 meliputi sebagai berikut:

1. Microprocessor xtensa *dual-core* 32 bit 1x6
2. *Freq clock up to* 240 Mhz
3. SRAM 520 KB
4. *Flash memory* 4 MB
5. Wifi 11 b/g/n
6. Bluetooth versi 4.2
7. 30 GPIO
8. 15 *pin* ADC
9. 3 SPI *interface*
10. 2 I2C *interface*
11. 16 *pin* PWM

12. 2 pin DAC



Gambar 2.7 ESP32

(Sumber: <https://www.ardutech.com/>)

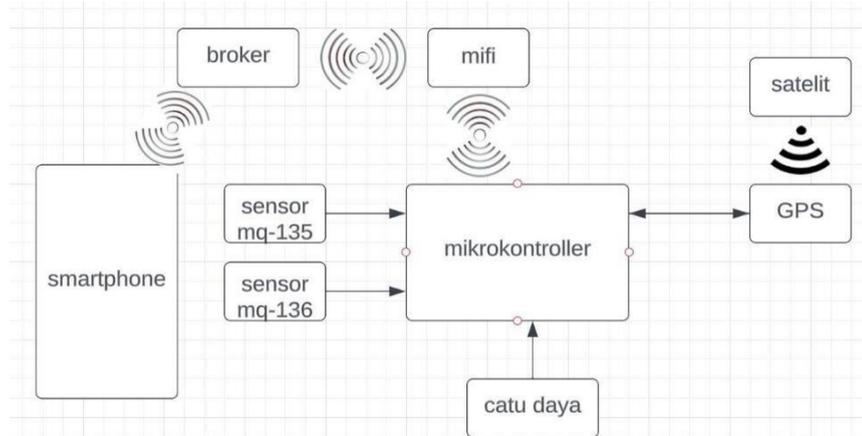
UNIVERSITAS
Dinamika

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Blok Diagram

Perancangan blok diagram sistem ini membutuhkan 1 buah powerbank sebagai catu daya mikrokontroler yang kemudian disalurkan ke sensor MQ-135, sensor MQ-136, dan GPS. Mifi atau modem GSM sebagai koneksi nirkabel untuk menghubungkan antara mikrokontroler dan broker sebagai penampil data pembacaan sensor MQ-135, MQ-136, dan GPS Neo 6m melalui protokol MQTT. Gambar 3.1 merupakan sistem dari blok diagram yang digunakan. Berikut adalah penjelasan rinci alur kerja sistem pada diagram blok diatas:

- 1) Pengumpulan data sensor
 - a. Sensor MQ-135 berfungsi mendeteksi kandungan gas Nitrogen Dioksida.
 - b. Sensor MQ-136 berfungsi mendeteksi kandungan gas Sulfur Dioksida.
- 2) Pemrosesan data mikrokontroler
 - a. Mikrokontroler menerima data dari sensor, kemudian mengubahnya menjadi data digital.
 - b. Mikrokontroler mengambil data lokasi dari modul GPS Neo 6m untuk memberikan data koordinat.
- 3) Pengiriman data Mifi atau modem GSM
Data pembacaan sensor dan GPS Neo 6m dikirim ke broker melalui koneksi internet Mifi atau modem GSM.
- 4) Distribusi data broker
 - a. Broker menerima data dari mikrokontroler dan menyimpan di server.
 - b. Data tersebut dikirim melalui protokol MQTT dan kemudian dapat dilihat oleh pengguna melalui aplikasi yang terdapat pada smartphone
- 5) Tampilan data smartphone
Pengguna dapat mengakses data kualitas udara beserta letak geografis pada aplikasi yang terhubung pada broker.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Gambar 3.2 menunjukkan perancangan perangkat keras yang diperlukan agar mempermudah peletakan pin out di setiap komponen pada ESP32. Pada perancangan perangkat keras diperlukan catu daya berupa power bank dikarenakan perangkat akan di tempatkan pada drone. Berikut daftar komponen beserta penjelasan pin out yang digunakan pada diagram rangkaian:

- a. Power bank: VCC mikrokontroler

Power bank yang digunakan merupakan powerbank yang berkapasitas 2400 mah dan memiliki output 5V, 1.5 A.

- b. Sensor MQ-135: GPIO 32 ADC 1 CH 4

Sensor MQ-135 memiliki 4 pin untuk pengoperasiannya yaitu VCC, ground, analog output, digital output. Dalam perancangan perangkat keras pin sensor MQ-135 yang digunakan hanya VCC, ground dan analog output. Pada Gambar 3.2 penempatan pin VCC dan ground diletakkan pada PCB yang dijumper melalui ESP 32, dan analog output diletakkan pada pin GPIO 32 ADC 1 CH4 pada ESP 32.

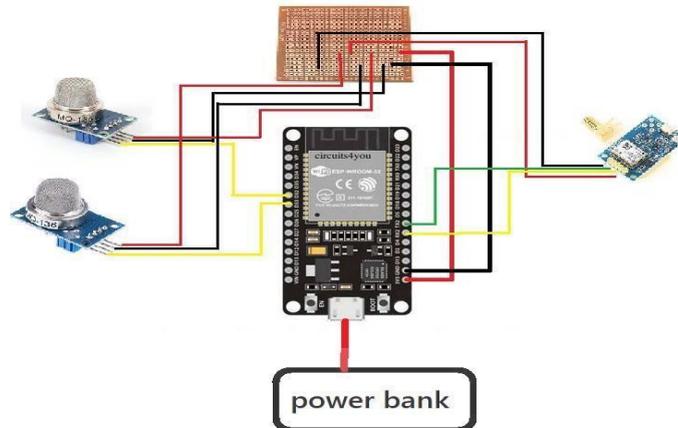
- c. Sensor MQ-136: GPIO 33 ADC1 CH5

Sensor MQ-136 memiliki 4 pin untuk pengoperasiannya yaitu VCC, ground, analog output, digital output. Dalam perancangan perangkat keras pin sensor MQ-136 yang digunakan hanya VCC, ground dan analog output. Pada Gambar 3.2 penempatan pin VCC dan ground di letakkan pada PCB yang dijumper melalui ESP 32, dan analog output di letakkan pada pin GPIO 33 ADC1 CH5

pada ESP 32.

d. GPS Neo 6m: RX (TX2) dan TX (RX2)

GPS Neo 6m memiliki 4 pin untuk pengoperasiannya yaitu VCC, *ground*, RX, TX dan antena. pada gambar 3.2 penempatan VCC dan *ground* diletakkan pada PCB yang telah dijunper melalui ESP 32, untuk RX diletakkan pada pin TX2 ESP 32 dan TX diletakkan pada RX2 ESP 32.



Gambar 3.2 Skematik Rangkaian

3.3 Kalibrasi Sensor MQ-135

Rumus kurva perkiraan yang diperoleh diubah dari nilai R_s/R_o ke ppm sebagai berikut:

$$PPMNO_2 = 86.336 \times (R_s/R_o) - 4.104 \quad (1)$$

PPMNO₂ adalah gas NO₂ dinyatakan konsentrasinya dalam satuan ppm. R_s adalah resistansi sensor MQ-135 bila diukur pada berbagai kondisi udara, dan R_o adalah resistansi sensor MQ-135 pada kondisi udara bersih (6000Ω). Resistansi sensor selama pengukuran (R_s) ditentukan dengan perhitungan:

$$R_s = ((V_c/V_{RL}) - 1)RL \quad (2)$$

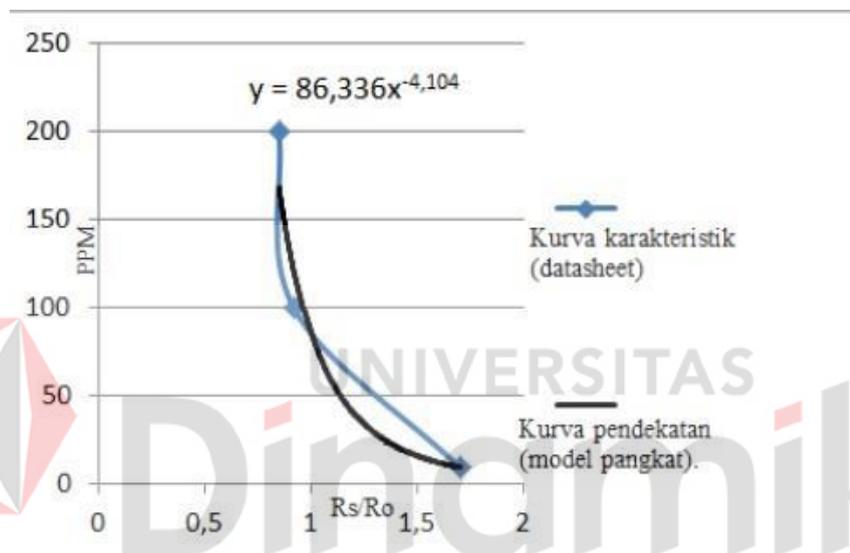
dimana V_c adalah tegangan rangkaian sensor (3.3 V). V_{RL} adalah keluaran RL, adalah tegangan 444 modul sensor rangkaian 4. RL adalah tegangan modul sensor, resistansi keluaran ($10K\Omega$) dari rangkaian.

