



**RANCANG BANGUN SISTEM *IOT* DETEKSI DINI
KEBAKARAN MENGGUNAKAN METODE *RATE OF
RISE* (ROR) DAN ALGORITMA KLASIFIKASI *DECISION
TREE* C4.5**

Sub Judul

**RANCANG BANGUN SISTEM *IOT* DETEKSI DINI
KEBAKARAN BERBASIS *RATE OF RISE* (ROR)
DENGAN THRESHOLD ADAPTIF MULTISENSOR DI
PT. DELTA INDONESIA LABORATORY**

SKRIPSI

Muhammad Abdan Syakuron

2207421021

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



**RANCANG BANGUN SISTEM *IOT* DETEKSI DINI
KEBAKARAN MENGGUNAKAN METODE *RATE OF
RISE* (ROR) DAN ALGORITMA KLASIFIKASI *DECISION
TREE* C4.5**

Sub Judul

**RANCANG BANGUN SISTEM *IOT* DETEKSI DINI
KEBAKARAN BERBASIS *RATE OF RISE* (ROR)
DENGAN THRESHOLD ADAPTIF MULTISENSOR DI
PT. DELTA INDONESIA LABORATORY**

SKRIPSI

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

Muhammad Abdan Syakuron

2207421021

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Abdan Syakuron
NIM : 2207421021
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer/Teknik
Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini
Kebakaran Berbasis Rate of Rise (RoR) dengan
Threshold Adaptif Multisensor di PT. Delta
Indonesia Laboratory

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri – ciri plagiat dan bentuk – bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 09 Mei 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Abdan Syakuron

NIM. 2207421021



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Abdan Syakuron
NIM : 2207421021
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran berbasis *Rate of Rise* (RoR) dengan *Threshold* Adaptif Multisensor di PT Delta Indonesia Laboratory

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu, Tanggal 24, Bulan Juni, Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan oleh:

Pembimbing I	Ayu Rosyida Zain, S.ST, M.T.	()
Penguji I	Dr. Indra Hermawan, S.Kom., M.Kom.	()
Penguji II	Ariawan Andi Suhandana, S.Kom., M.T.I.	()
Penguji III	Dwi Ermawati, M.T.	()

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 197908032003122003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran Berbasis *Rate of Rise* (RoR) dengan Threshold Adaptif Multisensor di PT. Delta Indonesia Laboratory” dengan baik. Penyusunan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Jurusan Teknik Informatika dan Komputer yang telah menyediakan fasilitas dan lingkungan akademik yang mendukung proses pembelajaran serta penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Ayu Rosyida Zain, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan selama proses penyusunan skripsi.
3. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan di Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan akademik selama masa perkuliahan.
4. Bapak Untung Suprihadi, S.Kom., M.Pd. selaku perwakilan Delta Indonesia Lab yang telah memberikan kesempatan, dukungan, dan fasilitas selama proses penelitian berlangsung.
5. Keluarga yang memberikan doa, serta semangat kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
6. Lutfi Ramdani, Vincentius Bagus, Syifa Chandra, Alvito Revansyah, Sahrul Apriandi, dan partner saya yang memberikan doa, membantu dan memberi semangat kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Teman – teman TMJ 22 serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Internet of Things dan deteksi dini kebakaran.

Depok, 9 Juni 2026

Muhammad Abdan Syakuron

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Abdan Syakuron
NIM : 2207421021
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer/Teknik
Multimedia dan Jaringan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran Berbasis Rate of Rise (RoR) dengan Threshold Adaptif Multisensor di PT. Delta Indonesia Laboratory

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 09 Juni 2026

Yang menyatakan



Muhammad Abdan Syakuron

NIM. 2207421021



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran Berbasis Rate of Rise (RoR) dengan Threshold Adaptif Multisensor di PT. Delta Indonesia

Laboratory

ABSTRAK

Lingkungan laboratorium pengujian kimia memiliki risiko kebakaran yang tinggi karena adanya potensi reaksi bahan kimia, peningkatan suhu, gas/asap, dan nyala api. Sistem deteksi kebakaran konvensional yang masih bergantung pada ambang batas statis berpotensi menimbulkan keterlambatan deteksi maupun false alarm. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Rate of Rise (RoR) dan threshold adaptif multisensor di PT. Delta Indonesia Laboratory. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor gas/asap MQ-2, flame sensor, serta relay sebagai aktuator alarm. Data sensor diproses pada perangkat menggunakan moving average dan perhitungan RoR, kemudian dikirimkan ke server melalui protokol HTTP POST untuk memperoleh status klasifikasi AMAN, WASPADA, atau BAHAYA. Pengujian dilakukan melalui pengujian fungsional, kinerja deteksi, false alarm, dan Quality of Service (QoS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data sensor, mengirimkan data ke server, menerima respons API, dan mengaktifkan relay ketika status BAHAYA diterima. Sistem membutuhkan waktu 10 detik untuk menghasilkan status WASPADA dan 23 detik untuk menghasilkan status BAHAYA sejak kondisi awal pengujian. Pengujian false alarm menunjukkan bahwa sistem tidak langsung mengaktifkan relay pada kondisi anomali tunggal seperti paparan panas atau gas/asap, sehingga validasi multisensor dapat membantu mengurangi potensi alarm palsu.

Kata Kunci: Internet of Things, deteksi dini kebakaran, Rate of Rise, threshold adaptif, Quality of Service.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Deteksi Dini Kebakaran	8
2.3 Internet of Things	8
2.4 Mikrokontroler ESP32	9
2.5 Arduino IDE.....	9
2.6 Pemilihan Sensor DS18B20	10
2.7 Sensor MQ-2	11
2.8 Flame Sensor.....	12
2.9 Moving Average Filter	12
2.10 Metode Rate of Rise (RoR)	13
2.11 HTTP/HTTPS.....	14
2.12 Algoritma Threshold Adaptif.....	14
2.13 Quality of Service	15
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Rancangan Penelitian	15
3.2 Tahapan Penelitian.....	15
3.3 Objek Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Analisis Kebutuhan Sistem.....	18
4.1.1 Analisis Perangkat Lunak	19
4.1.2 Analisis Perangkat Keras	20
4.2 Perancangan Sistem	21
4.3 Implementasi	24

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1 Implementasi Perangkat Keras	24
4.3.2 Implementasi Perangkat Lunak	27
4.4 Pengujian.....	33
4.4.1 Deskripsi Pengujian.....	34
4.4.2 Prosedur Pengujian.....	35
4.4.3 Data Hasil Pengujian	40
4.4.4 Analisis Data / Evaluasi Pengujian.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	64
LAMPIRAN	65
Lampiran 1.1 Surat Izin Observasi dan Wawancara	65
Lampiran 1.2 Serial Monitor.....	68
Lampiran 1.3 Database	69
Lampiran 1.4 Hasil Serial Monitor Tiap Status	69
Lampiran 1. 4 Pengujian Akurasi Sensor	77
Lampiran 1.6 Pengujian Gas / Asap.....	77
Lampiran 1.7 Pengujian Flame Sensor	78

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Internet of Things.....	8
Gambar 2. 2 Mikrokontroler ESP32.....	9
Gambar 2. 3 Arduino IDE.....	10
Gambar 2. 4 Sensor DS18B20.....	11
Gambar 2. 5 Sensor MQ-2.....	12
Gambar 2. 6 Flame Sensor	12
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	15
Gambar 4. 1 Arsitektur Sistem	21
Gambar 4. 2 Flow Diagram Sistem.....	23
Gambar 4. 3 Skematik Perangkat Keras	26
Gambar 4. 4 Bentuk Casing Perangkat Keras.....	27
Gambar 4. 5 Kode Inisialisasi dan Koneksi Sistem.....	28
Gambar 4. 6 Kode Perhitungan Moving Average dan Rate of Rise (RoR).....	29
Gambar 4. 7 Kode Pembentukan JSON dan Pengiriman Data HTTP POST	32
Gambar 4. 8 Kode Pembacaan Respons API dan Aktivasi Relay	33
Gambar 4. 9 Pengambilan Data Pengujian Fungsional Sistem	36
Gambar 4. 10 Dokumentasi Pengujian Paparan Panas	37
Gambar 4. 11 Dokumentasi Pengujian Gas/Asap	37
Gambar 4. 12 Dokumentasi Pengujian Flame Sensor	38
Gambar 4. 13 Pengambilan Data Pengujian False Alarm	38
Gambar 4. 14 Tampilan Saat Pengujian Berlangsung	39

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2. 2 Perbandingan Akurasi Sensor.....	10
Tabel 2.3 Standar TIPHON.....	15
Tabel 4. 1 Kebutuhan Perangkat Lunak	19
Tabel 4. 2 Kebutuhan Perangkat Keras	20
Tabel 4. 3 Pinout perangkat keras.....	24
Tabel 4. 4 Pengujian Akurasi Sensor DS18B20	40
Tabel 4. 5 Pengujian Sensitivitas MQ-2 dengan Instrumen Air Quality Detector.....	42
Tabel 4. 6 Data Pengujian Sebelum dan Sesudah Moving Average (MA) pada Sensor MQ-2.....	43
Tabel 4. 7 Pengujian Sensitivitas Flame Sensor	43
Tabel 4. 8 Tampilan Hasil Pembacaan Data Sensor dan Pengiriman Data	44
Tabel 4. 9 Penerimaan Data HTTP & Respons API Kondisi Tertentu	44
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kinerja Deteksi Multisensor.....	46
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian False Alarm dan Validasi Multisensor	47
Tabel 4. 12 Perhitungan Delay Pengiriman Data.....	49
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Quality of Service (QoS).....	51
Tabel 4. 14 Analisis Pengujian Fungsional Sensor	53
Tabel 4. 15 Analisis Waktu Respons dan Parameter Pemicu Status.....	54
Tabel 4. 16 Perbandingan False Alarm Rate Sistem Statis dan Adaptif	55
Tabel 4. 17 Evaluasi Parameter QoS terhadap Standar TIPHON.....	56
Tabel 4. 18 Hasil Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya.....	57
Tabel 4. 19 Keseluruhan Hasil Evaluasi Sistem terhadap Tujuan Penelitian	58

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Lingkungan laboratorium pengujian kimia memiliki karakteristik risiko kebakaran yang berakibat fatal akibat potensi reaksi bahan kimia yang berbahaya. Aktivitas laboratorium dikategorikan sebagai zona berisiko tinggi (*high risk*), di mana ketergantungan pada prosedur manual masih menciptakan celah keamanan yang signifikan (Julianto et al. 2024). Permasalahan ini tercermin pada kondisi operasional di PT. Delta Indonesia Laboratory, di mana sistem proteksi kebakaran masih didominasi oleh infrastruktur konvensional dan mekanisme manual seperti penggunaan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) serta sistem deteksi kebakaran berbasis *static threshold*. Ketergantungan tersebut menjadi titik lemah apabila terjadi reaksi kimia spontan di luar jam operasional atau pada kondisi minim pengawasan, karena tidak tersedia sistem cerdas yang mampu mendeteksi anomali suhu secara dini. Akibatnya, respons penanganan berpotensi terlambat sehingga meningkatkan risiko pertumbuhan api yang dapat merusak aset perusahaan serta membahayakan keselamatan lingkungan sekitar.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong lahirnya berbagai sistem deteksi kebakaran berbasis sensor. Namun, beberapa penelitian masih menunjukkan keterbatasan pada jangkauan deteksi dan logika pengambilan keputusan. Sistem LabSave misalnya, telah mengintegrasikan sensor api dan sensor gas, tetapi efektivitas flame sensor hanya optimal pada jarak terbatas hingga 40 cm sehingga kurang sesuai untuk area laboratorium yang luas (Kurniawan et al. 2025). Selain itu, penggunaan sensor gas MQ-135 hanya memberikan informasi kualitas udara secara umum dan masih menerapkan ambang suhu statis, yang berpotensi memicu false alarm akibat fluktuasi suhu operasional peralatan laboratorium.

Selain keterbatasan pada hardware, beberapa penelitian terbaru yang mencoba mengatasi kelemahan sistem konvensional dengan pendekatan *dynamic threshold* dan metode *hybrid* yang menunjukkan bahwa pendekatan tersebut



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lebih adaptif dalam merespons perubahan kondisi lingkungan, namun belum diterapkan pada lingkungan nyata (Tarigan et al. 2026). Di sisi lain, penelitian di bidang keselamatan industri dan transportasi juga memperkenalkan penggunaan *Heat Detector Rate of Rise* (RoR) yang mendeteksi laju kenaikan suhu per satuan waktu sebagai indikator awal kebakaran, bahkan sebelum suhu mencapai batas berbahaya (Sutantyo & Susanti, 2022). Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan sensitivitas deteksi dini pada kondisi kebakaran awal.

Selain RoR, digunakan juga pendekatan multisensor, di mana data suhu divalidasi menggunakan sensor gas atau asap untuk meningkatkan akurasi sistem dan menekan alarm palsu (Sutantyo & Susanti, 2022). Integrasi multisensor memungkinkan sistem membedakan antara kenaikan suhu akibat aktivitas operasional normal dan indikasi kebakaran yang sebenarnya melalui korelasi parameter fisik lingkungan. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada pengujian simulasi atau lingkungan terkendali, serta belum banyak yang mengimplementasikan algoritma adaptif langsung pada perangkat keras di lingkungan nyata yang kompleks seperti laboratorium kimia.

Berdasarkan permasalahan operasional di PT. Delta Indonesia Laboratory serta keterbatasan metode statis dan pendekatan simulatif pada penelitian sebelumnya, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT dengan mengombinasikan metode *Rate of Rise* (RoR) dan threshold adaptif multisensor. Sistem dirancang untuk memproses laju kenaikan suhu secara *real-time* dan memvalidasinya dengan data sensor gas/asap sebelum mengirimkan notifikasi peringatan. Dengan menerapkan algoritma adaptif langsung pada mikrokontroler dan melakukan pengujian fisik di lingkungan laboratorium nyata, sistem diharapkan mampu meningkatkan kecepatan deteksi, memperluas jangkauan pengawasan, serta meminimalkan kesalahan pembacaan pada lingkungan laboratorium yang sensitif.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang menjadi fokus pada pengembangan sisi perangkat keras (*hardware*) ini adalah:

1. Bagaimana merancang bangun sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT di PT. Delta Indonesia Laboratory yang mengintegrasikan metode *Rate of Rise* (RoR) dengan algoritma threshold adaptif multisensor?
2. Bagaimana mekanisme penentuan threshold adaptif dalam memvalidasi data laju kenaikan suhu (DS18B20) terhadap konsentrasi gas (MQ-2) dan deteksi api guna meminimalkan kesalahan deteksi?
3. Bagaimana kinerja sistem yang diusulkan dalam mendeteksi kebakaran dini ditinjau dari waktu deteksi, tingkat *false alarm* (akurasi) dibandingkan dengan sistem *Rate of Rise* menggunakan threshold statis?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah sesuai dengan ruang lingkup sub-judul penulis, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Implementasi sistem dilakukan di PT. Delta Indonesia Laboratory, berfokus pada deteksi dini risiko kebakaran bahan kimia dan listrik.
2. Menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu (DS18B20), sensor gas (MQ-2), dan sensor api (*Flame Sensor*).
3. Logika utama menggunakan metode *Rate of Rise* (RoR) untuk suhu, dengan validasi kondisi bahaya menggunakan threshold adaptif dari data sensor gas dan api.
4. Fokus pada pemrosesan data di perangkat keras yang mengirimkan paket data sensor ke web melalui protokol komunikasi HTTP/HTTPS.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan dari penelitian ini adalah:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Merancang dan membangun sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT di PT. Delta Indonesia Laboratory yang mengintegrasikan metode *Rate of Rise* (RoR) dengan algoritma threshold adaptif multisensor.
2. Menerapkan mekanisme threshold adaptif untuk memvalidasi data laju kenaikan suhu terhadap konsentrasi gas dan deteksi api guna meminimalkan kesalahan deteksi (*false positive*).
3. Menganalisis unjuk kerja sistem yang diusulkan berdasarkan parameter waktu respons, sensitivitas, dan tingkat false alarm.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menyediakan sistem proteksi aktif yang mampu mendeteksi indikasi kebakaran lebih cepat dan akurat dibandingkan sistem manual, sehingga meminimalkan risiko kerugian aset dan keselamatan kerja.
2. Memberikan bukti mengenai efektivitas penggabungan metode *Rate of Rise* (RoR) dengan threshold adaptif multisensor dalam mengurangi tingkat alarm palsu (*false alarm*).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur pembahasan dalam laporan skripsi ini, Adapun struktur penulisannya adalah sebagai berikut:

- a) BAB I PENDAHULUAN
Bab ini menguraikan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang digunakan sebagai pedoman dalam penyusunan laporan.
- b) BAB II TINJAUAN PUSTAKA
Bab ini memaparkan studi literatur yang bersumber dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, serta landasan teori yang menjadi dasar pendukung dalam perancangan dan pengembangan sistem.
- c) BAB III METODE PENELITIAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, tahapan pelaksanaan, objek penelitian, model atau teknik yang diterapkan, metode pengumpulan dan analisis data, serta rincian anggaran biaya penelitian.

d) BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian sistem. Pada bab ini juga dilakukan analisis terhadap hasil pengujian untuk mengetahui kinerja dan keandalan sistem yang dikembangkan.

e) BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang diusulkan:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian	Judul	Hasil/Teknologi	Perbedaan
1	Kurniawan et al. (2025)	LABSAVE: Sistem Proteksi Kebakaran Terintegrasi untuk Laboratorium Teknik	Menggunakan ESP32, Sensor Api (Flame), MQ-135, dan DHT22 dengan pompa otomatis. Logika deteksi menggunakan Static Threshold (Alarm bunyi jika Suhu > 32°C).	Penelitian ini menggunakan Threshold Statis yang kaku dan sensor api dengan jarak deteksi terbatas (40 cm). Penulis membuat sistem dengan Threshold Adaptif dan metode RoR yang tidak terpaku pada angka suhu, serta jangkauan deteksi yang lebih luas.
2	Lesmidayarti et al. (2025)	Sistem Monitoring dan Pengujian Multi-Sensor untuk Deteksi Dini Kebakaran	Penerapan Multi-Sensor (Suhu, Kelembaban, Gas, UVTron) dengan metode Fuzzy Logic untuk pengambilan keputusan status (Aman/Waspada/Bahaya).	Meskipun menggunakan multisensor, metode Fuzzy Logic membebani komputasi jika parameter terlalu banyak. Penulis menggunakan metode <i>Rate of Rise</i> (RoR) yang lebih efisien secara komputasi untuk mendeteksi lonjakan panas mendadak di perangkat node sensor.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	Raihan et al. (2025)	Alat Pendeteksi Kebakaran	Sistem deteksi kebakaran berbasis ESP32, Flame Sensor, dan MQ-2 yang terintegrasi dengan Firebase dan Android. Fitur utama adalah aktivasi pompa air otomatis saat terdeteksi api/gas.	Penelitian ini berfokus pada aksi pemadaman fisik dengan logika deteksi sederhana (Basic Threshold). Penulis membatasi ruang lingkup pada akurasi deteksi dini algoritma <i>Rate of Rise</i> dan <i>Threshold Adaptif</i> untuk memvalidasi alarm palsu sebelum tindakan diambil, tanpa melibatkan mekanisme pemadaman.
4	Prasetyo & Haq (2025)	Rancangan Sistem Pendeteksi dan Pemantauan Kebakaran di Gedung Tower Pegadaian	Implementasi detektor panas industri (FST-951) yang memiliki fitur <i>Rate of Rise</i> dan <i>Fixed Temp</i> yang terintegrasi ke panel MCFA.	Penelitian ini menggunakan perangkat industri jadi dengan logika tertanam. Penulis melakukan Rancang Bangun Algoritma RoR dari nol pada mikrokontroler ESP32, memberikan fleksibilitas adaptif threshold sesuai kondisi laboratorium spesifik.
5	Tarigan et al. (2026)	IoT Sensor Data Analysis for Early Fire Detection Using Dynamic Threshold	Algoritma Dynamic Threshold, Fuzzy Logic, Random Forest	Penelitian ini hanya melakukan pengujian algoritma melalui simulasi perangkat lunak. Penelitian ini mengimplementasikan algoritma secara fisik pada mikrokontroler ESP32 di lingkungan nyata.