Pembacaan tegangan keluaran sensor dilakukan melalui ADC internal mikrokontroler Arduino. Karena resolusi ADC ini adalah 10 bit dan tegangan

referensi adalah 3.3 V, dapat digunakan rumus berikut untuk mendapatkan tegangan analog keluaran sensor (VRL):

$$VRL = \left(\frac{\text{nilai sensor}}{1024} \right) \times 3.3 \quad (3)$$

Nilai sensor adalah nilai data digital hasil pembacaan sensor dari mikrokontroler melalui ADC internal (Subagiyo, 2020). Kurva kalibrasi sensor MQ-135 ditunjukkan pada Gambar 3.3. Kurva ini ditentukan dari datasheet untuk sensor MQ-135.



Gambar 3.3 Kurva Kalibrasi Sensor MQ-135

3.4 Kalibrasi sensor MQ – 136

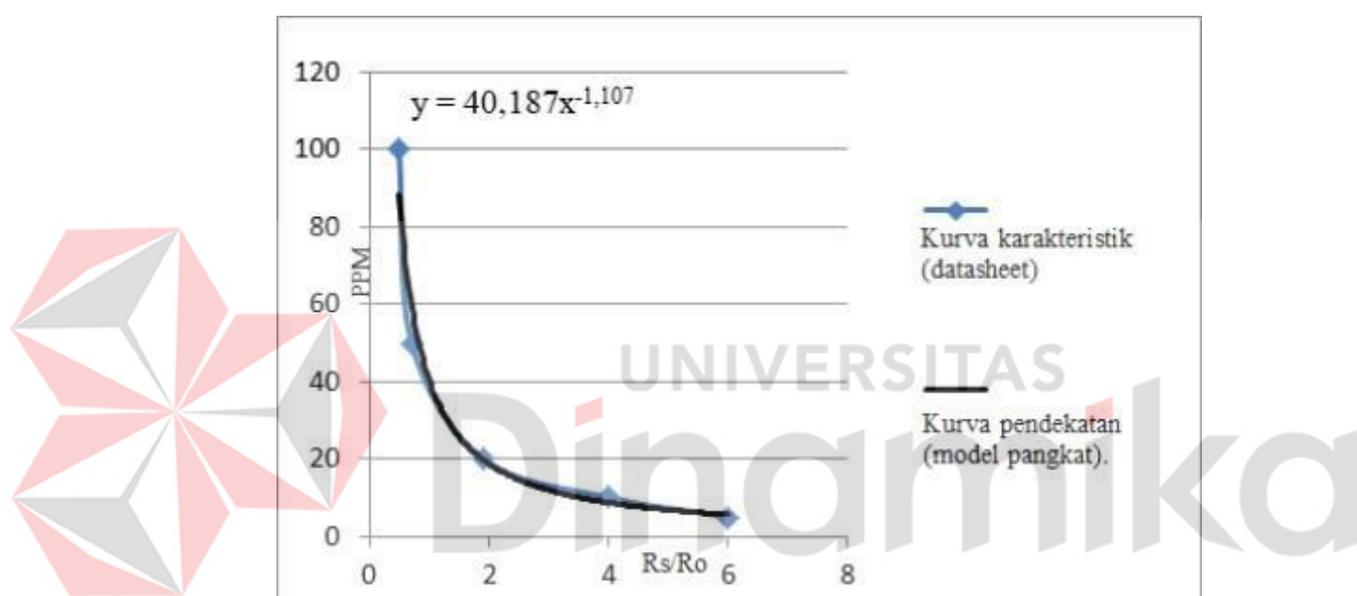
Rumus kurva perkiraan yang diperoleh diubah dari nilai R_s/R_o ke ppm sebagai berikut:

$$PPMSO_2 = 40.187 \times (R_s/R_o) - 1.107 \quad (4)$$

PPMNO₂ adalah gas NO₂ dinyatakan konsentrasinya dalam satuan ppm. R_s adalah resistansi sensor MQ-135 pada bila diukur pada berbagai kondisi udara, dan R_o adalah resistansi sensor MQ-135 sebesar pada kondisi udara bersih (6890 Ω). Resistansi sensor selama pengukuran (R_s) ditentukan dengan perhitungan pada rumus nomor 2, dimana V_c adalah tegangan rangkaian sensor (3.3 V). VRL adalah keluaran RL adalah tegangan 444 modul sensor rangkaian 4. RL adalah tegangan

modul sensor ini adalah resistansi keluaran ($10K\Omega$) dari rangkaian. Pembacaan tegangan keluaran sensor dilakukan melalui ADC internal mikrokontroler Arduino. Karena resolusi ADC ini adalah 10 bit dan tegangan referensi adalah 3.3 V, dapat digunakan rumus nomor 3 untuk mendapatkan tegangan analog keluaran sensor (VRL).

Nilai sensor adalah nilai data digital hasil pembacaan sensor dari mikrokontroler melalui ADC internal (Subagiyo, 2020). Kurva kalibrasi sensor MQ-136 ditunjukkan pada Gambar 3.4. Kurva ini ditentukan dari datasheet untuk sensor MQ-136.



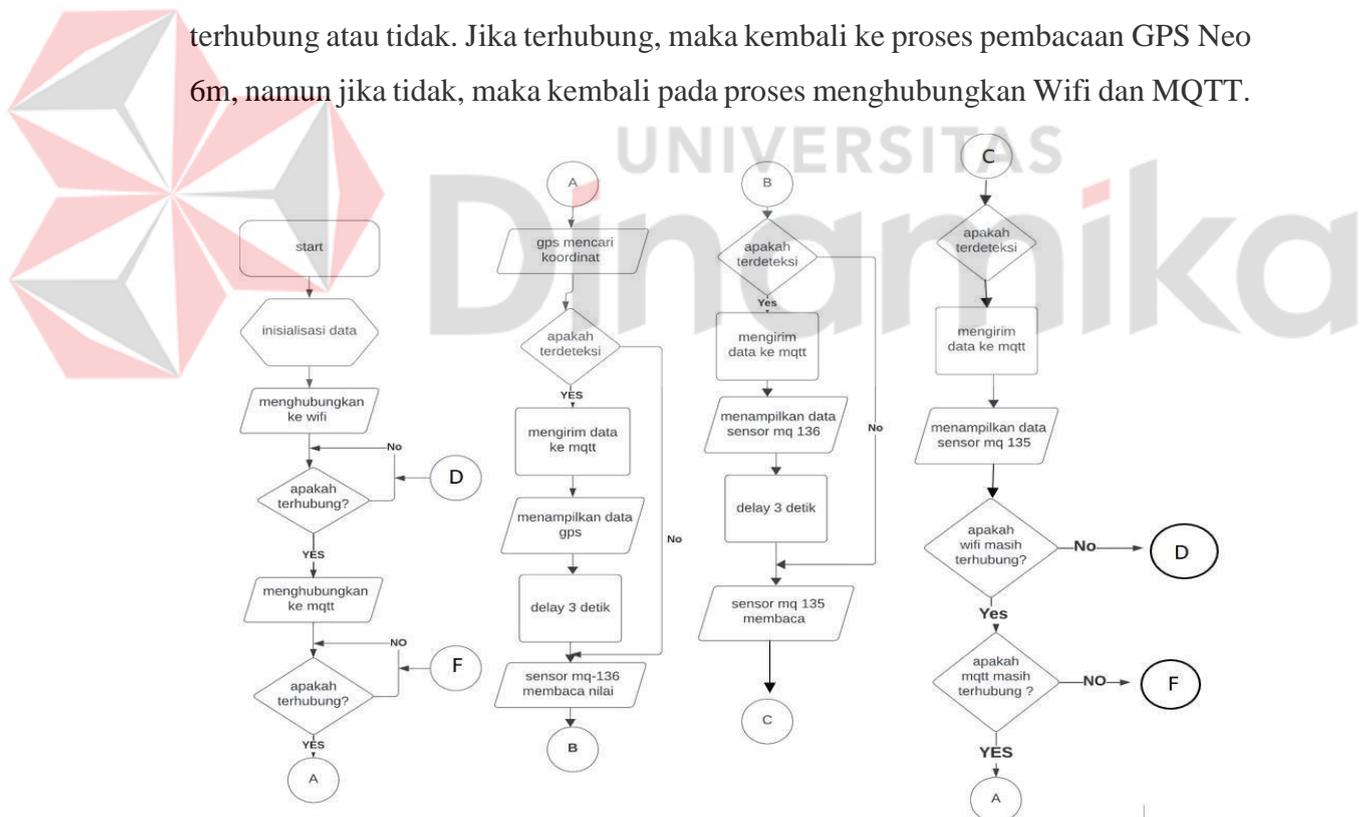
Gambar 3.4 Kurva Kalibrasi Sensor MQ-136