Hak Cipta :

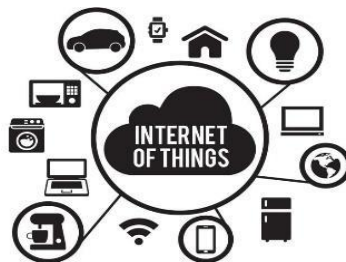
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2 Deteksi Dini Kebakaran

Deteksi dini kebakaran merupakan upaya untuk mengenali tanda-tanda awal terjadinya kebakaran sebelum api berkembang menjadi kondisi yang membahayakan. Deteksi pada tahap awal memiliki peranan penting dalam sistem keselamatan karena memungkinkan dilakukannya tindakan pencegahan dan penanganan secara lebih cepat, sehingga potensi kerugian terhadap aset, lingkungan, serta keselamatan manusia dapat diminimalkan. Keterlambatan dalam mendeteksi kebakaran dapat menyebabkan api berkembang dengan cepat dan sulit dikendalikan. Sistem deteksi dini kebakaran dirancang untuk memberikan peringatan awal kepada pengguna ketika terjadi kondisi yang tidak normal di lingkungan. Dengan adanya peringatan dini, pihak terkait dapat segera melakukan respons yang sesuai sebelum kebakaran meluas. Oleh karena itu, deteksi dini menjadi komponen penting dalam upaya mitigasi risiko kebakaran, khususnya pada lingkungan dengan tingkat risiko tinggi (Lesmideyarti et al.).

2.3 Internet of Things

Internet of Things (IoT) didefinisikan sebagai jaringan objek fisik yang tertanam dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi konektivitas untuk tujuan menghubungkan dan bertukar data dengan perangkat lain melalui internet. Penerapan arsitektur IoT pada sistem keamanan, seperti deteksi kebakaran, memungkinkan transisi dari mekanisme inspeksi manual yang pasif menjadi pemantauan jarak jauh yang proaktif. Hal ini memungkinkan data kondisi lingkungan (suhu, asap, api) untuk diakses oleh pengelola gedung dari mana saja tanpa batasan geografis, sehingga mempercepat waktu respons dalam mitigasi bencana (Minh, 2025).



Gambar 2. 1 Internet of Things



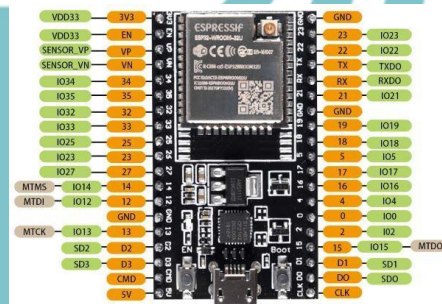
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Sumber: <https://thenewstack.io/what-does-it-mean-to-be-on-the-internet-of-things/>)

2.4 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah *System on Chip* (SoC) mikrokontroler canggih yang dikembangkan oleh Espressif Systems dengan fitur integrasi *Wi-Fi* dan *Bluetooth Low Energy* (BLE) ganda. Berbeda dengan pendahulunya (ESP8266), ESP32 memiliki prosesor dual-core Xtensa® 32-bit LX6 yang menjadikannya sangat efisien untuk menangani tugas komputasi berat, seperti pemrosesan sinyal sensor secara real-time dalam arsitektur IoT modern. Dalam penerapannya sebagai node sensor, ESP32 berfungsi sebagai unit pemroses utama yang mengakuisisi data lingkungan dan mengirimkannya ke server tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan (Minh, 2025).



Gambar 2. 2 Mikrokontroler ESP32

(Sumber: <https://forum.fritzing.org/t/esp32-wroom-32u/12978>)

2.5 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke dalam mikrokontroler. Lingkungan pengembangan ini mendukung bahasa pemrograman C/C++ yang telah disederhanakan dengan berbagai pustaka (*libraries*) bawaan untuk memudahkan interaksi dengan perangkat keras. Penggunaan Arduino IDE sangat populer dalam pengembangan purwarupa sistem deteksi kebakaran karena kompatibilitasnya yang luas dengan berbagai modul sensor dan board mikrokontroler, termasuk keluarga ESP32 dan ESP8266 (Sari et al., 2023).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 3 Arduino IDE

(Sumber: <https://botland.store/blog/essential-guide-to-arduino-ide-what-is-it/>)

2.6 Pemilihan Sensor DS18B20

Sensor suhu yang umum digunakan pada sistem berbasis Internet of Things (IoT) antara lain DHT11, DHT22, dan DS18B20. Ketiga sensor tersebut memiliki karakteristik yang berbeda baik dari sisi akurasi, kestabilan pengukuran, maupun rentang pengukuran suhu. Oleh karena itu, pemilihan sensor perlu disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang dikembangkan.

Berdasarkan penelitian Yulizar dkk. (2023), DS18B20 menunjukkan performa terbaik dibandingkan DHT11 dan DHT22 dengan tingkat akurasi mencapai 99,05%, sedangkan DHT22 sebesar 98,15% dan DHT11 sebesar 97,19%. Selain itu, DS18B20 memiliki nilai ketidakpastian (uncertainty) pengukuran paling kecil, yaitu 0,17°C, sehingga menghasilkan pembacaan suhu yang lebih konsisten.

Hasil tersebut juga diperkuat oleh penelitian Baehaqi dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa DS18B20 memiliki tingkat akurasi sebesar 98,83%, lebih tinggi dibandingkan DHT11 sebesar 96,63%, serta menghasilkan nilai kesalahan (error) yang lebih rendah terhadap alat ukur referensi.

Tabel 2. 2 Perbandingan Akurasi Sensor

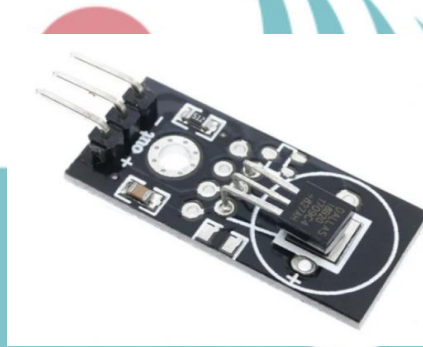
Parameter	DHT11	DHT22	DS18B20
Akurasi	97.19%	98.15%	99.05%
Ketidakpastian pengukuran	0.18°C	0.18°C	0.17°C



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, sensor DS18B20 dipilih pada penelitian ini karena memiliki tingkat akurasi dan kestabilan pengukuran yang lebih baik dibandingkan DHT11 maupun DHT22. Karakteristik tersebut sangat penting karena metode Rate of Rise (RoR) yang digunakan pada penelitian ini menghitung laju perubahan suhu dalam interval waktu tertentu. Sensor dengan akurasi dan kestabilan yang lebih baik akan menghasilkan nilai RoR yang lebih representatif sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem dalam mendeteksi indikasi awal kebakaran serta mengurangi potensi false alarm. (Yulizar et al, 2023).



Gambar 2. 4 Sensor DS18B20

(Sumber: <https://qqtrading.com.my/temperature-digital-sensor%20Module%20DS18B20>)

2.7 Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 adalah modul sensor gas yang sensitif terhadap berbagai jenis gas mudah terbakar seperti LPG, Propana, Metana, Alkohol, Hidrogen, dan asap pembakaran. Prinsip kerjanya didasarkan pada perubahan resistansi material Tin Dioxide (SnO_2) di dalam sensor ketika terpapar partikel gas target; semakin tinggi konsentrasi gas, semakin rendah resistansi sensor, yang kemudian dikonversi menjadi tegangan analog. Karakteristik ini membuat MQ-2 menjadi komponen standar dalam sistem proteksi kebakaran industri untuk mendeteksi indikasi awal kebocoran gas sebelum api menyala (Sari et al., 2023).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 5 Sensor MQ-2

(Sumber: <https://www.kmtech.id/post/penggunaan-sensor-gas-seri-mq2-dalam-dunia-iot-internet-of-things>)

2.8 Flame Sensor

Flame Sensor adalah perangkat optik yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan api melalui spektrum cahaya inframerah (IR) yang dipancarkan oleh nyala api, biasanya pada panjang gelombang 760 nm hingga 1100 nm. Sensor ini bekerja dengan menangkap intensitas radiasi IR dan mengubahnya menjadi sinyal digital (*LOW/HIGH*) atau analog untuk menentukan jarak sumber api. Penggunaan sensor ini sangat krusial sebagai validasi visual dalam sistem deteksi kebakaran, memastikan bahwa alarm hanya aktif ketika terdapat indikasi nyala api nyata, bukan sekadar hawa panas (Wahidin et al., 2021).



Gambar 2. 6 Flame Sensor

(Sumber: <https://arduinomodules.info/ky-026-flame-sensor-module/>)

2.9 Moving Average Filter

Moving Average Filter (MAF) merupakan salah satu metode filtering yang digunakan untuk mengurangi noise dan fluktuasi jangka pendek pada data sensor dengan cara menghitung nilai rata-rata dari sejumlah data sebelumnya. Metode ini termasuk ke dalam kategori Finite Impulse Response (FIR) filter yang memiliki keunggulan berupa algoritma yang sederhana, kebutuhan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

komputasi yang rendah, serta cocok diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler dengan sumber daya terbatas seperti Arduino maupun ESP32. Moving Average Filter mampu meningkatkan kestabilan data suhu dengan mengurangi variasi pembacaan sensor tanpa mengubah tren utama data pengukuran. (Shidqi et al. 2026).

$$Y_n = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X_{n-k}$$

- Y_n = hasil Moving Average pada waktu ke- n
- X_{n-k} = data sensor sebelumnya
- M = jumlah data yang digunakan

Untuk mempermudah pemahaman, persamaan Moving Average dapat dituliskan dalam bentuk sederhana sebagai berikut:

$$\text{Moving Average} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

- $x_1 - x_n$ = data pembacaan sensor
- n = jumlah data yang digunakan

Moving Average Filter pada sistem monitoring suhu dan menunjukkan bahwa penggunaan lima data pengamatan mampu meningkatkan kestabilan data dengan mengurangi fluktuasi pembacaan sensor tanpa mengubah tren utama pengukuran. Selain itu, Baskoro et al. (2025) menjelaskan bahwa penggunaan ukuran window yang terlalu besar memang dapat menghasilkan data yang lebih halus, namun berpotensi memperlambat respons sistem terhadap perubahan kondisi yang terjadi.

2.10 Metode *Rate of Rise* (RoR)

Rate of Rise (RoR) adalah mekanisme deteksi yang bekerja dengan memantau percepatan kenaikan suhu secara drastis dalam waktu singkat, bukan sekadar menunggu suhu mencapai ambang batas tertentu (*fixed temperature*). Berdasarkan studi penerapan pada gedung bertingkat, detektor berbasis RoR



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terbukti lebih unggul dalam mengidentifikasi bahaya di area yang berisiko mengalami kenaikan suhu tiba-tiba (seperti ruang panel listrik atau mesin), di mana sistem mampu memicu alarm lebih dini sebelum suhu mencapai titik bakar material, memberikan waktu evakuasi yang lebih panjang dibandingkan detektor suhu tetap (Prasetyo & Haq, 2025).

$$RoR = \frac{T_t - T_{t-1}}{\Delta t}$$

- RoR : Laju kenaikan suhu (°C/detik)
- $T_{\{t\}}$: MA Suhu saat ini
- $T_{\{t-1\}}$: Ma Suhu pada sebelumnya
- Δt : Interval waktu pengambilan sampel

2.11 HTTP/HTTPS

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) dan versi amannya (HTTPS) adalah protokol komunikasi lapisan aplikasi berbasis arsitektur *Request-Response* yang menjadi standar utama dalam pertukaran data di *World Wide Web*. Dalam konteks IoT yang terintegrasi dengan dashboard berbasis web (seperti Next.js), protokol HTTP digunakan oleh perangkat untuk mengirimkan paket data sensor ke server melalui metode POST atau GET. Berbeda dengan protokol *real-time* murni seperti MQTT, HTTP menawarkan kemudahan integrasi dengan *database* dan infrastruktur web modern (Imansyah & Zafia, 2025).

2.12 Algoritma Threshold Adaptif

Metode Threshold Adaptif merupakan pendekatan pengambilan keputusan dinamis yang menetapkan batas bahaya berdasarkan perubahan kondisi lingkungan rata-rata (*baseline*), berbeda dengan pendekatan statis yang menggunakan nilai tetap ($>32^{\circ}\text{C}$) sehingga rentan terhadap alarm palsu saat suhu meningkat secara normal (Kurniawan et al. 2025). Dengan memanfaatkan rata-rata bergerak (*moving average*), sistem dapat mendeteksi anomali kenaikan suhu secara presisi melalui metode *Rate of Rise* (RoR) dan memvalidasinya menggunakan *cross-validation* dengan sensor gas untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

meningkatkan akurasi deteksi pada lingkungan laboratorium yang kompleks (Lesmideyarti et al. 2025).

2.13 Quality of Service

Quality of Service (QoS) merupakan metode pengukuran yang digunakan untuk menilai kualitas layanan jaringan dalam proses pengiriman data. Pada sistem berbasis Internet of Things (IoT), QoS digunakan untuk mengetahui seberapa baik perangkat mengirimkan data menuju server, khususnya pada sistem yang membutuhkan respons secara periodik dan real-time. Parameter QoS yang umum digunakan meliputi delay, throughput, dan packetloss. Delay menunjukkan waktu yang dibutuhkan data untuk sampai dari sumber ke tujuan.

$$\text{Rata - rata Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Paket Diterima}}$$

Throughput menunjukkan laju pengiriman data yang berhasil diterima dalam satuan waktu tertentu.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket Data Diterima}}{\text{Lama Pengamatan}}$$

Packetloss menunjukkan persentase paket data yang gagal terkirim atau tidak diterima oleh tujuan.

$$\text{Packetloss} = \frac{(\text{Paket data dikirim} - \text{Paket data diterima})}{\text{Paket data dikirim}} \times 100\%$$

Parameter QoS yang digunakan meliputi delay, throughput, packet loss, jumlah pengiriman berhasil, jumlah pengiriman gagal, rata-rata delay, dan durasi pengujian. Penilaian kualitas jaringan mengacu pada standar TIPHON yang membagi kualitas layanan berdasarkan kategori throughput, delay, dan packet loss.

Tabel 2.3 Standar TIPHON

Kategori	Throughput (bps)	Delay (ms)	Packetloss
Sangat Baik	100	<150	0%
Baik	75	150-300	3%
Sedang	50	300-450	15%
Jelek	<25	>450	25%



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan standar TIPHON, semakin kecil nilai delay dan packet loss, maka kualitas jaringan semakin baik. Parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kestabilan komunikasi data antara ESP32 dan server melalui protokol HTTP POST (A. Hanif & Rahyul Amri, 2023).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

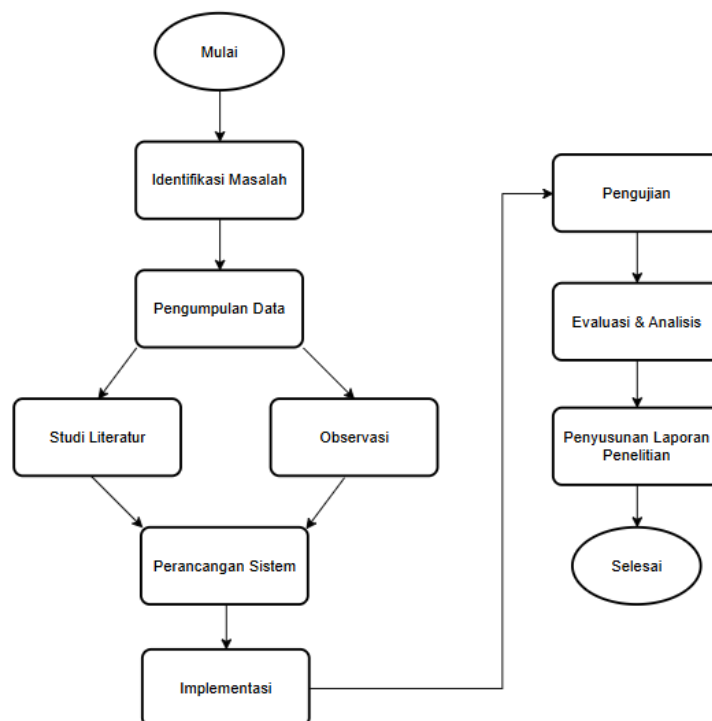
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Rekayasa Sistem dengan metode eksperimental. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah merancang, membangun, dan menguji performa sebuah sistem baru untuk menyelesaikan masalah teknis yang spesifik. Desain penelitian dimulai dari analisis masalah, perancangan solusi berbasis *Internet of Things* (IoT), implementasi perangkat keras dan lunak, hingga validasi kinerja sistem melalui pengujian.

3.2 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian akan menjelaskan tahap-tahap yang dilakukan penulis dalam penelitian, berikut adalah penjelasan pada gambar 3.1 tahapan penelitian yang akan dilakukan, adalah sebagai berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dilakukan dengan menganalisis risiko keselamatan kerja di laboratorium PT. Delta Indonesia Laboratory. Fokus masalah adalah keterbatasan sistem deteksi konvensional dalam merespons kenaikan suhu ekstrem secara dini dan kurangnya fitur pemantauan real-time.

2. Pengumpulan Data

a. Observasi Lapangan

Mengamati kondisi fisik laboratorium, tata letak ruang penyimpanan bahan kimia, dan alur kerja operasional.

b. Studi Literatur

Mengkaji landasan teori terkait karakteristik sensor (DS18B20, MQ-2), implementasi metode *Rate of Rise* (RoR), dan algoritma threshold adaptif untuk memastikan landasan ilmiah yang kuat.

3. Perancangan Sistem

Tahap ini merupakan tahap pemodelan dari hasil analisis kebutuhan. Pada tahap ini akan ditentukan alur sistem yang akan dibuat, meliputi perancangan flowchart algoritma deteksi dini pada mikrokontroler.

4. Implementasi

Tahap ini merupakan tahap melakukan perakitan komponen sensor dengan ESP32 serta penulisan kode program baik untuk perangkat keras maupun antarmuka website agar dapat digunakan untuk menjawab kebutuhan pengguna.

5. Pengujian

Pengujian bertujuan untuk memastikan sistem yang sudah dibuat dapat berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan mengukur sensitivitas pembacaan sensor, pengujian kecepatan respon algoritma RoR, pengujian integrasi pengiriman data HTTP.

6. Evaluasi dan Analisis

Data hasil dianalisis untuk melihat apakah sistem berhasil mencapai tujuan penelitian. Analisis difokuskan pada perbandingan performa antara metode RoR adaptif yang diusulkan dengan metode threshold statis konvensional.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Penyusunan Laporan Penelitian

Pada tahap terakhir penelitian adalah dilakukan penyusunan laporan skripsi disertai dengan dokumentasi lengkap sistem.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah rancang bangun node sensor berbasis IoT yang diterapkan di laboratorium PT. Delta Indonesia Laboratory. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, dan flame sensor untuk mendeteksi indikasi awal kebakaran secara real-time. Pemrosesan data dilakukan di sisi perangkat dengan metode *Rate of Rise* (RoR) untuk menghitung laju kenaikan suhu serta algoritma threshold adaptif untuk menentukan ambang batas dinamis. Data dikirim dalam format JSON melalui protokol HTTP POST ke dua sistem. Jalur pertama menuju sistem monitoring berbasis web untuk klasifikasi kondisi kebakaran (Aman, Waspada, Bahaya) menggunakan algoritma Decision Tree C4.5. Jalur kedua menuju *control panel existing* berbasis ESP8266 sebagai media pemantauan langsung di lokasi. Pemisahan jalur ini bertujuan mengoptimalkan kinerja ESP32 serta memastikan sistem klasifikasi web menerima data yang telah dipra-pemrosesan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh komponen yang diperlukan dalam perancangan dan pembangunan sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) di PT. Delta Indonesia Laboratory. Analisis kebutuhan terdiri dari kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem.

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang berkaitan dengan fungsi utama yang harus dimiliki sistem. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan studi literatur, sistem harus mampu membaca data sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, dan flame sensor secara real-time, melakukan pemrosesan data menggunakan metode Moving Average Filter (MAF), menghitung laju kenaikan suhu (Rate of Rise/RoR), serta menentukan nilai threshold adaptif untuk mendeteksi indikasi awal kebakaran. Sistem juga harus mampu meningkatkan sensitivitas deteksi terhadap perubahan kondisi lingkungan melalui validasi multisensor dan meminimalkan potensi false alarm sehingga menghasilkan deteksi yang lebih akurat. Selain itu, sistem harus mampu mengirimkan data hasil pemrosesan ke server melalui protokol HTTP POST dalam format JSON, menerima hasil klasifikasi dari server, serta mengaktifkan relay dan alarm ketika terdeteksi kondisi bahaya.

Sementara itu, kebutuhan non-fungsional berkaitan dengan karakteristik dan kualitas sistem yang harus dipenuhi agar sistem dapat beroperasi dengan baik. Sistem yang dikembangkan harus mampu bekerja secara real-time, mampu beroperasi selama proses monitoring berlangsung. Selain itu, sistem dirancang untuk memberikan hasil deteksi melalui pembacaan sensor yang stabil dan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Untuk kualitas komunikasi data akan dievaluasi lebih lanjut melalui pengujian Quality of Service (QoS).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.1 Analisis Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lingkungan pengembangan untuk pemrograman mikrokontroler serta pustaka (*library*) pendukung yang dibutuhkan agar sistem dapat berjalan sesuai fungsionalitas yang dirancang adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Nama Perangkat	Fungsi
1	Arduino IDE	Lingkungan pengembangan (IDE) untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke mikrokontroler ESP32
2	Library OneWire & DallasTemperature	Membaca data suhu dari sensor DS18B20 melalui protokol komunikasi 1-Wire
3	Library WiFiManager	Mengatur konfigurasi koneksi Wi-Fi pada ESP32 tanpa perlu menuliskan SSID dan password secara langsung di dalam kode program.
4	Library HTTPClient.h	Mengelola pengiriman data sensor dalam format JSON ke server web melalui protokol HTTP POST
5	Library WiFiClientSecure.h	Mendukung koneksi HTTPS antara ESP32 dan server agar pengiriman data dapat dilakukan ke endpoint berbasis secure connection.
6	Library time.h	Melakukan sinkronisasi waktu melalui Network Time Protocol (NTP) sehingga data yang dikirim memiliki informasi timestamp.
7	Library ArduinoJson	Membentuk dan mem-parsing paket data dalam format JSON sebelum dikirimkan ke server
8	Next.js	Framework web server untuk menerima data sensor, memproses algoritma klasifikasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

		Decision Tree C4.5, serta menampilkan status monitoring secara real-time
9	Vercel	Platform deployment server web yang digunakan untuk menghosting aplikasi Next.js

4.1.2 Analisis Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari mikrokontroler sebagai unit pemrosesan utama, sensor-sensor lingkungan sebagai akuisisi data, serta komponen pendukung lainnya. Pemilihan setiap komponen didasarkan pada kesesuaian spesifikasi teknis dengan kebutuhan sistem yang dirancang sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Kebutuhan Perangkat Keras

No	Nama Perangkat	Fungsi
1	ESP 32	Unit pemrosesan utama untuk menjalankan algoritma RoR, threshold adaptif, dan pengiriman data via Wi-Fi
2	Sensor DS18B20	Mengukur suhu lingkungan sebagai data utama perhitungan metode Rate of Rise (RoR)
3	Sensor MQ-2	Memvalidasi hasil RoR melalui cross-validation konsentrasi gas untuk menekan false alarm
4	Flame Sensor	Mendeteksi keberadaan nyala api sebagai lapisan validasi tambahan dalam mekanisme multisensor
5	Adaptor/Kabel Daya (USB)	Sumber daya utama bagi keseluruhan sistem
6	Relay	Aktuator yang diaktifkan saat sistem mendeteksi kondisi bahaya berdasarkan perintah dari server
7	Breadboard	Media koneksi antar komponen selama fase pengembangan dan pengujian



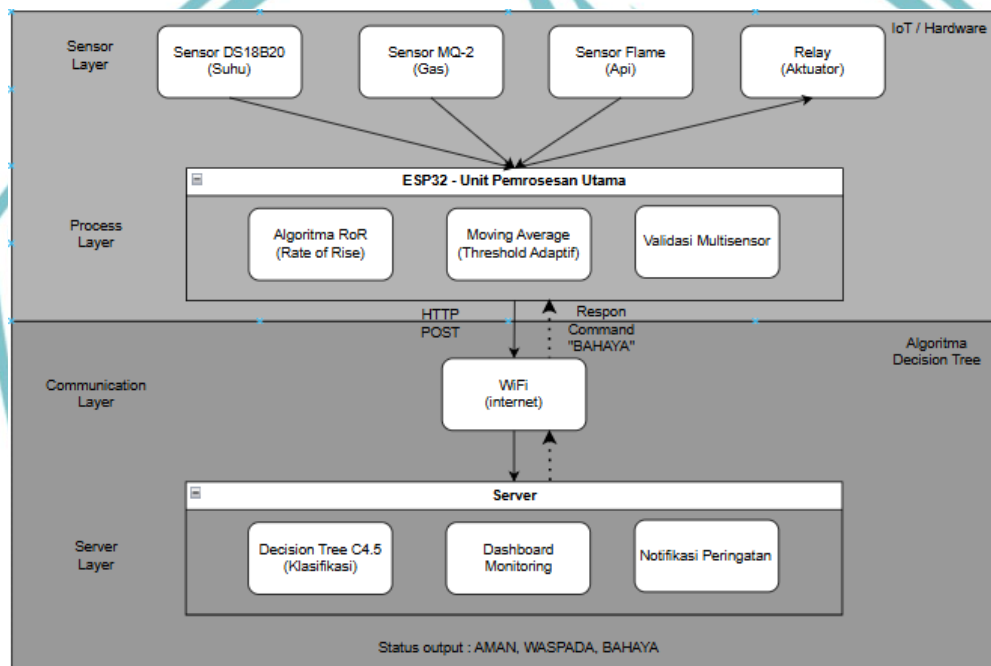
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8	Kabel Jumper	Menghubungkan komponen elektronik antar pin pada breadboard dan ESP32
---	--------------	---

4.2 Perancangan Sistem

Tahap perancangan mencakup dua aspek utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) yang meliputi skema rangkaian antar komponen, serta perancangan algoritma yang menggambarkan logika kerja metode *Rate of Rise* (RoR) dan threshold adaptif multisensor pada mikrokontroler ESP32.



Gambar 4. 1 Arsitektur Sistem

Pada sensor layer, Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai unit pusat yang menerima sinyal dari seluruh sensor dan mengendalikan aktuator berdasarkan hasil pemrosesan algoritma. Sensor suhu DS18B20 dihubungkan ke salah satu pin GPIO ESP32 melalui konfigurasi protokol 1-Wire, dengan penambahan resistor pull-up 4,7kΩ antara jalur data dan VCC untuk memastikan kestabilan sinyal. Sensor gas MQ-2 dihubungkan ke pin ADC (*Analog to Digital Converter*) ESP32 untuk membaca nilai konsentrasi gas dalam bentuk tegangan analog. Selain itu, relay dihubungkan ke pin GPIO ESP32 dan berfungsi sebagai aktuator yang akan aktif apabila sistem menerima perintah bahaya dari server. Seluruh komponen elektronik dirakit secara terintegrasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada sebuah breadboard menggunakan kabel jumper sebelum dikonfigurasi ke dalam casing pelindung untuk keperluan penempatan di lingkungan laboratorium PT. Delta Indonesia Laboratory.

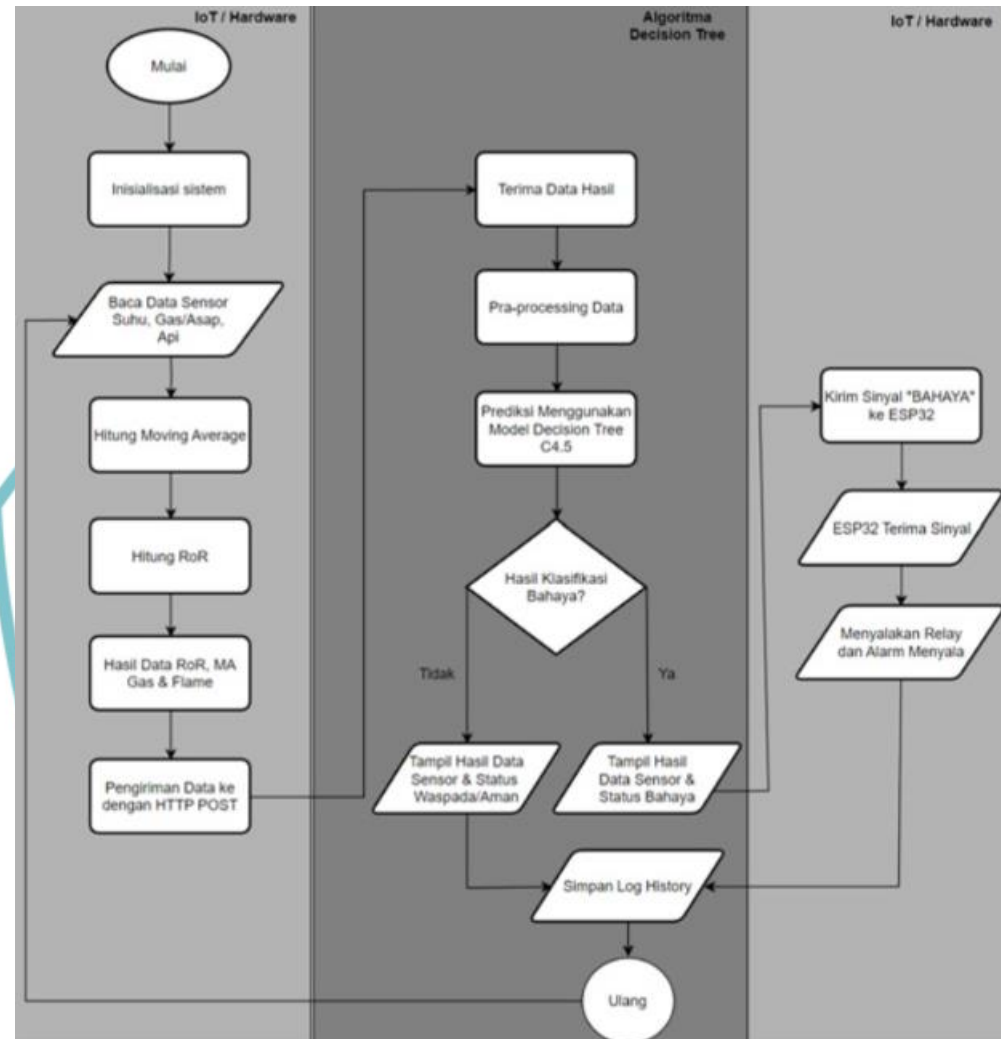
Pada process layer, algoritma sistem yang berjalan di ESP32 terdiri dari dua mekanisme utama yang saling terintegrasi. Mekanisme pertama adalah perhitungan Rate of Rise (RoR): setelah sistem berhasil terhubung ke jaringan dan inisialisasi sensor selesai dilakukan, ESP32 membaca nilai suhu dari sensor DS18B20 secara periodik. Nilai suhu yang diperoleh pada waktu tersebut yang kemudian dibandingkan dengan nilai suhu pada pembacaan sebelumnya untuk menghitung laju kenaikan suhu per satuan waktu, di mana Δt merupakan interval waktu antar pembacaan. Apabila nilai RoR melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan melanjutkan proses validasi menggunakan data dari sensor pendukung.