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Flowchart pada Gambar 3.5 menjelaskan alur dari sebuah sistem yang dimuat ke dalam mikrokontroler. Dimulai dengan melakukan inisialisasi data library dan variabel data dari sensor, Wifi, MQTT, dan GPS Neo 6m. Selanjutnya mikrokontroler menghubungkan koneksi internet ke jaringan Wifi dan menghubungkan ke protokol MQTT menggunakan broker “*test.mosquitto.org*”.

Jika tidak terhubung, maka proses selanjutnya tidak dapat berlanjut dikarenakan mikrokontroler berproses terus menerus untuk menghubungkan koneksi Wifi. Namun jika berhasil terkoneksi dengan Wifi proses selanjutnya adalah pembacaan GPS. Jika terbaca, maka lanjut ke proses pengiriman data ke

MQTT yang ditampilkan ke pengguna melalui aplikasi yang ada pada smartphone dan melanjutkan ke proses berikutnya dengan delay 3 detik. Namun jika GPS tidak dapat membaca, maka proses pembacaan GPS Neo 6m ditinggalkan dan berpindah ke proses pembacaan sensor MQ-136. Selanjutnya adalah pembacaan data sensor MQ-136, jika sensor dapat membaca data, maka proses selanjutnya adalah mengirimkan data ke MQTT dan dan menampilkannya ke pengguna, setelah itu lanjut ke proses berikutnya dengan delay 3 detik. Jika sensor tidak dapat membaca data, maka proses pengiriman data ke MQTT dilewati dan langsung menuju proses berikutnya. Selanjutnya adalah proses pembacaan sensor MQ-135, jika sensor dapat membaca, maka proses selanjutnya adalah mengirimkan data ke MQTT dan ditampilkan ke pengguna. Jika sensor tidak dapat terhubung, maka proses pengiriman data dilewatkan dan dilanjutkan ke proses selanjutnya. Kemudian proses selanjutnya adalah pengecekan apakah koneksi Wifi dan MQTT masih terhubung atau tidak. Jika terhubung, maka kembali ke proses pembacaan GPS Neo 6m, namun jika tidak, maka kembali pada proses menghubungkan Wifi dan MQTT.



Gambar 3.5 Flowchart Sistem

3.6 Perangkat Mekanik

Perancangan mekanik pada penelitian ini terdapat 2 bagian, yaitu meliputi

drone pada Gambar 3.6 dan kotak penyimpanan mikrokontroler Gambar 3.7.

a. Drone

Drone berfungsi sebagai alat angkut kotak yang berisi mikrokontroler dalam hal ini diperlukan *handstrap action* dan *adapter action cam* sebagai alat pengikat kotak penyimpanan pada drone.



Gambar 3.6 Perancangan Mekanik Drone

b. Kotak penyimpanan mikrokontroler

Perancangan kotak penyimpanan mikrokontroler dibuat agar komponen elektronika dapat tersusun dengan rapi dan efektif, ketika diangkut dengan drone. Dalam hal ini terdapat beberapa komponen yang terdapat pada kotak penyimpanan yaitu:

1. ESP32
2. Sensor MQ-135
3. Sensor MQ-136
4. GPS Neo 6m
5. Modem GSM atau Mifi
6. Power bank



Gambar 3.7 Perancangan Kotak Penyimpanan Mikrokontroler



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dalam Bab IV ini merupakan hasil yang didapat dari pengujian setiap parameter pengujian. Pengujian ini berguna untuk menganalisis apakah sistem berjalan dengan baik atau tidak.

4.1 Pengujian Sensor MQ-135

4.1.1 Tujuan Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor agar dapat digunakan untuk mendeteksi polutan NO₂.

4.1.2 Alat dan Bahan Pengujian Sensor MQ-135

Alat dan bahan sebagai berikut:

1. Kabel USB mikro
2. Sensor MQ-135
3. Kabel jumper
4. ESP32
5. Laptop
6. Smartphone
7. Aplikasi IoT MQTT panel
8. AQMS
9. Powerbank
10. Modem GSM
11. Kotak penyimpanan mikrokontroler

4.1.3 Prosedur Pengujian Sensor MQ-135

Berikut prosedur dalam pengujian sensor MQ-135:

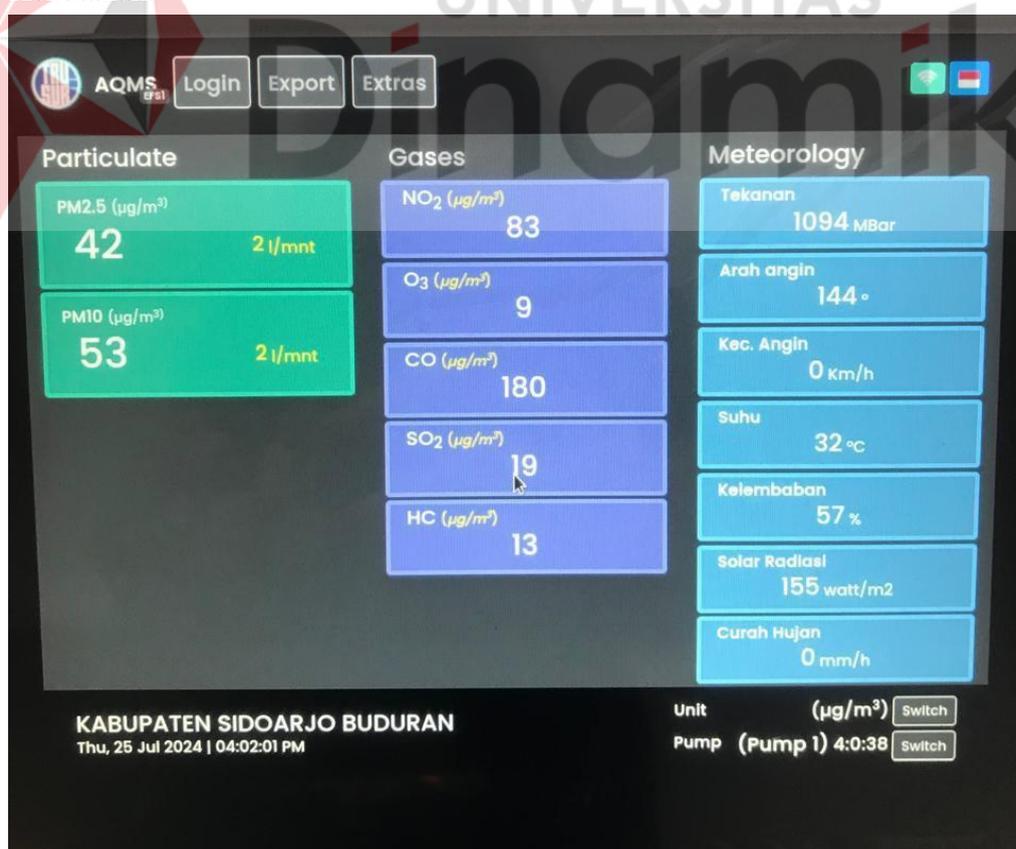
1. Menghubungkan kabel USB mikro ke laptop dan ESP32.
2. Menghubungkan sensor MQ-135 dengan ESP32 menggunakan kabel jumper.
3. Mengupload program pengujian sensor MQ-135.
4. Memindahkan kabel USB mikro yang semula dari laptop ke power bank

sebagai catu daya ESP32.