Mekanisme kedua adalah penentuan threshold adaptif: sistem menghitung nilai rata-rata bergerak (*moving average*) dari data suhu yang diperoleh secara berkala sebagai nilai baseline kondisi normal lingkungan laboratorium. Ambang batas (*threshold*) ditentukan secara dinamis berdasarkan deviasi terhadap *baseline* tersebut, sehingga sistem tidak bergantung pada nilai suhu tetap yang rentan terhadap false alarm. Sebagai lapisan validasi, data konsentrasi gas dari sensor MQ-2 dan status deteksi nyala api dari flame sensor digunakan untuk melakukan cross-validation terhadap hasil RoR. Sistem menentukan status bahaya berdasarkan kombinasi parameter suhu, gas, dan api, dengan prioritas khusus apabila flame sensor mendeteksi indikasi nyala api yang kuat. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan tingkat false alarm sekaligus meningkatkan akurasi deteksi dini kebakaran di lingkungan laboratorium. Seluruh hasil pemrosesan algoritma tersebut dikemas dalam format JSON dan dikirimkan ke server web melalui protokol HTTP POST untuk selanjutnya diklasifikasikan menggunakan algoritma Decision Tree C4.5.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 2 Flow Diagram Sistem

Berdasarkan Gambar 4.2, proses sistem diawali dengan inisialisasi perangkat keras pada mikrokontroler ESP32. Setelah sistem aktif, ESP32 melakukan pembacaan data sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, dan flame sensor secara berkala. Data suhu yang diperoleh kemudian diproses menggunakan metode Moving Average Filter (MAF) untuk mengurangi fluktuasi pembacaan sensor dan menghasilkan data yang lebih stabil. Selanjutnya, nilai Moving Average suhu digunakan untuk menghitung Rate of Rise (RoR) guna mengetahui laju kenaikan suhu dalam interval waktu tertentu. Hasil



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pengolahan berupa nilai suhu, RoR, konsentrasi gas, dan status flame sensor kemudian dikirimkan ke server web menggunakan protokol HTTP POST dalam format JSON. Setelah data diterima oleh server, sistem melakukan tahap pra-pemrosesan (*pre-processing*) sebelum data diproses menggunakan algoritma Decision Tree C4.5 untuk menentukan kondisi lingkungan ke dalam kategori aman, waspada, atau bahaya. Hasil klasifikasi kemudian ditampilkan pada antarmuka web dan disimpan ke dalam log history sebagai rekam data pemantauan. Apabila hasil klasifikasi menunjukkan kondisi bahaya, server akan mengirimkan sinyal perintah kepada ESP32 untuk mengaktifkan relay dan alarm sebagai tindakan peringatan dini terhadap potensi kebakaran.

4.3 Implementasi

Tahap implementasi sistem merupakan tahap realisasi dari perancangan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Implementasi ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu implementasi perangkat keras (*hardware*) yang mencakup perakitan komponen fisik, dan implementasi perangkat lunak (*software*) yang mencakup penulisan kode program pada mikrokontroler serta integrasi pengiriman data.

4.3.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merakit seluruh komponen elektronik yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, flame sensor, dan relay ke dalam satu *prototype*. Proses perakitan dilakukan menggunakan breadboard dan kabel jumper sebelum ditempatkan di dalam casing pelindung agar aman saat dipasang di lingkungan laboratorium.

Tabel 4. 3 Pinout perangkat keras

Komponen	Pin Sensor/Modul	Pin ESP32	Jalur Daya	Catatan Teknis
DS18B20	Data	D4	3.3V	Butuh Pull-up Resistor 4.7k ke 3.3V
MQ-2	A0 (Analog)	D34	5V(VIN)	Wajib Voltage Divider (10k & 20k)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Flame Sensor	D0 (Digital)	D32	3.3V	Mode Digital
Relay Module	IN (Signal)	D26	5V(VIN)	Active HIGH (BAHAYA Command)
Power ESP32	VIN	-	5V	Input Tegangan Utama
Power ESP32	3v3	-	3.3V	Output Internal untuk Logic
Ground	GND	-	-	Ground(Semua Modul)

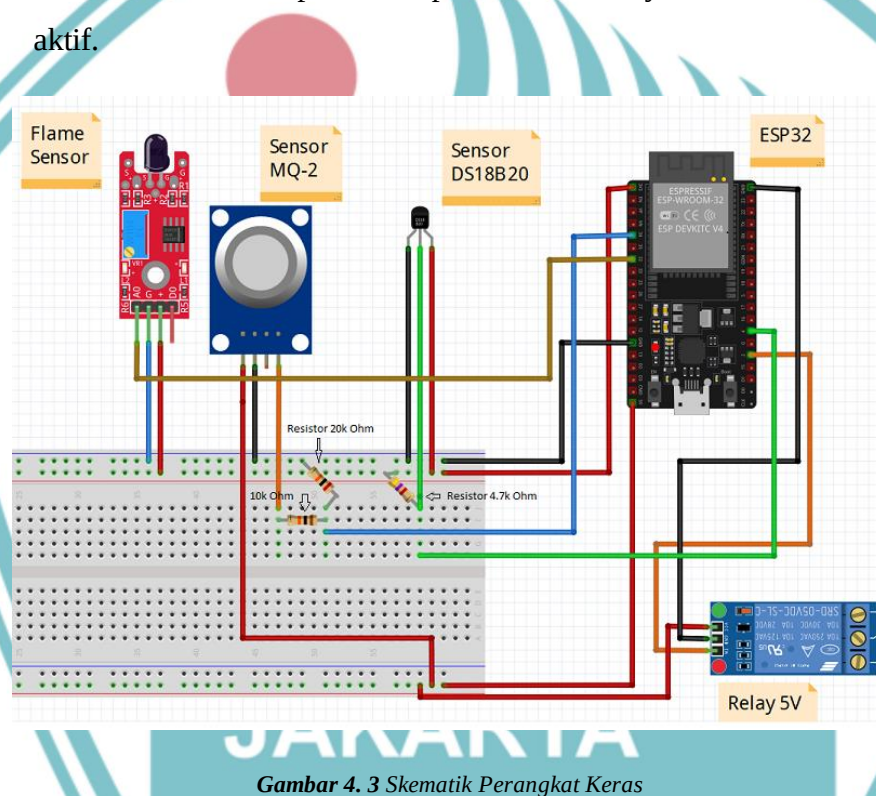
- a. Sensor Suhu DS18B20: Sensor DS18B20 dihubungkan pada pin GPIO 4 (D4) ESP32 melalui protokol komunikasi 1-Wire. Agar sinyal data dapat terbaca secara stabil oleh mikrokontroler, dipasang sebuah resistor pull-up bernilai 4,7 k Ω yang menghubungkan jalur data sensor ke rel 3,3V. Resistor ini bersifat wajib dalam protokol 1-Wire karena berfungsi menjaga kondisi jalur data pada level logika HIGH saat tidak ada transmisi berlangsung, sehingga mencegah pembacaan data yang tidak valid.
- b. Sensor Gas MQ-2: Sensor MQ-2 dihubungkan pada pin GPIO 34 (D34) ESP32 yang difungsikan sebagai masukan ADC (Analog to Digital Converter). Karena modul MQ-2 beroperasi pada tegangan 5V, keluaran analognya berpotensi menghasilkan tegangan melebihi batas toleransi 3,3V pada pin GPIO ESP32. Untuk mengatasi hal tersebut, diimplementasikan rangkaian pembagi tegangan menggunakan resistor 10 k Ω dan 20 k Ω yang menurunkan tegangan keluaran maksimal MQ-2.
- c. Flame Sensor: Flame sensor dihubungkan pada pin GPIO 32 (D32) ESP32 yang difungsikan sebagai masukan ADC. Modul ini disuplai langsung dari rel 3,3V sehingga tegangan keluaran analognya tidak melebihi batas logika ESP32 dan tidak memerlukan rangkaian pembagi tegangan tambahan. Pada implementasi ini, hanya pin keluaran digital (D0) yang dihubungkan ke mikrokontroler, sementara pin keluaran analog (A0) dibiarkan tidak terhubung.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- d. Relay: Modul relay dihubungkan pada pin GPIO 26 (D26) ESP32 yang difungsikan sebagai pin keluaran digital. Pin sinyal (IN) modul relay menerima perintah logika HIGH atau LOW dari ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator alarm secara fisik. Modul relay disuplai dari 5V untuk memastikan kecukupan daya dalam menggerakkan kumparan elektromagnetiknya. Aktivasi relay terjadi secara eksklusif hanya ketika server mengembalikan respons dengan nilai command "BAHAYA", sedangkan status "WASPADA" dan "AMAN" secara eksplisit mempertahankan relay dalam kondisi tidak aktif.



Gambar 4. 3 Skematik Perangkat Keras

Skematik perangkat keras sistem ini menunjukkan koneksi antara mikrokontroler ESP32 dengan tiga sensor dan satu aktuator. Sensor suhu DS18B20 terhubung ke pin GPIO 4 melalui protokol 1-Wire dengan resistor pull-up 4,7 k Ω untuk menstabilkan sinyal. Sensor gas MQ-2 terhubung ke pin GPIO 34 (ADC) dengan rangkaian pembagi tegangan (resistor 10 k Ω dan 20 k Ω) karena modul ini beroperasi pada 5V. Flame sensor terhubung ke pin GPIO 32 (ADC) dan disuplai langsung dari 3,3V sehingga tidak memerlukan pembagi tegangan tambahan. Relay sebagai aktuator alarm terhubung ke pin GPIO 26 dan hanya aktif ketika server



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengirimkan perintah status "BAHAYA". Seluruh komponen dirakit pada breadboard menggunakan kabel jumper.



Gambar 4. 4 Bentuk Casing Perangkat Keras

Bagian atas adalah modul sensor, yang terdiri dari sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, dan flame sensor. Ketiga sensor tersebut ditempatkan di dalam casing berwarna putih. Desain dipilih agar sensor langsung dihadapkan kondisi lingkungan sekitar, sehingga proses deteksi suhu, gas, maupun nyala api dapat berjalan secara akurat tanpa hambatan fisik yang berarti. Bagian bawah adalah modul kontrol, yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 dan modul relay. Kedua komponen ini ditempatkan di dalam casing berbentuk kotak berwarna hitam yang terpisah dari modul sensor. Pemisahan ini dilakukan untuk mencegah interferensi panas dari komponen kontrol terhadap pembacaan sensor suhu, sekaligus memudahkan akses kabel dan koneksi antar komponen. Casing dihubungkan melalui kabel jumper yang menghubungkan jalur sinyal sensor dengan pin GPIO ESP32 sesuai dengan konfigurasi perangkat keras.

4.3.2 Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Kode program yang ditanamkan pada ESP32 dirancang untuk mengeksekusi tiga fungsi utama: akuisisi data sensor, pemrosesan algoritma deteksi, dan komunikasi data via HTTP.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Inisialisasi dan Koneksi: Pada tahap awal, program melakukan pemanggilan library yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem. Library WiFiManager digunakan untuk konfigurasi koneksi Wi-Fi, OneWire dan DallasTemperature digunakan untuk membaca sensor suhu DS18B20, HTTPClient digunakan untuk pengiriman data melalui HTTP POST, ArduinoJson digunakan untuk membentuk data dalam format JSON, WiFiClientSecure digunakan untuk mendukung koneksi HTTPS, dan time.h digunakan untuk sinkronisasi waktu melalui internet. Selain itu, program juga mendefinisikan pin yang digunakan oleh setiap komponen. Flame sensor dihubungkan pada GPIO 32, sensor gas MQ-2 pada GPIO 34, sensor suhu DS18B20 pada GPIO 4, dan relay alarm pada GPIO 26. Pada bagian setup(), ESP32 melakukan inisialisasi Serial Monitor, relay, array sampel sensor, serta sensor suhu DS18B20. Setelah itu, ESP32 menghubungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi menggunakan WiFiManager dan melakukan sinkronisasi waktu menggunakan Network Time Protocol (NTP). Sinkronisasi waktu ini digunakan agar data yang dikirim ke server memiliki timestamp yang sesuai.

```

1  #include <WiFiManager.h>
2  #include <OneWire.h>
3  #include <DallasTemperature.h>
4  #include <HTTPClient.h>
5  #include <ArduinoJson.h>
6  #include <WiFiClientSecure.h>
7  #include <time.h>
8
9  #define PIN_FLAME 32
10 #define PIN_GAS 34
11 #define PIN_TEMP 4
12
13 const int pinRelayAlarm = 26;
14
15 OneWire oneWire(PIN_TEMP);
16 DallasTemperature sensorSuhu(&oneWire);
17
18 char apiServerURL[100] = "https://monitoring-inky.vercel.app/api/sensor";

```

Gambar 4.5 Kode Inisialisasi dan Koneksi Sistem

Gambar 4.5 menunjukkan proses inisialisasi library, konfigurasi pin sensor, relay, alamat API server, koneksi Wi-Fi menggunakan WiFiManager, serta sinkronisasi waktu melalui NTP. Proses ini



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- menjadi tahap awal agar ESP32 dapat membaca sensor, terhubung ke jaringan, dan mengirimkan data menuju server monitoring.
2. Pemrosesan Rate of Rise (RoR) dan Threshold Adaptif: Pada bagian loop(), ESP32 melakukan pembacaan data sensor secara periodik. Data yang dibaca meliputi nilai analog dari sensor gas MQ-2, nilai digital dari flame sensor, dan nilai suhu dari sensor DS18B20. Data suhu dan gas kemudian disimpan ke dalam array sampel untuk menghitung nilai moving average. Moving average digunakan untuk memperhalus pembacaan sensor agar nilai yang digunakan tidak terlalu dipengaruhi oleh perubahan sesaat. Setelah jumlah sampel terpenuhi, sistem menghitung nilai Rate of Rise (RoR) berdasarkan selisih moving average suhu saat ini dengan moving average suhu sebelumnya. Nilai RoR digunakan untuk mengetahui laju kenaikan suhu dalam interval pembacaan tertentu, sehingga sistem dapat mendeteksi adanya kenaikan suhu yang tidak normal.

```

sampelGas[indexArray] = nilaiGasMentah;
sampelSuhu[indexArray] = suhuMentah;
indexArray++;

if (indexArray < jumlahSampel) return;
indexArray = 0;
bufferPenuh = true;

float totalGasPPM = 0.0;
float totalSuhu = 0.0;

for (int i = 0; i < jumlahSampel; i++) {
    totalGasPPM += sampelGas[i];
    totalSuhu += sampelSuhu[i];
}

maGasSaatIni = totalGasPPM / jumlahSampel; // Hasil murni MA PPM
maSuhuSaatIni = totalSuhu / jumlahSampel;

float deltaT = (jumlahSampel * intervalKalkulasi) / 1000.0;
rorSuhuDariMA = (maSuhuSaatIni - maSuhuSebelumnya) / deltaT;
  
```

Gambar 4. 6 Kode Perhitungan Moving Average dan Rate of Rise (RoR)

Gambar 4.6 menunjukkan proses pemrosesan data sensor pada ESP32. Nilai suhu dan gas disimpan ke dalam array sampel untuk menghitung nilai moving average. Nilai moving average suhu kemudian digunakan untuk menghitung nilai Rate of Rise (RoR), yaitu laju perubahan suhu berdasarkan selisih nilai rata-rata suhu saat ini dan sebelumnya. Karena



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem menggunakan Moving Average Filter dengan sampel sebanyak 5 data dan interval pembacaan 1 detik, maka waktu akumulasi untuk satu siklus perhitungan adalah 5 detik. Oleh karena itu, interval waktu ditetapkan secara dinamis sebesar 5 detik agar laju kenaikan suhu merepresentasikan rentang waktu aktual. Pada proses pemrosesan data sensor, sistem menggunakan perhitungan moving average untuk memperhalus nilai pembacaan sensor. Moving average dihitung dari jumlah beberapa sampel pembacaan sensor yang dibagi dengan jumlah sampel yang digunakan. Pada sistem ini, jumlah sampel yang digunakan adalah lima data pembacaan.

$$\text{Moving Average} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5}$$

Keterangan:

x_1 sampai x_5 = data pembacaan sensor

5 = jumlah sampel yang digunakan

Rumus tersebut digunakan agar nilai sensor yang diproses tidak hanya bergantung pada satu pembacaan sesaat. Berdasarkan hasil pembacaan pada Serial Monitor, nilai suhu mentah dan moving average memiliki selisih yang kecil pada kondisi normal. Hal ini menunjukkan bahwa moving average membantu menjaga kestabilan data sebelum digunakan dalam perhitungan Rate of Rise (RoR).

$$\text{RoR} = \frac{T_t - T_{t-1}}{\Delta t}$$

RoR : Laju kenaikan suhu (°C/detik)

$T_{\{t\}}$: MA Suhu saat ini

$T_{\{t-1\}}$: MA Suhu sebelumnya

Δt : Interval waktu pengambilan sampel

Hal ini menunjukkan bahwa RoR dapat digunakan untuk mengenali perubahan suhu secara bertahap sebelum sistem menetapkan kondisi bahaya.

3. Validasi Multisensor: Data RoR yang menunjukkan adanya kenaikan suhu tidak langsung digunakan untuk mengaktifkan alarm. Sistem tetap



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

melakukan validasi menggunakan parameter lain, yaitu pembacaan sensor gas MQ-2 dan flame sensor. Validasi multisensor ini bertujuan agar sistem tidak hanya bergantung pada satu parameter saja, sehingga potensi terjadinya false alarm dapat dikurangi. Selain validasi multisensor, sistem juga dilengkapi dengan mekanisme fail-safe offline. Mekanisme ini bekerja ketika ESP32 tidak terhubung ke jaringan Wi-Fi atau tidak dapat mengirimkan data ke server. Pada kondisi tersebut, ESP32 tetap dapat memberikan respons lokal apabila flame sensor mendeteksi indikasi nyala api. Jika kondisi tersebut terpenuhi, relay alarm akan aktif sebagai bentuk respons awal terhadap potensi bahaya.