5. Mengoneksikan jaringan ESP32 ke modem GSM.
6. Memeriksa apakah MQTT sudah terhubung.
7. Menaruh kotak penyimpanan mikrokontroler dan sensor MQ-135 di dekat stasiun AQMS.
8. Membuka aplikasi aplikasi IoT MQTT panel.

4.1.4 Hasil Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan dengan cara meletakkan sensor di dekat stasiun pemantau kualitas udara yang berada pada Dinas Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Kabupaten Sidoarjo. Hasil pembacaan data sensor MQ-35 ditampilkan melalui aplikasi IoT MQTT panel pada Gambar 4.1. Perbandingan hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan data dari stasiun pemantau kualitas udara ambien secara otomatis, kontinyu dan real time atau bisa disebut AQMS pada Gambar 4.1 yang dimiliki Dinas Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Dan Kehutanan.



Gambar 4.1 AQMS NO2

Proses pengambilan data pembacaan sensor MQ-135 menggunakan metode pengambilan sampel data dalam waktu 30 menit dengan delay 15 detik per data, kemudian dilakukan proses pemilihan data yang mendekati dengan nilai AQMS. Untuk membandingkan hasil pembacaan sensor MQ-135 dengan nilai AQMS diperlukan mengkonversi satuan PPM (*part per million*) yang dimiliki oleh sensor MQ-135 ke dalam bentuk satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per kubik) yang dimiliki oleh AQMS. Berikut perhitungan konversi yang terdapat pada pedoman *Environmental Protection Agency* dan konsep dasar volume molar gas ideal (EPA, 2023; smith 2022):

$$V_m = \frac{RT}{P} \quad (5)$$

Keterangan:

- R: konstanta gas ideal yaitu $0.0821 \text{ L atm / (K mol)}$
- T: suhu dalam Kelvin (305.15 K untuk 32°C berdasarkan AQMS)
- P: tekanan dalam atm (1 atm)

Perhitungan:

$$V_m = \frac{0.0821 \times 305.15}{1} = 25.07 \text{ L/mol}$$

Setelah mengetahui nilai V_m dari rumus 5 untuk suhu pada pembacaan AQMS dilanjutkan untuk mengonversi ke dalam bentuk PPM menggunakan rumus 6:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{PPM} \times M_w}{V_m} \quad (6)$$

Keterangan:

- $\mu\text{g}/\text{m}^3$: konsentrasi polutan
- V_m : volume Molar
- M_w : Massa Molar (46.01 untuk NO_2)

Perhitungan:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{7.5 \text{ ppm} \times 46.01}{25.07 \text{ L/mol}} = 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Sedangkan untuk melihat tingkat persentase error pada sensor MQ-135, nilai selisih yang digunakan adalah nilai error relatif, kemudian di rata-rata dari total 30 data. Nilai absolut dibagi dengan nilai referensi, kemudian dikalikan dengan 100

untuk mendapatkan persentase (Montgpmery & runger, 2010). Hasil perhitungan konversi dan rata-rata persentase error ditunjukkan pada Tabel 4.1. Rumus perhitungan nomor 7 adalah nilai selisih error relatif dan rata-rata tingkat persentase sebagai berikut:

$$Error\ relatif = \left| \frac{nilai\ yang\ diukur - nilai\ referensi}{nilai\ referensi} \right| \times 100 \quad (7)$$

Keterangan:

- Nilai yang diukur: sensor MQ-135
- Nilai referensi: AQMS

Perhitungan:

$$Error\ relatif = \left| \frac{13.7 - 12}{12} \right| \times 100 = 16.7 \%$$

$$Rata - rata = \frac{\sum error\ relatif}{jumlah\ data} = \frac{16.7 + 7.2 + 4.3 + 4.2}{4} = 8.1 \%$$

Tabel 4.1 Pengujian Sensor MQ-135

Pukul	MQ-135 (ppm)	MQ-135 Konversi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error %
03.58	7.5	14	12	16.7
03.59	42.1	77	83	7.2
04.00	24.4	45	47	4.3
04.01	37.2	68	71	4.2
04.02	42.1	77	83	7.2
04.03	23.4	43	47	8.5
04.04	37.8	69	71	2.8
04.05	45.3	83	83	0.0
04.06	32.9	60	59	1.7
04.07	12.1	22	24	8.3
04.08	22.0	40	47	14.9
04.09	38.1	70	59	18.6
04.10	19.7	36	36	0.0
04.11	8.0	15	12	25.0
04.12	37.2	68	59	15.3
04.13	16.2	30	36	16.7
04.14	8.6	16	12	33.3
04.15	16.2	30	36	16.7
04.16	19.7	36	36	0.0
04.17	7.9	15	12	25.0
04.18	13.7	25	24	4.2
04.19	19.7	36	36	0.0
04.20	8.0	15	12	25.0

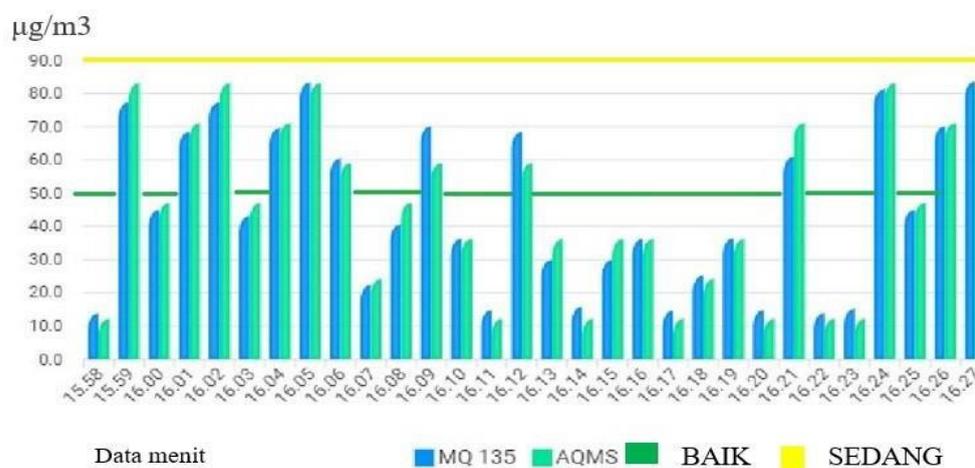
Pukul	MQ-135 (ppm)	MQ-135 Konversi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error %
04.21	33.1	61	71	14.1
04.22	7.5	14	12	16.7
04.23	8.2	15	12	25.0
04.24	44.2	81	83	2.4
04.25	24.4	45	47	4.3
04.26	38.1	70	71	1.4
04.27	45.5	84	83	1.2
Rata-rata				10.7



Gambar 4.2 Dashoard IoT Sensor MQ-135

4.1.5 Analisis Data Pengujian Sensor MQ-135

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan nilai selisih error relatif yang didapat antara sensor MQ-135 dan AQMS adalah 10.7 %. Dari masing-masing hasil pembacaan antara sensor MQ-135 dan AQMS mendapat perbedaan yang tidak signifikan. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) memiliki beberapa kategori yaitu 0 – 50 tergolong baik, 51 – 100 tergolong sedang. Hasil dari pembacaan antara sensor MQ-135 dan AQMS rata-rata masih di bawah 50 ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berikut grafik yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor MQ-135 dan AQMS terhadap Indeks Pencemaran Udara (ISPU):



Gambar 4.3 Grafik AQMS dan Sensor MQ-135

4.2 Pengujian Sensor MQ-136

4.2.1 Tujuan Pengujian Sensor MQ-136

Pengujian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor agar dapat digunakan untuk mendeteksi polutan Nitrogen Dioksida (NO₂).

4.2.2 Alat dan Bahan Pengujian Sensor MQ-136

Alat dan bahan sebagai berikut:

1. Kabel USB mikro
2. Sensor MQ-136
3. Kabel jumper
4. ESP32
5. Laptop
6. Smartphone
7. Aplikasi IoT MQTT panel
8. AQMS
9. Powerbank
10. Modem GSM
11. Kotak penyimpanan mikrokontroler

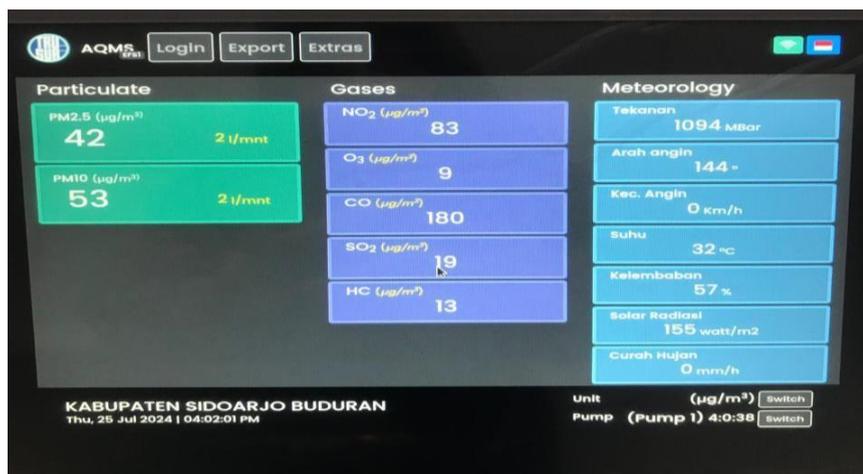
4.2.3 Prosedur Pengujian Sensor MQ-136

Berikut prosedur dalam pengujian sensor MQ-136:

1. Menghubungkan kabel USB mikro ke laptop dan ESP32.
2. Menghubungkan sensor MQ-136 dengan ESP32 menggunakan kabel jumper.
3. Mengupload program pengujian sensor MQ-136.
4. Memindahkan kabel USB mikro yang semula dari laptop ke power bank sebagai catu daya ESP32.
5. Mengoneksikan jaringan ESP32 ke modem GSM.
6. Memeriksa apakah MQTT sudah terhubung.
7. Menaruh kotak penyimpanan mikrokontroler dan sensor MQ-136 di dekat stasiun AQMS.
8. Membuka aplikasi aplikasi IoT MQTT panel.

4.2.4 Hasil Pengujian Sensor MQ-136

Pengujian sensor MQ-136 dilakukan dengan cara meletakkan sensor di dekat stasiun pemantau kualitas udara yang berada pada Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kabupaten Sidoarjo. Hasil pembacaan data sensor MQ-136 ditampilkan melalui aplikasi IoT MQTT panel pada Gambar 4.4. Perbandingan hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan data dari stasiun pemantau kualitas udara ambien secara otomatis, kontinyu dan *realtime* atau bisa disebut AQMS pada Gambar 4.4 yang dimiliki Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Dan Kehutanan.



Gambar 4.4 AQMS SO₂

Proses pengambilan data pembacaan sensor MQ-136 menggunakan metode pengambilan sampel data dalam waktu 30 menit dengan *delay* 15 detik per data, kemudian dilakukan proses pemilihan data yang mendekati dengan nilai AQMS. Untuk membandingkan hasil pembacaan sensor MQ-136 dengan nilai AQMS diperlukan mengonversi satuan PPM (*part per million*) yang dimiliki oleh sensor MQ-136 ke dalam bentuk satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per kubik) yang dimiliki oleh AQMS. Berikut perhitungan konversi yang terdapat pada pedoman *Environmental Protection Agency* dan konsep dasar volume molar gas ideal (EPA, 2023; smith 2022) menggunakan rumus nomor 5:

$$Vm = \frac{RT}{P}$$

Setelah mengetahui nilai VM dari rumus 5 untuk suhu pada pembacaan AQMS dilanjutkan untuk mengkonversi ke dalam bentuk PPM menggunakan rumus 6:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{PPM} \times M_w}{Vm}$$

Keterangan:

- $\mu\text{g}/\text{m}^3$: konsentrasi polutan
- Vm: volume Molar
- Mw: Massa Molar (64.06 untuk SO₂)

Perhitungan:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{7.86 \text{ ppm} \times 64.06}{25.07 \text{ L/mol}} = 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Sedangkan untuk melihat tingkat persentase error pada sensor MQ-136 nilai selisih yang digunakan adalah nilai error relatif, kemudian di rata-rata dari total 30 data. Dimana nilai absolut dibagi dengan nilai referensi, kemudian dikalikan dengan 100 untuk mendapatkan persentase (Montgpmery & runger, 2010). Hasil perhitungan konversi dan rata-rata persentase error ditunjukkan pada Tabel 4.2. Perhitungan nilai selisih error relatif dan rata-rata tingkat persentase sebagai berikut:

$$\text{Error relatif} = \left| \frac{\text{nilai yang diukur} - \text{nilai referensi}}{\text{nilai referensi}} \right| \times 100$$

Keterangan:

- Nilai yang diukur: sensor MQ-136
- Nilai referensi: AQMS

Perhitungan:

$$Error\ relatif = \left| \frac{20 - 19}{19} \right| \times 100 = 5.7\%$$

$$Rata - rata = \frac{\sum error\ relatif}{jumlah\ data} = \frac{5.7 + 14.6 + 15.4 + 21.1}{4} = 14.2\%$$

Tabel 4.2 Pengujian Sensor MQ-136

Pukul	MQ-136 (ppm)	MQ-136 Konversi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error %
03.58	7.86	20	19	5.3
03.59	6.35	16	19	15.8
04.00	6.29	16	19	15.8
04.01	5.86	15	19	21.1
04.02	6.35	16	19	15.8
04.03	6.97	18	19	5.3
04.04	6.11	16	19	15.8
04.05	6.25	16	18	11.1
04.06	5.94	15	18	16.7
04.07	5.83	15	18	16.7
04.08	6.33	16	18	11.1
04.09	6.97	18	18	0.0
04.10	7.66	20	18	11.1
04.11	6.44	16	18	11.1
04.12	6.21	16	18	11.1
04.13	7.15	18	19	5.3
04.14	6.11	16	19	15.8
04.15	6.97	18	19	5.3
04.16	7.86	20	19	5.3
04.17	6.11	16	19	15.8
04.18	6.77	17	19	10.5
04.19	6.88	18	18	0.0
04.20	6.21	16	19	15.8
04.21	7.14	18	18	0.0
04.22	7.12	18	18	0.0
04.23	6.82	17	18	5.6
04.24	6.47	17	18	5.6
04.25	6.33	16	18	11.1
04.26	6.35	16	18	11.1
04.27	6.25	16	19	15.8
Rata-rata				10.2



Gambar 4.5 Dashboard IoT Sensor MQ-136

4.2.5 Analisis Data Pengujian Sensor MQ-136

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan nilai selisih error relatif yang didapat antara sensor MQ-136 dan AQMS adalah 10.2 %. Dari masing-masing hasil pembacaan antara sensor MQ-136 dan AQMS mendapat perbedaan yang tidak signifikan. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) memiliki beberapa kategori yaitu 0 – 50 tergolong baik, 51 – 100 tergolong sedang. Hasil dari pembacaan antara sensor MQ-136 dan AQMS secara keseluruhan hanya berkisar pada nilai 16 – 20 ditunjukkan pada Gambar 4.6. Berikut grafik yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor MQ-136 dan AQMS terhadap Indeks Pencemaran Udara (ISPU).