4. Pengiriman Data HTTP POST: Setelah data sensor diproses ESP32 membentuk data dalam format JSON menggunakan library ArduinoJson. Data yang dikirimkan meliputi timestamp, nilai flame sensor, nilai gas mentah, suhu mentah, moving average gas, moving average suhu, dan nilai RoR suhu. Penggunaan timestamp bertujuan agar setiap data yang dikirim memiliki informasi waktu pengiriman yang sesuai. Data JSON yang telah dibentuk kemudian dikirimkan ke endpoint API server menggunakan metode HTTP POST. Pengiriman ini dilakukan ketika ESP32 berada dalam kondisi online atau terhubung ke jaringan Wi-Fi. Data yang dikirimkan selanjutnya akan diproses oleh server sebagai input untuk menentukan status kondisi sistem.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

342 Serial.print("[SUHU] Mentah: ");
343 Serial.print(suhuMentah, 2);
344 Serial.print(" | MA: ");
345 Serial.print(maSuhuSaatIni, 2);
346 Serial.print(" | RoR: ");
347 Serial.println(rorSuhuDariMA, 4);
348
349 Serial.print("[GAS ] Mentah: ");
350 Serial.print(nilaiGasMentah);
351 Serial.print(" | MA: ");
352 Serial.println(maGasSaatIni);
353
354 Serial.print("[FLAME] Mentah: ");
355 Serial.println(nilaiApiMentah);
356
357 if (!isOffline) {
358     time_t waktuKirimEpoch = time(nullptr);
359
360     StaticJsonDocument<256> doc;
361
362     doc["timestamp"] = waktuKirimEpoch;
363     doc["api_mentah"] = nilaiApiMentah;
364     doc["gas_mentah"] = nilaiGasMentah;
365     doc["suhu_mentah"] = suhuMentah;
366     doc["ma_gas"] = maGasSaatIni;
367     doc["ma_suhu"] = maSuhuSaatIni;
368     doc["ror_suhu"] = rorSuhuDariMA;
369
370     String requestBody;
371     serializeJson(doc, requestBody);
372
373     HttpResult httpResult = sendPostRequest(apiServerURL, requestBody);

```

Gambar 4. 7 Kode Pembentukan JSON dan Pengiriman Data HTTP POST

Gambar 4.7 menunjukkan proses pembentukan payload JSON yang berisi data sensor dan hasil pemrosesan awal. Payload tersebut kemudian dikirimkan menuju endpoint API server menggunakan metode HTTP POST melalui fungsi `sendPostRequest()`.

5. Aktivasi Relay Berdasarkan Respons API: Setelah data berhasil dikirimkan ke server, ESP32 membaca respons API yang diterima. Respons tersebut berisi command berupa status AMAN, WASPADA, atau BAHAYA. Status ini digunakan sebagai dasar pengendalian relay alarm pada perangkat keras. Apabila command yang diterima bernilai BAHAYA, maka ESP32 akan mengaktifkan relay alarm dengan memberikan logika HIGH pada pin relay. Sebaliknya, apabila command yang diterima bernilai AMAN atau WASPADA, maka relay berada dalam kondisi tidak aktif. Dengan mekanisme ini, ESP32 tidak hanya berfungsi sebagai perangkat pembaca dan pengirim data sensor, tetapi juga sebagai pengendali aktuator berdasarkan hasil keputusan dari server.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

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
    if (!error && responseDoc.containsKey("command")) {
        String command = responseDoc["command"].as<String>();

        Serial.print("[RESPON API]      : ");
        Serial.println(command);

        if (command == "BAHAYA") {
            totalBahayaBerhasil++;
            digitalWrite(pinRelayAlarm, HIGH);
            statusAlarmAktif = true;
            Serial.println(">> [RELAY] ON - Status: BAHAYA");
        }
        else if (command == "WASPADA") {
            totalWaspadaBerhasil++;
            digitalWrite(pinRelayAlarm, LOW);
            statusAlarmAktif = false;
            Serial.println(">> [RELAY] OFF - Status: WASPADA");
        }
        else if (command == "AMAN") {
            totalAmanBerhasil++;
            digitalWrite(pinRelayAlarm, LOW);
            statusAlarmAktif = false;
            Serial.println(">> [RELAY] OFF - Status: AMAN");
        }
        else {
            totalStatusLainBerhasil++;
            digitalWrite(pinRelayAlarm, LOW);
            statusAlarmAktif = false;
            Serial.print(">> [RELAY] OFF - Status: ");
            Serial.println(command);
        }
    } else {
        Serial.println("[RESPON API]      : FORMAT RESPONS TIDAK VALID");
    }
  } else {
    if (httpResult.httpCode > 0) {
        Serial.println("[RESPON API]      : GAGAL MEMPROSES DATA");
    } else {
        Serial.println("[RESPON API]      : TIDAK ADA RESPONS");
    }
  }
}

printQoS(httpResult);

```

Gambar 4. 8 Kode Pembacaan Respons API dan Aktivasi Relay

Gambar 4.8 menunjukkan proses pembacaan respons API oleh ESP32. Jika respons berisi status BAHAYA, maka relay alarm akan diaktifkan. Jika respons berisi status AMAN atau WASPADA, maka relay tetap berada dalam kondisi tidak aktif.

4.4 Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk memverifikasi bahwa sistem deteksi dini kebakaran yang telah diimplementasikan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Pengujian mencakup tiga aspek utama, yaitu pengujian fungsional untuk memastikan setiap komponen bekerja dengan benar, pengujian non-fungsional untuk mengukur kinerja sistem berdasarkan waktu



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

deteksi dan tingkat *false alarm*, serta pengujian *Quality of Service* (QoS) untuk mengevaluasi performa pengiriman data dari ESP32 ke server melalui protokol HTTP POST.

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian sistem dilakukan terhadap sistem deteksi dini kebakaran yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor gas/asap MQ-2, flame sensor, serta relay sebagai aktuator alarm. Sistem diuji dalam dua kondisi utama, yaitu kondisi lingkungan normal dan kondisi simulasi indikasi kebakaran. Kondisi simulasi dilakukan dengan memberikan paparan panas, gas/asap, dan nyala api secara terkontrol untuk mengetahui respons sistem terhadap perubahan parameter lingkungan. Secara umum, pengujian dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

1. Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen utama sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pengujian akurasi dilakukan dengan menyandingkan pembacaan suhu DS18B20 terhadap termometer digital standar untuk melihat persentase error dan kesesuaian nilai Rate of Rise (RoR). Pengujian sensitivitas dilakukan untuk membuktikan bahwa sensor MQ-2 mampu merespons lonjakan gas dengan instrumen acuan (Air Quality Monitor), serta memverifikasi bahwa flame sensor mampu mendeteksi perubahan intensitas nyala api dalam bentuk sinyal digital. Selain itu, pengujian ini juga memverifikasi keberhasilan pengiriman data menuju server dan aktivasi relay.

2. Pengujian Non-Fungsional / Kinerja Deteksi

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran. Parameter yang diamati adalah waktu deteksi, yaitu selisih waktu sejak adanya paparan kondisi uji hingga sistem menghasilkan status peringatan. Pengujian ini juga digunakan sebagai dasar perbandingan antara



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem yang menggunakan metode RoR dengan threshold adaptif multisensor dan sistem RoR dengan threshold statis.

3. Pengujian False Alarm

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menghindari peringatan bahaya yang tidak sesuai pada kondisi lingkungan normal. Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem dalam kondisi tanpa simulasi kebakaran dan mengamati apakah terdapat status bahaya yang muncul secara tidak semestinya. Hasil pengujian ini menjadi indikator dalam menilai efektivitas penerapan threshold adaptif dan validasi multisensor untuk meminimalkan kesalahan deteksi.

4. Pengujian Quality of Service

Pengujian QoS dilakukan untuk mengevaluasi proses pengiriman data dari ESP32 menuju server menggunakan protokol HTTP POST. Parameter yang diamati adalah delay, yaitu waktu yang dibutuhkan sejak data dikirim hingga respons diterima dari server, serta packet loss, yaitu persentase data yang gagal dikirim selama proses pengujian. Pengukuran dilakukan secara otomatis melalui pencatatan timestamp pada program ESP32 selama sistem beroperasi.

Data hasil pengujian selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi untuk menilai kinerja sistem dari sisi kecepatan respons, kestabilan pengiriman data, dan ketepatan deteksi terhadap indikasi kebakaran dini.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan empat jenis pengujian yang telah dijelaskan pada bagian deskripsi pengujian, yaitu pengujian fungsional, pengujian kinerja deteksi, pengujian false alarm, dan pengujian Quality of Service (QoS). Setiap pengujian dilakukan untuk memperoleh data yang digunakan pada tahap hasil pengujian dan evaluasi sistem.

1. Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Tahap awal dilakukan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dengan menyalakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, flame sensor, dan relay. Setelah perangkat aktif, ESP32 dihubungkan ke jaringan Wi-Fi agar dapat mengirimkan data sensor menuju server melalui protokol HTTP POST.

```

18:10:15.130 -> [SAMPLE 1/5] Suhu: 33.00 | Gas PPM: 1.31 | Flame: 0
18:10:16.153 -> [SAMPLE 2/5] Suhu: 33.00 | Gas PPM: 1.43 | Flame: 0
18:10:17.130 -> [SAMPLE 3/5] Suhu: 33.00 | Gas PPM: 1.43 | Flame: 0
18:10:18.174 -> [SAMPLE 4/5] Suhu: 33.00 | Gas PPM: 1.60 | Flame: 0
18:10:19.150 -> [SAMPLE 5/5] Suhu: 33.00 | Gas PPM: 1.29 | Flame: 0
18:10:19.150 -> -----
18:10:19.150 -> [MA REPORT - tiap 5 detik]
18:10:19.150 -> [SUHU] MA: 33.00 | RoR: 0.0000
18:10:19.150 -> [GAS ] MA PPM: 1.41
18:10:19.150 -> [FLAME] Digital: 0
18:10:21.027 -> [HTTP] Response : Success (200)
18:10:21.027 -> [RESPON API] : AMAN
18:10:21.027 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
  
```

Gambar 4. 9 Pengambilan Data Pengujian Fungsional Sistem

Pengambilan data dilakukan dengan mengamati tampilan Serial Monitor pada Arduino IDE. Data yang dicatat meliputi nilai suhu, nilai Rate of Rise (RoR), nilai sensor gas, nilai flame sensor, status koneksi Wi-Fi, status pengiriman HTTP POST, respons API dari server, serta kondisi relay. Data dari Serial Monitor kemudian dibandingkan dengan data yang tersimpan pada database untuk memastikan bahwa data yang dikirim oleh ESP32 berhasil diterima dan disimpan oleh sistem. Pengujian akurasi dan sensitivitas sensor dilakukan dengan memberikan simulasi parameter secara langsung dan membandingkannya dengan alat ukur acuan. Pengujian suhu DS18B20 dilakukan dengan memberikan paparan panas dari korek api secara bertahap, kemudian nilainya dibandingkan dengan termometer digital. Pengujian MQ-2 dilakukan dengan memberikan paparan asap, lalu lonjakan nilainya dibandingkan dengan parameter CO dan PM2.5 pada Air Quality Monitor. Sementara itu, pengujian flame sensor dilakukan dengan meletakkan sumber api pada jarak tertentu, lalu memvariasikan besaran sumber api (kecil, sedang, besar) untuk mengetahui pada titik intensitas mana sensor akan memberikan logika digital (1) sebagai validasi nyala api.

2. Pengujian Non-Fungsional / Kinerja Deteksi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian kinerja deteksi dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan yang mengarah pada indikasi kebakaran dini. Pengujian dilakukan dengan memberikan simulasi paparan panas, gas/asap, dan nyala api secara terkontrol pada masing-masing sensor.

Pada pengujian paparan panas, sumber panas diberikan di sekitar sensor DS18B20 untuk melihat perubahan nilai suhu dan nilai RoR.



Gambar 4. 10 Dokumentasi Pengujian Paparan Panas

Pada pengujian gas/asap, paparan gas atau asap diberikan di sekitar sensor MQ-2 untuk mengetahui perubahan nilai pembacaan gas sebagai parameter validasi sistem.



Gambar 4. 11 Dokumentasi Pengujian Gas/Asap



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada pengujian flame sensor, sumber nyala api didekatkan secara aman ke sensor untuk melihat perubahan nilai sensor terhadap keberadaan api.



Gambar 4. 12 Dokumentasi Pengujian Flame Sensor

Cara pengambilan data dilakukan dengan mencatat waktu saat simulasi mulai diberikan, nilai suhu, nilai RoR, nilai moving average gas, nilai flame sensor, status sistem yang dihasilkan, serta kondisi relay. Data tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan status sistem dari AMAN, WASPADA, hingga BAHAYA.

3. Pengujian False Alarm

Pengujian false alarm dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat membedakan kondisi bahaya sebenarnya dengan perubahan lingkungan yang belum menunjukkan indikasi kebakaran kuat. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan pada salah satu parameter sensor, misalnya paparan panas tanpa adanya gas/asap dan nyala api.

```
15:01:36.142 -> [SUHU] Mentah: 35.06 | MA: 33.51 | RoR: 0.2000
15:01:36.142 -> [GAS ] Mentah: 369 | MA: 482
15:01:36.142 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:37.791 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:37.791 -> [RESPON API] : WASPADA
15:01:37.791 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
```

Gambar 4. 13 Pengambilan Data Pengujian False Alarm

Cara pengambilan data dilakukan dengan mencatat nilai suhu, RoR, gas, flame sensor, status sistem, dan kondisi relay pada saat hanya satu



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

parameter mengalami perubahan. Apabila sistem hanya menghasilkan status WASPADA dan relay tetap OFF, maka sistem dinilai mampu menekan potensi false alarm. Data pengujian ini digunakan untuk melihat efektivitas threshold adaptif dan validasi multisensor dalam mencegah alarm aktif secara tidak tepat.

4. Pengujian Quality of Service

Pengujian Quality of Service (QoS) dilakukan untuk mengevaluasi kualitas komunikasi data antara ESP32 dan server. Pengujian dilakukan saat sistem mengirimkan data sensor secara periodik melalui protokol HTTP POST. Cara pengambilan data dilakukan melalui Serial Monitor saat sistem berjalan. Data yang dicatat meliputi delay, throughput, jumlah pengiriman data, jumlah pengiriman berhasil, jumlah pengiriman gagal, packet loss, dan rata-rata delay. Tampilan Serial Monitor saat proses pengujian berlangsung ditunjukkan pada Gambar 4.14.

```
15:18:28.509 -> [SUHU] Mentah: 36.69 | MA: 36.71 | RoR: -0.0062
15:18:28.544 -> [GAS ] Mentah: 82 | MA: 81
15:18:28.544 -> [FLAME] Mentah: 3968
15:18:30.133 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:18:30.133 -> [RESPON API] : WASPADA
15:18:30.133 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:18:30.178 -> ----- [QoS] -----
15:18:30.178 -> [QoS] Delay : 1608 ms
15:18:30.178 -> [QoS] Throughput : 537.31 bps
15:18:30.178 -> [QoS] Total Kirim : 1161
15:18:30.178 -> [QoS] Berhasil : 1156
15:18:30.178 -> [QoS] Gagal : 5
15:18:30.178 -> [QoS] Packet Loss : 0.43 %
15:18:30.178 -> [QoS] Avg Delay : 1746.25 ms
15:18:30.178 -> -----
```

Gambar 4. 14 Tampilan Saat Pengujian Berlangsung

Data QoS digunakan untuk mengetahui kestabilan proses pengiriman data sensor dari ESP32 menuju server. Semakin kecil nilai packet loss dan semakin stabil nilai delay, maka komunikasi data sistem dapat dikatakan berjalan cukup baik.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diperoleh dari proses pengoperasian sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dirancang dan diimplementasikan. Pengujian dilakukan untuk melihat respons sistem terhadap beberapa kondisi, yaitu kondisi lingkungan normal, paparan panas, paparan gas/asap, dan paparan nyala api. Data yang diamati meliputi pembacaan sensor suhu DS18B20, nilai *Rate of Rise* (RoR), pembacaan sensor gas MQ-2, nilai digital flame sensor, respons API server, status sistem, serta aktivasi relay sebagai aktuator.

1. Hasil Pengujian Fungsional

Hasil pengujian ini diperoleh dari pengamatan terhadap kemampuan sistem dalam membaca data sensor secara presisi, memproses nilai rata-rata bergerak (moving average), menghitung *Rate of Rise* (RoR), serta memvalidasi korelasi pembacaan terhadap instrumen ukur terkalibrasi. Pengujian ini krusial untuk memastikan bahwa setiap komponen node sensor beroperasi secara akurat sebelum data diproses oleh server.

Pengujian sensor DS18B20 dilakukan untuk mengukur tingkat presisi pembacaan suhu lingkungan dibandingkan dengan instrumen termometer digital (HTC-1) sebagai acuan (ground truth). Pengujian ini menerapkan beberapa variasi skenario suhu, mulai dari suhu ruangan berpendingin (AC), suhu ruang normal, penurunan suhu, hingga pemaparan panas buatan menggunakan korek api. Data yang diamati meliputi nilai suhu sensor, suhu termometer acuan, persentase error, serta kalkulasi *Rate of Rise* (RoR).

Tabel 4. 4 Pengujian Akurasi Sensor DS18B20

No	Kondisi Uji	Suhu DS18B20	Suhu HTC-1	Error (%)
1	Suhu Ruangan Dingin (AC)	22.0	22.0	0.0%
2	Suhu Ruangan Normal (Tanpa AC)	28.3	29.3	2.41%



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	Kenaikan Suhu Ruangan Normal (Tanpa AC)	32.4	32.4	0.0%
4	Paparan Panas Awal (Korek Didekatkan)	33.7	33.1	1.81%
5	Paparan Panas Api (Korek Menyala)	33.9	33.2	2.11%
Nilai Rata-Rata Error				1.27%

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.4, sensor suhu DS18B20 menunjukkan performa dan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan rata-rata error keseluruhan hanya sebesar 1.27%. Pada kondisi lingkungan yang stabil, seperti pada suhu ruangan berpendingin (AC) dan suhu ruangan normal, sensor mampu mencapai akurasi mutlak dengan tingkat error 0.0% terhadap instrumen acuan (HTC-1).

Adanya persentase error kecil yang terdeteksi pada skenario transisi suhu (2.41%) dan paparan panas korek api (1.81% hingga 2.11%) murni disebabkan oleh perbedaan karakteristik waktu respons termal (thermal response time). Sensor DS18B20 yang terekspos langsung ke udara mampu merespons lonjakan suhu titik lokal secara instan, sedangkan instrumen acuan HTC-1 membutuhkan waktu perambatan panas yang sedikit lebih lama pada layar pembacaannya. Secara keseluruhan, nilai rata-rata kesalahan 1.27% membuktikan bahwa sensor DS18B20 pada sistem ini sangat presisi, menjadikannya valid sebagai variabel utama dalam mengeksekusi algoritma Rate of Rise (RoR).