Gambar 4.6 Grafik SO2

4.3 Pengujian GPS

4.3.1 Tujuan Pengujian GPS

Pengujian GPS berguna untuk mengetahui tingkat akurasi sistem GPS yang dibuat, yang dibandingkan dengan letak geografis sebenarnya.

4.3.2 Alat dan Bahan Pengujian GPS

Adapun alat dan bahan sebagai berikut:

1. Kabel USB mikro
2. ESP 2
3. Kabel jumper
4. GPS Neo 6m
5. Kotak hitam
6. Drone
7. Hanstrap
8. Powerbank
9. IoT MQTT Panel
10. Smartphone
11. GPS smartphone

4.3.3 Prosedur Pengujian GPS

Penjelasan prosedur pengujian GPS adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan ESP32 dengan laptop menggunakan kabel USB mikro.
2. Menyambungkan ESP 2 dengan GPS Neo 6m menggunakan kabel jumper.
3. Mengupload program pengujian GPS.
4. Menghubungkan ESP32 dengan powerbank menggunakan kabel USB mikro.
5. Menyalakan drone dan melakukan kalibrasi drone.
6. Meletakkan kotak hitam pada drone dengan menggunakan handstrap.
7. Menyalakan smartphone untuk memeriksa koneksi IoT pada aplikasi IoT MQTT Panel, dan melihat lokasi geografis pada GPS smartphone.

4.3.4 Hasil Pengujian GPS

Pengujian GPS dilakukan dengan cara melakukan menerbangkan drone dengan ketinggian 13 hingga 15 meter di kawasan stasiun pemantau kualitas udara yang berada pada Jl. Siwalanpanji, Buduran Kabupaten Sidoarjo. Hasil pembacaan data sensor GPS ditampilkan melalui aplikasi IoT MQTT panel, ditunjukkan pada Gambar 4.7, yaitu perbandingan hasil pembacaan GPS dibandingkan dengan data GPS smartphone. Untuk melihat hasil perbandingan dari GPS, maka diperlukan beberapa tahapan yaitu mencari selisih derajat latitude pada rumus 8 dan longitude derajat (rumus nomor 9), selisih meter dari selisih derajat pada rumus nomor 10, jarak Euclidean pada rumus 11, rata-rata jarak) pada rumus 12 (NOAA, 2023). Dalam tahapan tersebut terdapat masing masing rumus yang digunakan sebagai berikut:

1. Selisih derajat latitude dan longitude:

$$\text{Selisih latitude : } \Delta\text{Lat} = \text{LatGPS} - \text{Latsmartphone} \quad (8)$$

Keterangan:

- ΔLat : selisih latitude sistem GPS dan smartphone
- LatGPS : latitude sistem GPS
- Latsmartphone : latitude smartphone

Perhitungan:

$$\Delta\text{Lat} = -7.434103 - (-7.434144) = 0.000041$$

$$\text{Selisih longitude : } \Delta\text{Long} = \text{LongGPS} - \text{Longsmartphone} \quad (9)$$

Keterangan:

- Δlong : selisih longitude sistem GPS dan smartphone
- LongGPS: longitude sistem GPS
- Longsmartphone: longitude smartphone

Perhitungan :

$$\Delta\text{long} = 112.726675 - 112.726701 = -0.000026$$

2. Selisih meter dari selisih derajat

$$\text{Selisih latitude : } \Delta\text{latmeter} = \Delta\text{Lat} \times 111320 \quad (10)$$

Keterangan:

- $\Delta\text{latmeter}$: Selisih latitude dalam satuan meter
- ΔLat : Selisih latitude dalam derajat
- 111320: konstanta konversi jarak dalam meter per 1 derajat latitude = 111.32 km.

Perhitungan:

$$\Delta\text{latmeter} = -0.000041 \times 111320 = -4.56312$$

$$\text{Selisih longitude : } \Delta\text{longmeter} = \Delta\text{long} \times (111320 \times \cos\text{latratarata} - \text{rata})$$

Keterangan:

- $\Delta\text{longmeter}$: selisih longitude dalam satuan meter
- Δlong : selisih longitude dalam derajat
- 11320: konstanta konversi jarak dalam meter per 1 derajat latitude = 111.32km.

$\text{Cos}(\text{latratarata})$: cosinus dari latitude rata-rata digunakan untuk perhitungan jarak longitude berdasarkan latitude

$$\text{latratarata} = \text{latGPS} + \frac{\text{Latsmartphone}}{2}$$

latratarata: rata rata dari latitude GPS latitude smarthphone

$$latratarata = \frac{7.434144 + (-7.434103)}{2} = \frac{0.000041}{2} = 0.0000205$$

$$\begin{aligned} \Delta longmeter &= 0.000026 \times (111320 \times \cos(-7.4341235 \times 180\pi)) \\ &= 0.000026 \times (111320 \times 0.992558) = 2.87 \end{aligned}$$

3. Jarak euclidean

$$\text{Jarak euclidean : jarakeuclidean} = \sqrt{(\Delta Lat_{meter})^2 + (\Delta Long_{meter})^2} \quad (11)$$

Keterangan:

- jarak euclidean: jarak antara 2 titik dalam meter
- $\Delta latmeter$: selisih latitude dalam meter
- $\Delta longmeter$: selisih longitude dalam meter

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Jarakeuclidean} &= \sqrt{(-4.56312)^2 + (2.87696)^2} \\ &= \sqrt{20.82183 + 8.27588} = \sqrt{29.09771} = 5.39516 \end{aligned}$$

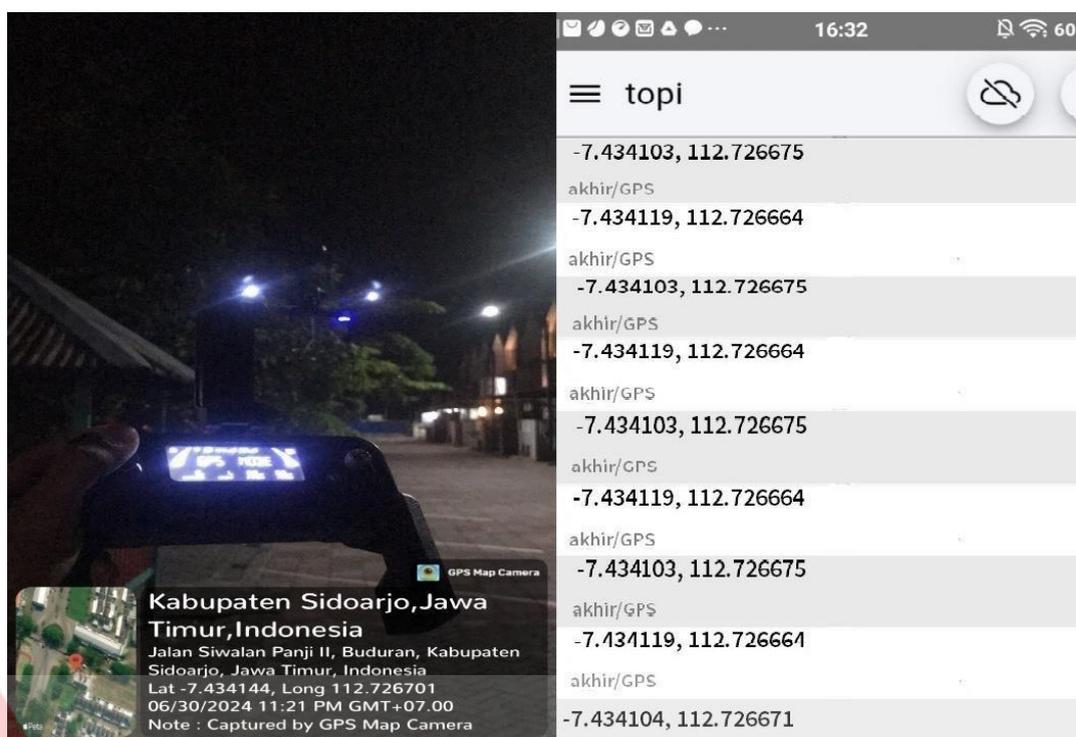
$$4. \text{ Rata rata jarak euclidean meter : ratarata(jarakeuclidean)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{JarakEuclidean}_i}{n} \quad (12)$$

Keterangan:

- Ratarata(jarakeuclidean): rata rata jarak dalam meter
- $\sum \text{jarakeuclidean}$: jumlah total jarak untuk semua pasang data
- n: jumlah pasangan data

Perhitungan:

$$\text{ratarata(jarakeuclidean)} = \frac{5.39516}{1} = 5.39516$$



Gambar 4.7 GPS Smartphone (Photo GPS) dan Dashbord IoT GPS

Data pada Tabel 4.3 menunjukkan adanya perubahan dari setiap data yang dibaca oleh GPS. Hal ini disebabkan oleh drone yang beberapa kali harus melakukan penyesuaian penerbangan. Sistem GPS melakukan pembacaan dengan delay 3 detik di setiap datanya dan mengirimkan ke IoT MQTT panel, kemudian data tersebut dibandingkan dengan GPS yang ada di smartphone untuk melihat akurasi data.