Pengujian sensor MQ-2 tidak difokuskan pada pengujian nilai absolut, melainkan pada korelasi respons nilai moving average gas terhadap instrumen pembanding Air Quality Detector. Pengujian dilakukan dengan memaparkan asap dari hasil pembakaran material uji untuk memverifikasi bahwa lonjakan estimasi kepadatan asap (PPM) pada MQ-2 selaras dengan lonjakan pembacaan parameter gas beracun (CO) dan partikel (PM2.5) pada instrumen acuan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 5 Pengujian Sensitivitas MQ-2 dengan Instrumen Air Quality Detector

No	Kondisi Uji	Nilai MQ-2 (PPM)	AQD (CO2 PPM)	Kenaikan MQ-2 (PPM)	Kenaikan AQD (CO2 PPM)
1	Udara Bersih (Normal)	13.7	412	-	-
2	Paparan Asap Tipis	146.4	1139	+132.7	+727
3	Paparan Asap Sedang	178.3	1671	+31.9	+532
4	Paparan Asap Tebal	197.6	1972	+19.3	+301

Pengujian dilakukan untuk memvalidasi respons sensor MQ-2 terhadap berbagai tingkat kepadatan asap rokok sebagai simulasi polutan udara. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, terdapat perbedaan nilai absolut antara pembacaan sensor MQ-2 dan instrumen acuan (Air Quality Detector). Perbedaan ini bersifat teknis karena adanya disparitas prinsip kerja instrumen: sensor MQ-2 beroperasi berdasarkan perubahan resistansi material semikonduktor terhadap gas, sedangkan instrumen acuan memanfaatkan sensor optik untuk mengukur konsentrasi polutan.

Meskipun demikian, data menunjukkan adanya konsistensi kenaikan yang searah antara sensor MQ-2 dan alat detector pada setiap tingkat paparan. Peningkatan nilai pada sensor MQ-2 dari kondisi normal (13.7 PPM) hingga mencapai paparan tebal (197.6 PPM) menunjukkan korelasi yang linier terhadap kenaikan polutan yang terdeteksi oleh instrumen acuan. Fenomena ini membuktikan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang sangat baik dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara real-time. Dalam sistem deteksi dini kebakaran ini, konsistensi tren kenaikan jauh lebih krusial dibandingkan nilai absolut, karena tren tersebut merupakan parameter utama bagi algoritma Rate of Rise (RoR) dalam memicu alarm secara presisi dan akurat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 6 Data Pengujian Sebelum dan Sesudah Moving Average (MA) pada Sensor MQ-2

No	Sampel (PPM)	MA Output (PPM)
1	22.63, 24.99, 23.35, 24.69, 25.45	24.22
2	14.88, 17.50, 16.45, 15.43, 16.79	16.21
3	66.26, 89.55, 84.05, 68.09, 59.58	73.51
4	31.10, 24.99, 27.36, 29.53, 27.85	28.17
5	38.98, 45.09, 46.25, 47.20, 47.20	44.94

Tabel 4.6 menampilkan data mentah pembacaan sensor MQ-2 sebanyak 5 sampel setiap 5 detik beserta nilai moving average (MA) yang dihasilkan. Data diambil pada kondisi pengujian paparan asap dari pembakaran kertas, sehingga terlihat lonjakan nilai gas pada window ke-3 (rata-rata 73.51 PPM) sebelum kembali menurun bertahap pada window ke-4 dan ke-5. Menunjukkan bahwa kenaikan sampel-ke-sampel meningkat seiring naiknya konsentrasi gas.

Pengujian sensitivitas flame sensor bertujuan untuk memverifikasi kepekaan sensor dalam menangkap spektrum inframerah dari nyala api. Pengujian ini menetapkan jarak penempatan sensor secara statis di jarak 10 cm, kemudian memvariasikan besaran sumber nyala api dari kecil hingga besar untuk mengetahui pada tingkat intensitas mana sensor akan memberikan logika digital 1 (terdeteksi) sebagai validasi mutlak kondisi kebakaran.

Tabel 4. 7 Pengujian Sensitivitas Flame Sensor

No	Kondisi Uji	Nilai Flame Sensor	Status Deteksi	Respon Sistem
1	Tanpa Api	0	Tidak terdeteksi	AMAN
2	Nyala Api Kecil	0	Tidak terdeteksi	AMAN
3	Nyala Api Sedang	1	Terdeteksi	BAHAYA
4	Nyala Api Besar	1	Terdeteksi	BAHAYA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan Tabel 4.7, flame sensor merespons keberadaan gelombang inframerah dalam bentuk sinyal biner yang bergantung pada intensitas pancaran api. Pada jarak pengujian yang tetap, besaran fisik api memengaruhi pencapaian ambang batas (threshold) dari sensor. Ketika intensitas api cukup besar dan pembacaan logika berubah menjadi 1, sistem meresponsnya sebagai deteksi valid dan memprioritaskannya untuk mengaktifkan status BAHAYA.

Tabel 4. 8 Tampilan Hasil Pembacaan Data Sensor dan Pengiriman Data

Timestamp	Komponen	Parameter	Hasil	Keterangan
15:17:11	DS18B20	Nilai RoR	RoR : 0.00	Terbaca stabil dengan perhitungan sesuai laju kenaikan suhu
15:17:11	DS18B20	Moving Average	MA : 36.74 °C	Terbaca normal untuk perhitungan RoR
15:17:11	MQ-2	Moving Average (PPM)	MA Gas : 13.7 PPM	Berjalan sesuai algoritma perhitungan average
15:17:11	Flame	Nilai Digital	Mentah : 0	Tidak terdeteksi api
15:17:13	Pengiriman HTTP POST	HTTP Status	Success : 200	Data berhasil dikirim ke server

Berdasarkan Tabel 4.8, Serial Monitor menampilkan hasil pembacaan data dari sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-2, dan flame sensor secara periodik. Selain data sensor, sistem juga menampilkan nilai hasil pemrosesan awal, seperti perhitungan *Rate of Rise* (RoR), nilai baseline, serta threshold adaptif yang digunakan dalam proses deteksi. Tampilan ini menunjukkan bahwa program pada ESP32 telah mampu melakukan akuisisi data sensor dan menjalankan proses pengolahan data sesuai dengan logika sistem yang dirancang.

Tabel 4. 9 Penerimaan Data HTTP & Respons API Kondisi Tertentu

Timestamp	Komponen	Hasil	Keterangan
19:58:04	API	AMAN	Penerimaan klasifikasi status : AMAN



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

19:58:04	Relay	OFF	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status
19:58:06	API	AMAN	Penerimaan klasifikasi status : AMAN
19:58:06	Relay	OFF	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status
19:58:10	API	WASPADA	Penerimaan klasifikasi status : WASPADA
19:58:10	Relay	OFF	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status
19:58:12	API	WASPADA	Penerimaan klasifikasi status : WASPADA
19:58:12	Relay	OFF	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status
19:58:27	API	BAHAYA	Penerimaan klasifikasi status : BAHAYA
19:58:27	Relay	ON	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status
19:58:29	API	BAHAYA	Penerimaan klasifikasi status : BAHAYA
19:58:29	Relay	ON	Respon terbaca normal dan stabil dengan realtime saat penerimaan status

Tabel 4.9 menunjukkan proses pengiriman data dari ESP32 menuju server melalui protokol HTTP POST. Informasi “HTTP Response: Success (200)” menandakan bahwa data berhasil dikirim dan diterima oleh endpoint API. Setelah data diproses, server mengembalikan respons klasifikasi berupa status “AMAN” yang ditampilkan pada Serial Monitor sebagai “RESPON API”. Pada kondisi ini, relay tetap berada dalam keadaan tidak aktif karena tidak terdapat perintah bahaya dari server. Pada tabel tersebut juga menunjukkan kondisi ketika server mengembalikan respons klasifikasi berupa status “BAHAYA” setelah memproses data sensor yang dikirim oleh ESP32. Respons tersebut diterima oleh perangkat dan digunakan sebagai dasar untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengaktifkan relay alarm. Pada Serial Monitor terlihat informasi keberhasilan komunikasi HTTP, respons API berupa “BAHAYA”, serta pesan aktivasi relay yang menandakan bahwa perintah dari server telah berhasil dieksekusi oleh perangkat keras.

2. Hasil Pengujian Non-Fungsional / Kinerja Deteksi

Pengujian non-fungsional pada tahap ini dititikberatkan pada evaluasi kinerja sistem dalam merespons perubahan parameter lingkungan secara real-time. Kinerja sistem tidak hanya dinilai dari kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi kebakaran, tetapi juga dari waktu yang dibutuhkan sistem untuk menghasilkan perubahan status peringatan sejak kondisi uji mulai diberikan. Pada pengujian ini, parameter yang diamati meliputi waktu pengambilan data, nilai Rate of Rise (RoR), nilai moving average gas, nilai flame sensor, status sistem, kondisi relay, serta durasi respons sistem. Durasi respons dihitung berdasarkan selisih waktu antara kondisi awal pengujian dengan waktu ketika sistem menghasilkan status WASPADA atau BAHAYA. Rangkuman hasil pengujian kinerja deteksi multisensor ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kinerja Deteksi Multisensor

Waktu	RoR	MA Gas	Flame	Status	Relay	Keterangan
15:01:15	0	174	0	AMAN	OFF	Kondisi awal sistem stabil
15:01:25	0.0063	315	0	WASPADA	OFF	Sistem mulai mendeteksi anomali gas/asap, tetapi relay belum aktif karena belum tervalidasi sebagai bahaya
15:01:38	0.9375	450	0	BAHAYA	ON	Sistem menetapkan kondisi bahaya setelah terjadi lonjakan RoR dan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

						peningkatan parameter pendukung
--	--	--	--	--	--	---------------------------------

Berdasarkan Tabel 4.10, sistem membutuhkan waktu 10 detik untuk mengubah status dari AMAN menjadi WASPADA sejak kondisi awal pengujian. Status WASPADA muncul ketika sistem mulai membaca adanya perubahan parameter lingkungan, namun relay tetap berada dalam kondisi OFF karena indikasi bahaya belum tervalidasi secara penuh oleh kombinasi multisensor. Selanjutnya, sistem membutuhkan waktu 23 detik dari kondisi awal hingga menghasilkan status BAHAYA. Pada kondisi ini, nilai RoR meningkat hingga 0.9375 °C/s dan nilai moving average gas meningkat menjadi 450. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu mendeteksi adanya perubahan kondisi lingkungan, tetapi juga mampu memberikan respons secara bertahap berdasarkan tingkat risiko yang terbaca oleh sensor.

Dengan demikian, kinerja deteksi sistem dapat dilihat dari dua hal, yaitu kecepatan sistem dalam menghasilkan status peringatan dan ketepatan sistem dalam mengaktifkan relay hanya pada saat status BAHAYA. Relay tidak aktif pada status WASPADA, sehingga sistem dapat mengurangi potensi false alarm akibat perubahan parameter tunggal yang belum menunjukkan indikasi kebakaran kuat.

3. Hasil Pengujian False Alarm

Pengujian false alarm dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membedakan kondisi anomali tunggal dengan kondisi bahaya yang benar-benar membutuhkan aktivasi alarm. Pengujian dilakukan melalui beberapa skenario, yaitu paparan panas, paparan gas/asap, dan paparan nyala api. Parameter yang diamati meliputi suhu mentah, nilai *Rate of Rise* (RoR), *moving average* gas, nilai flame sensor, respons API, status sistem, dan kondisi relay.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian False Alarm dan Validasi Multisensor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Kondisi Uji	Sistem Statis				Sistem Dinamis
		Suhu	Gas	Flame	Status	Status
1	Paparan Panas (Hairdryer)	42.56	92	0	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif
2	Paparan Panas (Korek Api)	38.34	142	0	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif
3	Paparan Gas / Asap (Korek api)	28.23	312	0	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif
4	Paparan Gas / Asap (Pembakaran Kertas)	33.00	427	0	Alarm Aktif	Alarm Aktif
5	Nyala Api	36.00	103	1	Alarm Aktif	Alarm Aktif

Berdasarkan Tabel 4.11, terdapat perbedaan signifikan pada pengambilan keputusan aktual antara kedua sistem. Sistem yang mengandalkan threshold statis menunjukkan kelemahan saat menghadapi fluktuasi lingkungan tunggal. Pada skenario uji 1 dan 2 (paparan panas), sistem statis langsung membunyikan alarm karena nilai suhu sesaat menembus batas absolut 38°C. Hal yang sama terjadi pada skenario uji 3 dan 4, di mana sistem statis kembali membunyikan alarm karena kepadatan gas menembus batas 300 PPM. Pada 4 skenario non-kebakaran tersebut, sistem statis mencatatkan 4 kali peringatan palsu dari 4 kali percobaan, yang berarti tingkat kegagalan (False Alarm Rate) mencapai 100%.

Sebaliknya, sistem dinamis menggunakan pendekatan yang lebih terstruktur dengan mengeksekusi perhitungan Rate of Rise (RoR) dan divalidasi oleh algoritma adaptif multisensor. Pada skenario 1 hingga 4, meskipun sistem membaca lonjakan parameter suhu dan gas, algoritma berhasil memvalidasi ketiadaan indikator penguat utama (nilai flame sensor tetap 0). Sistem melakukan kategori tersebut bukan sebagai kebakaran nyata dan sukses menahan aktuatur relay pada status WASPADA. Tingkat peringatan palsu (False Alarm Rate) pada sistem dinamis tercatat sebesar 0%.

Pada skenario uji ke-5, kedua sistem sama-sama berhasil memberikan respons alarm secara tepat. Secara keseluruhan, pengujian ini membuktikan bahwa integrasi moving average, metode RoR, dan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

validasi multisensor mampu menurunkan angka peringatan palsu hingga 100% pada kondisi gangguan non-kebakaran. Hasil ini menyimpulkan bahwa sistem dinamis jauh lebih selektif, presisi, dan andal dalam membedakan antara lingkungan normal dengan kondisi bahaya nyata dibandingkan sistem statis konvensional. Dengan demikian, pengujian false alarm menunjukkan bahwa sistem threshold adaptif multisensor mampu menekan potensi alarm palsu. Sistem tidak langsung mengaktifkan relay pada kondisi anomali tunggal seperti panas atau gas/asap, tetapi tetap dapat memberikan respons bahaya ketika terdapat indikasi nyala api yang kuat.

4. Hasil Pengujian QoS

Pengujian *Quality of Service* (QoS) dilakukan untuk mengetahui kualitas komunikasi data antara ESP32 dan server melalui protokol HTTP POST. Data QoS diperoleh dari pencatatan Serial Monitor saat ESP32 mengirimkan data sensor secara periodik. Parameter yang diamati meliputi delay, throughput, jumlah pengiriman berhasil, jumlah pengiriman gagal, packet loss, dan rata-rata delay.

Untuk mengetahui nilai delay yang digunakan dalam pengujian QoS, dilakukan pengambilan sampel sebanyak 10 data pengiriman. Delay dihitung berdasarkan selisih waktu sejak data dikirim oleh ESP32 hingga sistem menerima respons dari server. Sampel perhitungan delay ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Perhitungan Delay Pengiriman Data

Pengiriman ke -	Delay (ms)
1	1867
2	2121
3	1763
4	1816
5	2063
6	1774
7	1722



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8	1969
9	1769
10	1714
Rata-rata	1857,8

Rata-rata delay dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai delay pada sampel pengiriman, kemudian dibagi dengan jumlah data sampel. Rumus perhitungan rata-rata delay adalah sebagai berikut:

$$\text{Rata - rata Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Paket Diterima}}$$

Berdasarkan Tabel 4.12, nilai delay dari 10 sampel pengiriman data berada pada rentang 1714 ms hingga 2121 ms. Nilai rata-rata delay yang diperoleh sebesar 1857,8 ms. Berdasarkan standar TIPHON, nilai tersebut termasuk dalam kategori jelek karena melebihi batas 450 ms. Hal ini menunjukkan bahwa proses komunikasi HTTP POST antara ESP32 dan server masih memiliki waktu respons yang cukup tinggi. Sedangkan throughput dihitung berdasarkan ukuran payload data yang dikirim dalam satuan bit terhadap waktu pengiriman dalam satuan detik.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama diterima}}$$

Berdasarkan hasil pengujian, nilai throughput yang diperoleh adalah 643.04 bps. Nilai tersebut menunjukkan bahwa payload data sensor dalam format JSON dapat dikirimkan secara berkala ke server. Karena data yang dikirim berukuran relatif kecil, nilai throughput tersebut masih dapat digunakan untuk kebutuhan monitoring sensor secara periodik. Total pengiriman diperoleh dari jumlah pengiriman berhasil ditambah jumlah pengiriman gagal.

$$\text{Total Pengiriman} = \text{pengiriman berhasil} + \text{pengiriman gagal}$$

$$\text{Total Pengiriman} = 26977 + 39$$

$$\text{Total Pengiriman} = 27016 \text{ kali}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan perhitungan tersebut, sistem melakukan 27016 kali percobaan pengiriman data selama pengujian berlangsung. Dari jumlah tersebut, sebagian besar data berhasil dikirimkan ke server. Packet loss dihitung dari perbandingan jumlah pengiriman gagal terhadap total pengiriman data, kemudian dikalikan 100%.

$$\text{Packetloss} = \frac{(\text{Paket data dikirim} - \text{Paket data diterima})}{\text{Paket data dikirim}} \times 100\%$$

$$\text{Packet Loss} = (39 / 27016) \times 100\%$$

$$\text{Packet Loss} = 0.14\%$$

Nilai packet loss sebesar 0.14% menunjukkan bahwa tingkat kegagalan pengiriman data tergolong rendah. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan server berjalan cukup stabil karena hanya sebagian kecil data yang gagal dikirim.