Tabel 4.3 Pengujian GPS

No	Latitude GPS	Longitude GPS	Latitude Aktual	Longitude Aktual	Jarak (Euclidean) (meter)
1	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
2	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
3	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
4	-7.434104	112.726671	-7.434144	112.726701	5.61
5	-7.434104	112.726671	-7.434144	112.726701	5.61
6	-7.434104	112.726671	-7.434144	112.726701	5.61
7	-7.434119	112.726664	-7.434144	112.726701	4.84
8	-7.434119	112.726664	-7.434144	112.726701	4.84
9	-7.434183	112.726666	-7.434144	112.726701	5.57
10	-7.434183	112.726666	-7.434144	112.726701	5.57
11	-7.434183	112.726666	-7.434144	112.726701	5.57

No	Latitude GPS	Longitude GPS	Latitude Aktual	Longitude Aktual	Jarak (Euclidean) (meter)
12	-7.434183	112.726666	-7.434144	112.726701	5.57
13	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
14	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
15	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
16	-7.434103	112.726675	-7.434144	112.726701	5.78
17	-7.434195	112.726672	-7.434144	112.726701	6.40
18	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
19	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
20	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
21	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
22	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
23	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
24	-7.434213	112.726663	-7.434144	112.726701	8.74
25	-7.434156	112.726733	-7.434144	112.726701	3.68
26	-7.434157	112.726727	-7.434144	112.726701	3.31
27	-7.434157	112.726727	-7.434144	112.726701	3.31
28	-7.434185	112.726701	-7.434144	112.726701	4.56
29	-7.434185	112.726701	-7.434144	112.726701	4.56
30	-7.434185	112.726701	-7.434144	112.726701	4.56
Rata-rata					5.43

4.3.5 Analisis Data Pengujian GPS

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa pengambilan sampel data sebanyak 30 kali. Perubahan data latitude dan longitude tidak cukup signifikan dikarenakan jarak maksimal antara data sistem GPS yang di buat dengan GPS yang ada di smartphone menghasilkan selisih dengan jarak maksimal 8.74 meter, dan mendapat rata-rata dari selisih jarak yang di hasilkan yaitu 5.43 meter.

4.4 Pengujian IoT

4.4.1 Tujuan Pengujian IoT

Pengujian IoT bertujuan untuk mengetahui sistem transfer data dari ESP32 menuju ke user melalui protokol MQTT yang ditampilkan melalui aplikasi IoT MQTT panel pada smartphone.

4.4.2 Alat dan Bahan Pengujian IoT

Adapun alat dan bahan sebagai berikut:

1. Kabel USB mikro
2. Kabel jumper

3. ESP32
4. Sensor MQ-135
5. Laptop
6. Sensor MQ-136
7. GPS Neo 6m
8. Smartphone
9. Aplikasi IoT MQTT panel
10. Arduino ide

4.4.3 Prosedur Pengujian IoT

Prosedur pengujian IoT adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan sensor MQ-135, sensor MQ-136, GPS Neo 6m, dan ESP32 menggunakan kabel jumper.
2. Menghubungkan ESP32 dan laptop menggunakan kabel jumper.
3. Menyalakan smartphone dan membuka aplikasi IoT MQTT panel.
4. Mengupload program yang telah dibuat.
5. Melihat sistem transfer data.

4.4.4 Hasil Pengujian IoT

Pengujian sistem IoT dilakukan dengan cara melihat data serial monitor dari data yang dipublish sebagai publisher yang terdapat pada Arduino Ide dan aplikasi IoT MQTT panel sebagai subriber yang ada pada smartphone. Data yang diambil sebagai bahan pengujian publisher/subriber yaitu 30 data yang dipublish terbagi menjadi 3 yaitu sensor MQ-135, sensor MQ-136, GPS Neo 6m. Adapun rumus untuk menghitung tingkat akurasi sebagai berikut:

$$\text{Tingkat akurasi} = \frac{\text{data terkirim}}{\text{jumlah data}} \times 100 \quad (13)$$

Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil sistem integrasi IoT. Adapun penilaian yang digunakan untuk pembuatan tabel yaitu setiap data yang berhasil terkirim diberi nilai 100, dan jika tidak terkirim, maka di beri nilai 0. Hasil pengiriman data setiap sesi secara keseluruhan dibagi 3. Jika dalam 1 sesi 3 data berhasil, maka 1 sesi bernilai 100. Jika dalam 1 sesi terdapat data yang tidak terkirim, maka total

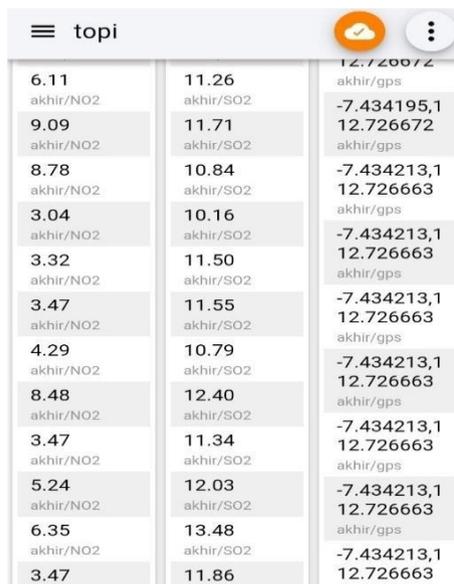
yang diperoleh dibagi 3. Hasil dari pengujian secara menyeluruh, kemudian dihitung menggunakan rumus 13.

Tabel 4.4 Pengujian IoT

No	Pengujian IoT			Rata-rata Hasil (%)
	Sensor MQ-135	Sensor MQ-136	GPS	
		Status		
1	100	100	100	100 %
2	100	100	100	100 %
3	100	100	100	100 %
4	100	100	100	100 %
5	100	100	100	100 %
6	100	100	100	100 %
7	100	100	100	100 %
8	100	100	100	100 %
9	100	100	100	100 %
10	100	100	100	100 %
11	100	100	100	100 %
12	100	100	100	100 %
13	100	100	100	100 %
14	100	100	100	100 %
15	100	100	100	100 %
16	100	100	100	100 %
17	100	100	100	100 %
18	100	100	100	100 %
19	100	100	100	100 %
20	100	100	100	100 %
21	100	100	100	100 %
22	100	100	100	100 %
23	100	100	100	100 %
24	100	100	100	100 %
25	100	100	100	100 %
26	100	100	100	100 %
27	100	100	100	100 %
28	100	100	100	100 %
29	100	100	100	100 %
30	100	100	100	100 %
Rata-rata total				100 %

4.4.5 Analisis Data Pengujian IoT

Berdasarkan hasil pengujian sistem integrasi IoT antar perangkat berjalan dengan baik dengan tingkat akurasi 100 %.



6.11 akhir/NO2	11.26 akhir/SO2	12.720072 akhir/gps
9.09 akhir/NO2	11.71 akhir/SO2	-7.434195,1 12.726672 akhir/gps
8.78 akhir/NO2	10.84 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
3.04 akhir/NO2	10.16 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
3.32 akhir/NO2	11.50 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
3.47 akhir/NO2	11.55 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
4.29 akhir/NO2	10.79 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
8.48 akhir/NO2	12.40 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
3.47 akhir/NO2	11.34 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
5.24 akhir/NO2	12.03 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
6.35 akhir/NO2	13.48 akhir/SO2	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps
3.47	11.86	-7.434213,1 12.726663 akhir/gps

Gambar 4.8 Integrasi Sistem IoT

4.5 Pengujian Drone

4.5.1 Tujuan Pengujian Drone

Pengujian drone berguna untuk mengetahui kemampuan drone sebagai alat angkut alat pemantau kualitas udara.

4.5.2 Alat dan Bahan Pengujian Drone

Adapun alat dan bahan sebagai berikut:

1. Drone
2. Kotak penyimpanan mikrokontroler
3. Hanstrap
4. Smartphone

4.5.3 Prosedur Pengujian Drone

Prosedur pengujian drone adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan hanstrap yang terpasang kotak penyimpanan mikrokontroler.
2. Menyalakan drone dan melakukan kalibrasi.
3. Membuka aplikasi drone pada smartphone.

4.5.4 Hasil Pengujian Drone

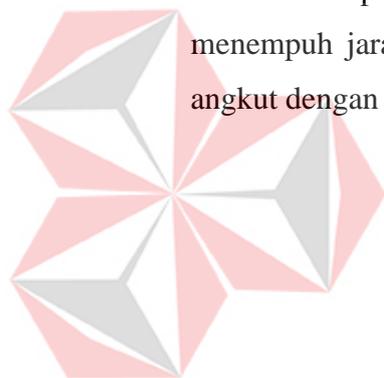
Berdasarkan hasil pengujian di lapangan drone hanya mampu menempuh jarak terbang horizontal 50 meter dan waktu penerbangan maksimal hanya 5 menit.

Tabel 4.5 Pengujian Drone

No	Jarak / Horizontal (meter)	Keterangan
1	10	berhasil
2	20	berhasil
3	30	Berhasil
4	40	Berhasil
5	50	berhasil
6	60	Drone kembali

4.5.5 Analisis Data Pengujian Drone

Hasil pengujian pada Tabel 4.5 mendapati hasil bahwa drone hanya mampu menempuh jarak 50 meter. Dalam hal ini drone mengalami kendala pada daya angkut dengan total kotak penyimpanan kurang lebih 400 gram.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada keseluruhan sistem yang dibuat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

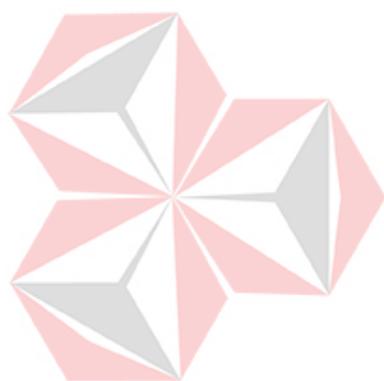
1. Monitoring sistem: sensor MQ-135 dan sensor MQ-136 memerlukan data pembanding yaitu menggunakan data yang diperoleh dari AQMS Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan kabupaten Sidoarjo. AQMS adalah sebuah sistem pemantau kualitas udara udara ambien secara otomatis, kontinyu dan real time. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan cara meletakkan sensor MQ-135 dan MQ-136 di dekat sistem AQMS Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kabupaten Sidoarjo, sensor MQ - 135 mendapat nilai rata rata error 10.7 %, sensor MQ -136 mendapat nilai rata rata error 10.2 %, sedangkan sistem integrasi IoT yang digunakan sebagai pembacaan data berjalan dengan baik dengan memiliki tingkat akurasi 100%.
2. GPS: untuk pengujian GPS dilakukan dengan cara pengambilan data koordinat di lokasi yang sama antara GPS smartphone dan GPS sistem. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan mendapat nilai selisih meter yaitu 5.4 meter
3. Proses penerbangan drone: setelah dilakukan beberapa percobaan drone hanya dapat terbang dengan ketinggian maksimal 15 meter (vertikal) dan dengan jarak maksimum 50 meter (horisontal). Hal ini di sebabkan oleh beban yang dibawa oleh drone.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian terdapat beberapa saran untuk pengembangan Tugas Akhir selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan drone dapat diganti dengan drone Dji Flycart 30, agar alat dapat diangkut dengan jarak dan ketinggian yang lebih jauh.
2. Penambahan beberapa sensor monitoring kualitas udara seperti sensor MQ-7 untuk polutan CO, sensor MQ-131 untuk O3 dan sensor GP2Y untuk PM10, agar dapat digunakan sebagai alat pendeteksi polutan pencemar udara secara

keseluruhan.



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR PUSTAKA

- Ashton, K. (2009). hat “Internet of Things” Thing. *RFID journal*, 97-114.
- Baktikominfo. (2019, november 15). *MIFI VS WIFI, MANA YANG LEBIH UNGGUL UNTUK KEGIATAN SEHARI-HARI?* From <https://www.baktikominfo.id/>:
https://www.baktikominfo.id/id/informasi/pengetahuan/mifi_vs_wifi_man_a_yang_lebih_unggul_untuk_kegiatan_sehari-hari-1062
- Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Guidelines for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*. from [EPA website](#).
- Habibi, Wildan.(2011).Pembangunan Sistem Pelacakan Dan Penelusuran Device Software Berbasis Global Positioning Sistem (GPS) Pada Platform SoftwareGoogle, diakses10 September 2023.
<http://digilib.its.ac.id/pembangunan-sistempelacakan-dan-penelusuran-device-mobile-berbasis-global-positioningsistem-GPS-pada-platform-mobile-oogle-android-16279.html>
- Kementrian lingkungan hidup dan kehutanan . (2020, september 24). *INDEKS STANDARPENCEMAR UDARA (ISPU) SEBAGAI INFORMASI MUTU UDARA AMBIEN DI INDONESIA*. From ditppu.menlhk.go.id :
<https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
- Kementrian lingkungan hidup dan kehutanan. (2020, juli 31). *PEMANTAUAN MUTU UDARA AMBIEN DENGAN METODE PASSIVE SAMPLER*. From ditppu.menlhk.go.id:
<https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/pemantauan-mutu-udara-ambien-dengan-metode-passive-sampler>
- Krzyzanowski, J. (2012). Environmental Pathways of Potential Impacts to Human Health from Oil and Gas Development in Northeast Britis Columbia.*Canada. Environ.* 122-134
- National Oceanic and Atmospheric Administration(2023). (n.d.).*Latitude/Longitude Distance Calculation*. Retrieved , from NOAA.
- Pemerintahan kota surabaya . (2022, juni 24). *DLH: KUALITAS UDARA SURABAYA HINGGA PERTENGAHAN TAHUN 2022 DALAM KLASIFIKASI BAIK*. From surabaya.go.id :
<https://www.surabaya.go.id/id/berita/67610/dlh-kualitas-udara-surabaya-hi>
- Raharnata, V. G. (2021). Rancang Bangun Pemantauan Pencemaran Udara. *jurnal teknologi elektro* , 94-99.
- RIDWAN, P. M. (2016). Alat Ukur Kualitas Udara Berbabis. (*Doctoral*

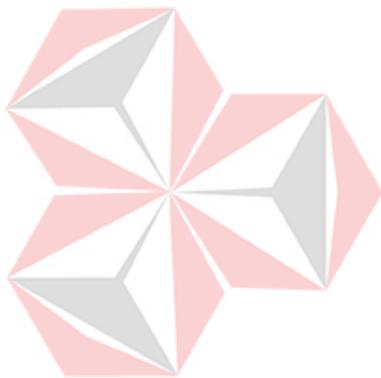
dissertation, Politeknik Negeri.

Rifai, M. H. (2021). PEMANFAATAN INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK RANCANG BANGUN UAV. *e-Proceeding of Engineering*, Page 7096.

Suroso, i. (2016). peran drone/unmanned Aerial vehicle (UAV) buatan STTKD dalam dunia penerbangan . *repository ilmiah nasional* , 104-112.

Smith, J. (2022). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Z. B. Abilovani, W. Yahya, dan F. A. Bakhtiar. (2018). Implementasi Protokol MQTT Untuk Sistem Monitoring Perangkat IoT. *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 12, hal. 7521– 7527 [Daring]. Tersedia pada: <http://jptiik.ub.ac.id>.



UNIVERSITAS
Dinamika