Selain respons deteksi, pengujian juga mencakup pengamatan komunikasi data antara ESP32 dan server. Pengujian Quality of Service (QoS) dilakukan untuk mengetahui kualitas pengiriman data sensor dari ESP32 menuju server melalui protokol HTTP POST. Selain pengujian sampel delay, dilakukan juga rekapitulasi keseluruhan pengiriman data selama pengujian berlangsung. Pengujian dilakukan selama ± 15 jam dengan total pengiriman sebanyak 27016 kali. Rekapitulasi hasil pengujian QoS ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Quality of Service (QoS)

Parameter	Hasil Pengujian	Kategori Tiphon	Keterangan
Total Pengiriman	27016 kali	-	Jumlah seluruh percobaan pengiriman data sensor
Throughput	643.04 bps	Sangat Baik	Kecepatan pengiriman payload data sensor menuju server
Pengiriman Data Berhasil	26977 kali	-	Data berhasil dikirim dan memperoleh respons dari server
Pengiriman Data Gagal	39 kali	-	Data gagal dikirim atau tidak memperoleh respons valid



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Packet Loss	0.14%	Baik	Persentase kegagalan pengiriman data dari total pengiriman
Rata-rata Delay	1645.24 ms	Jelek	Rata-rata waktu pengiriman data yang berhasil memperoleh respons

Berdasarkan Tabel 4.13, sistem melakukan 27016 kali pengiriman data selama ± 15 jam. Dari total pengiriman tersebut, sebanyak 26977 data berhasil dikirimkan ke server dan 39 data mengalami kegagalan. Nilai packet loss sebesar 0,14% menunjukkan bahwa tingkat kehilangan data tergolong rendah, sehingga komunikasi data antara ESP32 dan server masih stabil dari sisi keberhasilan pengiriman.

Namun, nilai rata-rata delay sebesar 1645,24 ms termasuk dalam kategori jelek berdasarkan standar TIPHON karena melebihi 450 ms. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses komunikasi HTTP POST masih memiliki waktu tunggu yang cukup tinggi. Delay tersebut dapat dipengaruhi oleh kualitas jaringan Wi-Fi, respons server, serta proses request dan response pada protokol HTTP.

Sementara itu, nilai throughput sebesar 643,04 bps menunjukkan bahwa data sensor dalam format JSON tetap dapat dikirimkan secara periodik menuju server. Karena payload data sensor berukuran relatif kecil, throughput tersebut masih dapat mendukung kebutuhan monitoring sensor.

Dengan demikian, hasil pengujian QoS menunjukkan bahwa sistem memiliki kestabilan pengiriman data yang baik dari sisi packet loss, tetapi masih memiliki keterbatasan pada parameter delay seperti yang terlihat pada Tabel 4.12 yang digunakan sebagai sampel perhitungan delay, sedangkan Tabel 4.13 menampilkan rekapitulasi QoS keseluruhan selama ± 15 jam pengujian. Oleh karena itu, optimasi jaringan, respons server, atau penggunaan protokol komunikasi yang lebih ringan dapat menjadi pertimbangan pada pengembangan sistem selanjutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.4 Analisis Data / Evaluasi Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian pada sub-bab sebelumnya, seluruh parameter yang diamati telah tersedia dalam bentuk data, baik berupa nilai error, waktu respons, tingkat kegagalan deteksi, maupun parameter komunikasi data. Oleh karena itu, analisis pada bagian ini difokuskan pada pengolahan angka-angka tersebut menjadi ukuran kinerja yang terukur, sehingga dapat ditentukan secara objektif apakah sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian. Analisis dibagi menjadi empat aspek, yaitu kuantifikasi akurasi sensor, kinerja waktu deteksi, tingkat keberhasilan penekanan false alarm, serta kualitas komunikasi data (QoS), yang kemudian dirangkum dalam sebuah rekapitulasi evaluasi menyeluruh.

1. Analisis Pengujian Fungsional

Ketiga sensor utama pada sistem, yaitu DS18B20, MQ-2, dan flame sensor, dievaluasi berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.6. Sensor DS18B20 mencatatkan rata-rata error sebesar 1.27% terhadap termometer HTC-1 sebagai acuan, dengan error 0.0% pada dua dari lima kondisi uji. Nilai ini menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, sehingga secara kuantitatif layak dijadikan variabel utama dalam perhitungan Rate of Rise (RoR). Sensor MQ-2 menunjukkan kenaikan nilai PPM dari kondisi normal 13.7 hingga 197.6 pada paparan asap tebal, atau setara kenaikan sekitar 14.4 kali lipat, sejalan dengan kenaikan pembacaan instrumen Air Quality Detector sebesar 4.8 kali lipat (412 menjadi 1972 PPM CO₂). Meskipun rasio kenaikan absolut kedua instrumen berbeda karena perbedaan prinsip kerja sensor, arah tren kenaikan keduanya konsisten searah, yang menunjukkan sensitivitas MQ-2 memadai untuk fungsinya sebagai parameter validasi tren, bukan nilai mutlak. Flame sensor menunjukkan konsistensi keluaran biner yang tepat pada seluruh 4 skenario uji (100%), yaitu bernilai 0 pada kondisi tanpa api dan nyala api kecil, serta bernilai 1 pada nyala api sedang dan besar.

Tabel 4. 14 Analisis Pengujian Fungsional Sensor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Sensor	Parameter Kuantitatif	Hasil	Evaluasi
1	DS18B20	Rata-rata error terhadap HTC-1	1.27%	Akurasi tinggi, valid untuk basis RoR
2	MQ-2	Rasio kenaikan PPM (normal → asap tebal)	14.4x (vs 4.8x AQD)	Tren linier searah, sensitivitas memadai
3	Flame Sensor	Kesesuaian output biner terhadap intensitas api	4/4 skenario (100%)	Akurat sebagai validator akhir bahaya

Hasil ini sejalan dengan temuan Ibrahim & Syifa (2023) yang juga melaporkan performa akurasi tinggi sensor DS18B20 pada penerapan berbasis IoT, sehingga memperkuat justifikasi pemilihan sensor tersebut sebagai basis perhitungan laju kenaikan suhu pada penelitian ini.

2. Analisis Kinerja Deteksi (Non-Fungsional)

Berdasarkan Tabel 4.10, sistem membutuhkan waktu 10 detik sejak kondisi awal untuk berpindah dari status AMAN menjadi WASPADA, ditandai kenaikan RoR menjadi $0.0063\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ dan MA gas menjadi 315. Status BAHAYA tercapai pada detik ke-23 sejak kondisi awal, atau 13 detik setelah status WASPADA, dengan nilai RoR melonjak menjadi $0.9375\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ (kenaikan $\approx 0.9312\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ dari kondisi WASPADA) dan MA gas menjadi 450. Percepatan RoR yang tajam pada interval WASPADA menuju BAHAYA menunjukkan bahwa parameter RoR bertindak sebagai pemicu utama percepatan pengambilan keputusan sistem, sementara nilai gas berperan sebagai parameter pendukung validasi.

Tabel 4. 15 Analisis Waktu Respons dan Parameter Pemicu Status

No	Transisi Status	Waktu (detik)	Nilai RoR	MA Gas	Evaluasi
1	AMAN → WASPADA	10 (dari awal)	$0.0063\text{ }^{\circ}\text{C/s}$	315	Deteksi dini anomali suhu
2	AMAN → BAHAYA	23 (dari awal)	$0.9375\text{ }^{\circ}\text{C/s}$	450	Validasi penuh multisensor
3	WASPADA → BAHAYA	13 (selisih)	$0.9312\text{ }^{\circ}\text{C/s}$	135	Lonjakan RoR sebagai pemicu utama

Dibandingkan dengan pendekatan dynamic threshold pada penelitian Tarigan dkk. (2026) yang baru diuji secara simulasi perangkat lunak, penelitian ini membuktikan bahwa mekanisme serupa dapat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

diimplementasikan secara fisik pada mikrokontroler ESP32 dengan waktu deteksi terukur dalam hitungan detik, menunjukkan bahwa pendekatan RoR dan threshold adaptif multisensor layak diterapkan pada perangkat keras di lingkungan nyata.

3. Analisis False Alarm

Berdasarkan Tabel 4.10, dari 4 skenario anomali non-kebakaran (paparan panas dan gas/asap), sistem statis memberikan alarm pada seluruh 4 skenario tersebut, sehingga menghasilkan False Alarm Rate (FAR) sebesar 4/4 atau 100%. Sebaliknya, sistem adaptif multisensor tidak mengaktifkan relay pada satu pun dari 4 skenario tersebut, sehingga FAR sistem adaptif tercatat 0/4 atau 0%. Selisih ini menunjukkan penurunan FAR sebesar 100 poin persentase, atau dengan kata lain sistem adaptif berhasil mengeliminasi seluruh false alarm yang muncul pada sistem statis untuk kondisi uji yang sama. Pada skenario ke-5 (nyala api), kedua pendekatan sama-sama menghasilkan status bahaya yang tepat, sehingga tidak terjadi false negative pada kondisi kebakaran nyata.

Tabel 4. 16 Perbandingan False Alarm Rate Sistem Statis dan Adaptif

No	Skenario Uji	Status Sistem Statis	Status Sistem Adaptif	Kategori
1	Paparan Panas (Hairdryer)	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif	False Alarm pada statis
2	Paparan Panas (Korek Api)	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif	False Alarm pada statis
3	Paparan Gas/Asap (Korek Api)	Alarm Aktif	Alarm Tidak Aktif	False Alarm pada statis
4	Paparan Gas/Asap (Kertas)	Alarm Aktif	Alarm Aktif	False Alarm pada statis
5	Nyala Api	Alarm Aktif	Alarm Aktif	Deteksi valid pada keduanya

Capaian penurunan FAR ini sebanding dengan tujuan penelitian Lesmidayarti dkk. (2025) yang juga menekankan pentingnya validasi multisensor dalam menekan alarm palsu, meskipun penelitian tersebut menggunakan pendekatan fuzzy logic yang lebih berat secara komputasi. Metode RoR pada penelitian ini terbukti mampu mencapai hasil penekanan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

false alarm yang setara dengan kebutuhan komputasi yang jauh lebih ringan dengan persentase mencapai 0% untuk false alarm yang terjadi. Sehingga lebih sesuai diterapkan pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas seperti ESP32.

4. Analisis Quality of Service (QoS)

Berdasarkan Tabel 4.13, setiap parameter QoS hasil pengujian dipetakan terhadap kategori standar TIPHON untuk mengetahui posisi kualitas komunikasi data sistem secara kuantitatif.

Tabel 4. 17 Evaluasi Parameter QoS terhadap Standar TIPHON

Parameter	Hasil Pengujian	Ambang Kategori TIPHON	Kategori Tercapai
Throughput	643.04 bps	Sangat Baik: ≥ 100 bps	Sangat Baik
Packet Loss	0.14%	Sangat Baik: 0%, Baik: $\leq 3\%$	Baik
Rata-rata Delay	1645.24 ms	Jelek: > 450 ms	Jelek
Keberhasilan Pengiriman	26977/27016 (99.86%)	-	Stabil

Dua dari tiga parameter utama QoS, yaitu throughput dan packet loss, berada pada kategori Sangat Baik dan Baik, menunjukkan bahwa 99.86% dari total 27016 kali pengiriman data berhasil diterima server selama ± 15 jam pengujian. Namun demikian, rata-rata delay sebesar 1645.24 ms berada pada kategori Jelek karena melebihi ambang batas 450 ms sebanyak lebih dari 3.6 kali lipat, mengindikasikan bahwa waktu tunggu komunikasi HTTP POST menjadi satu-satunya parameter QoS yang belum memenuhi standar TIPHON pada penelitian ini.

5. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Untuk memperkuat posisi penelitian ini terhadap studi sejenis, dilakukan perbandingan kuantitatif dengan penelitian Tarigan dkk. (2026) yang mengusulkan pendekatan dynamic threshold berbasis kombinasi Fuzzy Logic, Random Forest, dan Adaptive Z-Score. Perlu dicatat bahwa pengujian pada penelitian tersebut dilakukan secara simulasi menggunakan dataset sekunder publik yang diproses pada Jupyter Notebook, tanpa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

implementasi pada perangkat keras fisik, sedangkan penelitian ini menguji sistem secara langsung pada mikrokontroler ESP32 di lingkungan nyata.

Tabel 4. 18 Hasil Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Sebelumnya (Tarigan, dkk (2026))	Penelitian Saat Ini
Metode Threshold	Fuzzy Logic + Random Forest + Adaptive Z-Score	Rate of Rise (RoR) + Threshold Adaptif Multisensor
Platform Pengujian	Simulasi offline (Jupyter Notebook, dataset publik)	ESP32 real-time di lingkungan laboratorium nyata
Akurasi/Reduksi FAR	FAR turun dari 31.1% menjadi 14.3% (reduksi ±54%)	FAR turun dari 100% menjadi 0% (reduksi 100 poin persentase) pada skenario uji false alarm
Waktu Deteksi	21 detik (statis) → 0 detik (dinamis, komputasi batch pada dataset)	10 detik (WASPADA) dan 23 detik (BAHAYA), termasuk waktu respons fisik sensor dan transmisi data

Berdasarkan Tabel 4.18, kedua penelitian menunjukkan bahwa pendekatan adaptif/dinamis sama-sama unggul dibandingkan threshold statis dalam menekan false alarm. Namun demikian, nilai waktu deteksi 0 detik pada penelitian Tarigan dkk. (2026) merupakan hasil komputasi terhadap data yang telah terekam sebelumnya (offline), sehingga belum merepresentasikan latensi nyata seperti waktu respons sensor fisik, waktu pemrosesan mikrokontroler, dan waktu transmisi jaringan. Sebaliknya, waktu deteksi 10–23 detik pada penelitian ini diperoleh dari pengujian langsung pada perangkat keras di lingkungan operasional, sehingga angka tersebut mencerminkan kondisi implementasi yang lebih mendekati skenario penggunaan nyata. Dari sisi reduksi false alarm, penelitian ini mencatatkan penurunan FAR yang lebih besar (100 poin persentase) dibandingkan Tarigan dkk. (2026) yang mencatatkan penurunan sebesar 54%, meskipun perbandingan ini perlu dimaknai secara hati-hati karena perbedaan karakteristik dataset dan skenario pengujian antara kedua penelitian. Secara keseluruhan, hasil ini memperkuat posisi kontribusi penelitian ini, yaitu membuktikan bahwa pendekatan threshold adaptif



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berbasis RoR dan multisensor tidak hanya efektif secara simulasi, tetapi juga terbukti dapat diimplementasikan secara fisik pada mikrokontroler dengan hasil yang terukur di lingkungan nyata.

6. Keseluruhan Hasil Evaluasi Sistem

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai capaian sistem terhadap tujuan penelitian, seluruh indikator kuantitatif dari keempat aspek evaluasi di atas dirangkum pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Keseluruhan Hasil Evaluasi Sistem terhadap Tujuan Penelitian

No	Aspek Evaluasi	Indikator Kuantitatif	Hasil	Status
1	Akurasi Sensor DS18B20	Rata-rata error	1.27%	Tercapai
2	Waktu Deteksi Bahaya	Waktu status BAHAYA	23 detik	Tercapai
3	Reduksi False Alarm	FAR statis → adaptif	100% → 0%	Tercapai
4	Keberhasilan Pengiriman Data	Packet loss	0.14%	Tercapai
5	Responsivitas Jaringan (Delay)	Rata-rata delay	1645.24 ms (>450 ms)	Belum Tercapai

Berdasarkan Tabel 4.18, dapat disimpulkan 4 dari 5 indikator utama atau sekitar 80% aspek evaluasi telah mencapai target penelitian, yaitu akurasi sensor, kecepatan deteksi, reduksi false alarm, dan keberhasilan pengiriman data. Satu-satunya indikator yang belum tercapai adalah rata-rata delay komunikasi HTTP POST, yang menjadi acuan bagi rekomendasi pengembangan sistem pada sub-bab Saran, seperti penggunaan protokol MQTT yang lebih ringan. Secara keseluruhan, hasil evaluasi kuantitatif ini menunjukkan bahwa integrasi metode Rate of Rise (RoR), moving average, dan threshold adaptif multisensor terbukti secara terukur mampu meningkatkan akurasi deteksi dan menekan false alarm, meskipun aspek latensi jaringan masih memerlukan optimasi lebih lanjut pada pengembangan selanjutnya.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor gas/asap MQ-2, flame sensor, dan relay sebagai aktuator. Sistem mampu membaca data sensor secara real-time, memproses data pada perangkat, mengirimkan data ke server melalui protokol HTTP POST, serta menerima respons dari server untuk menentukan status sistem.
2. Penerapan metode Rate of Rise (RoR) dan threshold adaptif multisensor mampu membantu sistem dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan berdasarkan laju kenaikan suhu, peningkatan gas/asap, dan keberadaan api. Validasi multisensor membuat sistem tidak langsung mengaktifkan relay ketika hanya satu parameter mengalami perubahan, sehingga dapat membantu mengurangi potensi false alarm. Relay hanya aktif ketika sistem memperoleh status BAHAYA berdasarkan hasil validasi parameter sensor dan respons dari server.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan status peringatan secara bertahap, yaitu AMAN, WASPADA, dan BAHAYA. Dari sisi Quality of Service (QoS), sistem mampu melakukan pengiriman data dalam jumlah besar selama pengujian berlangsung. Nilai packet loss yang rendah menunjukkan bahwa komunikasi data cukup stabil dari sisi keberhasilan pengiriman. Namun, nilai delay masih tergolong tinggi berdasarkan standar TIPHON, sehingga komunikasi data melalui HTTP POST masih memiliki keterbatasan pada waktu respons.



5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan sistem selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sumber daya cadangan seperti baterai atau UPS agar perangkat tetap dapat beroperasi ketika terjadi gangguan listrik. Hal ini penting karena sistem deteksi kebakaran harus tetap aktif dalam kondisi darurat.
2. Pengujian sistem dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang lebih bervariasi dan dalam durasi yang lebih panjang, misalnya pada beberapa titik ruangan laboratorium dengan jarak sensor yang berbeda. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui kestabilan pembacaan sensor dan respons sistem pada kondisi operasional yang lebih mendekati keadaan sebenarnya.
3. Pengembangan selanjutnya dapat mencoba menggunakan protokol komunikasi MQTT sebagai alternatif dari HTTP POST. MQTT memiliki karakteristik yang lebih ringan untuk sistem IoT, sehingga dapat dibandingkan pengaruhnya terhadap nilai delay, throughput, packet loss, dan kestabilan komunikasi data berdasarkan standar TIPHON.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hanif, R. A. (2023). Implementasi Internet of Things Pada Protokol MQTT dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir. INOVTEK Polbeng Seri Informatika, 8(2).
<http://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/ISI/article/view/3767>
- Ibrahim, F. R., & Syifa, F. T. (2023). Penerapan Sensor Suhu DS18B20 dan Sensor pH sebagai Otomatisasi Pakan Ikan Berbasis IoT. JTECE (Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering), 5(2), 63–73. DOI: <https://doi.org/10.20895/jtece.v5i2.844>
- Imansyah, F., & Zafia, A. (2025). Comparison Analysis of MQTT and HTTP Communication Protocol IOT Based on Website Node.Js. Jurnal Teknik Informatika (Jutif), 6(1). Link: <https://ejournal.ust.ac.id/index.php/JTIUST/article/view/5705>
- Julianto, B. T., Azizah, K., & Erizal. (2024). Kajian Risiko dan Pencegahan Kebakaran pada Laboratorium Bahan Berbahaya dan Beracun, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 10(1), 10-18. DOI: <https://doi.org/10.26760/rekaracana>
- Kurniawan, T., Erik, M., Hanafi, Z., & Saragih, Y. (2025). LABSAVE: Sistem Proteksi Kebakaran Terintegrasi Untuk Laboratorium Teknik IOT. JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan), 13(3), 1848-1859. <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6603>
- Lesmidayarti, D., Ihsan, & Armin. (2025). Sistem Monitoring dan Pengujian Multi-Sensor untuk Deteksi Dini Kebakaran. Jurnal Riset Sains dan Teknologi (JRST), 9(1), 81-88. <https://doi.org/10.30595/jrst.v9i1.24223>
- Minh, N. X. (2025). *Design of a Smart Fire Monitoring and Alert System for Industrial Warehouses Using IoT*. Journal of Basic and Applied Research International, 31(4), 172-176. DOI: <https://doi.org/10.56557/jobari/2025/v31i49591>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Prasetyo, W., & Haq, S. Z. N. (2025). Rancangan Sistem Pendeteksi dan Pemantauan Kebakaran di Gedung Tower Pegadaian dengan Smoke Detector FSP-851R dan Heat Detector FST-951. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 9(4), 1-8. <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- Raihan, A. S., Zakka, D. F., Soenoto, D., Burhanudin, L., & Alvian, R. (2025). Alat Pendekteksi Kebakaran. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*, 1919-1925. DOI: <https://doi.org/10.47701/26rk3m06>
- Sari, V. N., Zulkifli, & Antony, F. (2023). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IoT dan SMS Gateway Menggunakan Arduino. *Program Studi Sistem Komputer, Universitas Indo Global Mandiri (UIGM), Palembang*, 9-19 DOI: <https://doi.org/10.36982/jinig.v1i1.3077>
- Shidqi, M. H., Baskoro, F., Firmansyah, R., & Anifah, L. (2026). Arduino-Based Moving Average Filter Implementation for Increasing Stability Measurement of Digital Temperature in Climate Monitoring Systems Micro. *Indonesian Science Education Journal (ISEJ)*, 7(2), 378–390. DOI: <https://doi.org/10.62159/isej.v7i2.2244>
- Sutantyo, E., & Susanti. (2022). Peranan Alat Deteksi Kebakaran Dalam Menunjang Keselamatan di Kapal MT. Mabrouk. *JURNAL MARITIM POLIMARIN*, 8(1), 88-95. DOI: <https://doi.org/10.52492/jmp.v8i1.53>
- Tarigan, W. B., Robet, R., & Tarigan, F. A. (2026). *IoT Sensor Data Analysis for Early Fire Detection Using Dynamic Threshold*. *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, 10(1), 200-210. DOI: <https://doi.org/10.33395/sinkron.v10i1.15478>
- Wahidin, M., Elanda, A., & Lie, S. S. (2021). Implementasi Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IoT dan Telegram Menggunakan Nodemcu Pada Kantor Notaris Leodi Chanda Hidayat, S.H., M.Kn. *Jurnal Interkom: Jurnal Publikasi Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 16(2), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.35969/interkom.v16i2>
- Yulizar, D., Soekirno, S., Ananda, N., Prabowo, M. A., Perdana, I. F. P., & Aofany, D. (2023). Performance Analysis Comparison of DHT11, DHT22 and



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DS18B20 as Temperature Measurement. In A. Doyan et al. (Eds.), ICSES 2022, Advances in Physics Research (APR 8) (pp. 37–45). Atlantis Press.
DOI: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-232-3_5



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhammad Abdan Syakuron

Lahir di Jakarta, 18 September 2004, anak pertama dari tiga bersaudara. Lulus dari SDN 15 Jakarta Timur pada tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 179 Jakarta Timur dan lulus pada tahun 2019, dan selanjutnya di SMK Prestasi Prima Jakarta Timur dan lulus pada tahun 2022. Selanjutnya tahun 2022 melanjutkan studi di Politeknik Negeri Jakarta pada

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer di Program Studi Teknik Multimedia dan Jurusan.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Surat Izin Observasi dan Wawancara



PT. Delta Indonesia Laboratory

Jln. Perum Prima Harapan Regency,
Gedung Prima Orchard Block C, No. 2
Bekasi Utara, Kota Bekasi 17123, Provinsi Jawa Barat
Telp : 021 – 88382018

Nomor : 081/DIL/HR-IT/I/2026

Perihal : Balasan Permohonan Izin Observasi

Kepada Yth.
Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer
Politeknik Negeri Jakarta
Di
Tempat

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat dari Politeknik Negeri Jakarta Nomor: 52/DST/PL3.A.9/B/KM.07.00/2026, Tanggal: 15 Januari 2026. Perihal: Permohonan Izin Observasi, Dengan ini kami sampaikan bahwa PT. Delta Indonesia Laboratory pada prinsipnya menyetujui dan memberikan izin observasi kepada mahasiswa Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta, atas nama:

1. Muhammad Abdan Syakuron (NIM 2207421021)
2. Dhea Salsabela (NIM 2207421029)

Untuk melaksanakan kegiatan observasi dan pengumpulan data terkait penelitian berjudul:

"Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Metode Rate of Rise (RoR) dan Algoritma Klasifikasi Decision Tree C4.5"

Demikian surat balasan ini kami sampaikan. Atas kerja sama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Bekasi, 24 Januari 2026

Hormat kami,

PT. DELTA INDONESIA LABORATORY



Drs. H. Soekardin Rachman, M.Si
Direktur Utama



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
Telepon (021) 7270036, Hunting, Fax (021) 7270034
Laman: <http://www.pnj.ac.id> Posel: humas@pnj.ac.id

Nomor : 52/DST/PL3.A.9/B/KM.07.00/2026
Perihal : Permohonan Izin Observasi

15 Januari 2026

Kepada Yth.
Bapak Untung Supriyadi, S.Kom., M.Pd.
HR & IT Manager PT. Delta Indonesia Laboratory
Prima Orchard Trade Mall, Jl. Prima Harapan Regency No.2, Harapan Baru, Kec. Bekasi Utara,
Kota Bekasi, Jawa Barat 17123

Dengan hormat,
Sehubungan dengan mata kuliah Skripsi yang dilaksanakan pada semester 8 (delapan) Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta. Dengan ini kami mohon kesediaan Bapak/Ibu agar dapat mengizinkan mahasiswa kami untuk melakukan observasi di PT. Delta Indonesia Laboratory dengan judul penelitian "Rancang Bangun Sistem IoT Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Metode Rate of Rise (RoR) dan Algoritma Klasifikasi Decision Tree C4.5".

Tugas mata kuliah ini bertujuan untuk menambah wawasan terkait dengan aplikasi teori yang sudah dipelajari di Kampus dengan kondisi lapangan sebagai wadah pembelajaran dan menambah informasi mengenai mata kuliah tersebut. Adapun berikut adalah nama mahasiswa kami:

No.	Nama dan Nim	Semester/ Program Studi	Nomor Telepon dan Email	Tujuan Observasi
1	Muhammad Abdan Syakuron 2207421021	8 / Teknik Multimedia dan Jaringan	083891068772 muhammad.abdan.syakuron.tik22@pnj.ac.id http://www.pnj.ac.id	Ingin mengetahui data-data penunjang dan wawancara untuk Skripsi
2	Dhea Salsabela 2207421029		085817189271 dhea.salsabela.tik22@mhaw.pnj.ac.id	

Demikian surat ini kami buat, atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.



Ketua Jurusan,
Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.
NIP. 197908032003122003

Tembusan :

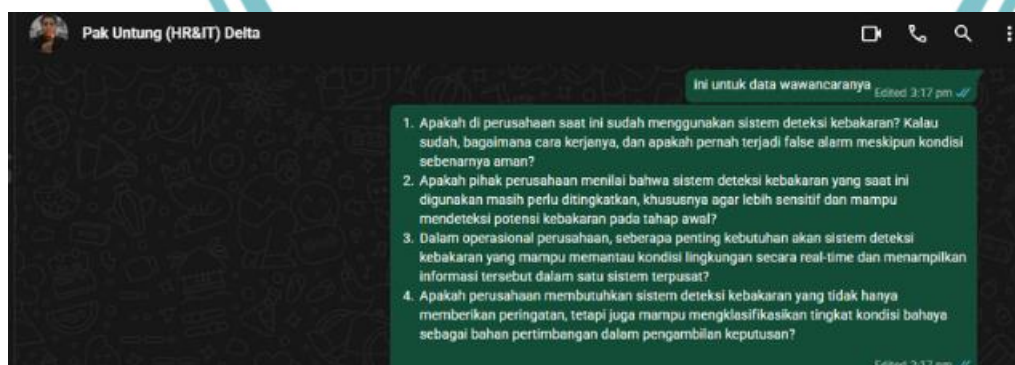
1. Direktur;
2. Wakil Direktur Bidang Akademik;
3. Kepala Bagian Keuangan dan Umum



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

No	Pertanyaan	Jawaban (HR&IT Manager)
1	Apakah di perusahaan saat ini sudah menggunakan sistem deteksi kebakaran? Kalau sudah, bagaimana cara kerjanya, dan apakah pernah terjadi false alarm meskipun kondisi sebenarnya aman?	Perusahaan sudah memiliki fire detection, tapi masih terbatas dari set threshold yang ditetapkan sehingga tidak bisa mendeteksi lebih awal dan juga false alarm sering terjadi karena sistem masih perlu diupgrade
2	Apakah pihak perusahaan menilai bahwa sistem deteksi kebakaran yang saat ini digunakan masih perlu ditingkatkan, khususnya agar lebih sensitif dan mampu mendeteksi potensi kebakaran pada tahap awal?	Ya, perlu di upgrade sistem yang digunakan saat ini masih perlu diupgrade agar memiliki sensitivitas yang lebih baik dan mampu mendeteksi adanya kebakaran sejak awal
3	Dalam operasional perusahaan, seberapa penting kebutuhan akan sistem deteksi kebakaran yang mampu memantau kondisi lingkungan secara real-time dan menampilkan informasi tersebut dalam satu sistem terpusat?	Sistem pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dan terpusat itu memang sangat penting karena memungkinkan perusahaan memantau perubahan suhu, asap, dan gas secara langsung, sehingga pengawasan dan respons terhadap adanya bahaya dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efektif.
4	Apakah perusahaan membutuhkan sistem deteksi kebakaran yang tidak hanya memberikan peringatan, tetapi juga mampu mengklasifikasikan tingkat kondisi bahaya sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan?	Fitur untuk klasifikasi tingkat bahaya sangat sekali dibutuhkan karena dapat memberikan seperti awal kondisi lingkungan, seperti aman, waspada/jaga-jaga, atau bahaya, sehingga dapat menentukan tindakan yang sesuai secara cepat dan tepat berdasarkan sop yang ada



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 1.2 Serial Monitor

```

16:03:14.871 -> -----
16:03:14.871 -> [SUHU] Mentah: 29.06 | MA: 29.06 | RoR: 0.0000
16:03:14.871 -> [GAS ] Mentah: 146 | MA: 165
16:03:14.871 -> [FLAME] Mentah: 4095
16:03:16.889 -> [HTTP] Response : Success (200)
16:03:16.889 -> [RESPON API]      : AMAN
16:03:16.889 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
16:03:16.889 -> ----- [QoS] -----
16:03:16.889 -> [QoS] Delay          : 2020 ms
16:03:16.889 -> [QoS] Throughput     : 403.96 bps
16:03:16.889 -> [QoS] Total Kirim    : 10
16:03:16.889 -> [QoS] Berhasil       : 10
16:03:16.889 -> -> AMAN              : 9
16:03:16.889 -> -> WASPADA           : 1
16:03:16.889 -> -> BAHAYA            : 0
16:03:16.889 -> [QoS] Gagal          : 0 (Status Tidak Diketahui)
16:03:16.889 -> [QoS] Packet Loss    : 0.00 %
16:03:16.932 -> [QoS] Avg Delay      : 1758.90 ms
16:03:16.932 -> -----
16:03:16.932 -> -----
16:03:16.960 -> [SUHU] Mentah: 29.06 | MA: 29.06 | RoR: 0.0000
16:03:16.960 -> [GAS ] Mentah: 174 | MA: 165
16:03:16.960 -> [FLAME] Mentah: 4095
16:03:18.805 -> [HTTP] Response : Success (200)
16:03:18.805 -> [RESPON API]      : AMAN
16:03:18.805 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
16:03:18.848 -> ----- [QoS] -----
16:03:18.848 -> [QoS] Delay          : 1866 ms
16:03:18.848 -> [QoS] Throughput     : 437.30 bps
16:03:18.848 -> [QoS] Total Kirim    : 11
16:03:18.848 -> [QoS] Berhasil       : 11

```

JAKARTA



Lampiran 1.3 Database

				id	apiMentah	gasMentah	suhuMentah	maGas	maSuhu	rorSuhu	status Sistem	createdAt	1
☐				341553	3921	221	48.5	252	49.2375	0.362499	BAHAYA	2026-06-06 15:01:51.000	
☐				341552	3909	217	50.625	274	48.5125	0.8125	BAHAYA	2026-06-06 15:01:49.000	
☐				341551	4095	251	50.875	305	46.8875	1.581251	BAHAYA	2026-06-06 15:01:46.000	
☐				341550	4095	277	49.125	329	43.725	1.599998	BAHAYA	2026-06-06 15:01:44.000	
☐				341549	4095	297	47.0625	369	40.525	1.393751	BAHAYA	2026-06-06 15:01:42.000	
☐				341548	4095	331	44.875	409	37.7375	1.174999	BAHAYA	2026-06-06 15:01:40.000	
☐				341547	4095	371	42.5	450	35.3875	0.9375	BAHAYA	2026-06-06 15:01:38.000	
☐				341546	4095	369	35.0625	482	33.5125	0.200001	WASPADA	2026-06-06 15:01:36.000	
☐				341545	4095	480	33.125	509	33.1125	0.00625	WASPADA	2026-06-06 15:01:31.000	
☐				341544	4095	496	33.125	448	33.1	0.006248	WASPADA	2026-06-06 15:01:29.000	
☐				341543	4095	535	33.125	385	33.0875	0.00625	WASPADA	2026-06-06 15:01:27.000	
☐				341542	4095	531	33.125	315	33.075	0.00625	WASPADA	2026-06-06 15:01:25.000	
☐				341541	4095	503	33.0625	242	33.0625	-0.00625	AMAN	2026-06-06 15:01:23.000	
☐				341540	4095	178	33.0625	176	33.075	0	AMAN	2026-06-06 15:01:21.000	
☐				341539	4095	182	33.0625	177	33.075	-0.00625	AMAN	2026-06-06 15:01:19.000	
☐				341538	4095	185	33.0625	176	33.0875	-0.006248	AMAN	2026-06-06 15:01:17.000	
☐				341537	4095	165	33.0625	174	33.1	0	AMAN	2026-06-06 15:01:15.000	

Lampiran 1.4 Hasil Serial Monitor Tiap Status

```

15:01:15.507 -> -----
15:01:15.507 -> [SUHU] Mentah: 33.06 | MA: 33.10 | RoR: 0.0000
15:01:15.507 -> [GAS ] Mentah: 165 | MA: 174
15:01:15.507 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:17.115 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:17.115 -> [RESPON API] : AMAN
15:01:17.115 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
15:01:17.115 -> ----- [QoS] -----
15:01:17.115 -> [QoS] Delay : 1613 ms
15:01:17.115 -> [QoS] Throughput : 605.08 bps
15:01:17.115 -> [QoS] Total Kirim : 15
15:01:17.115 -> [QoS] Berhasil : 15
15:01:17.115 -> -> AMAN : 4
15:01:17.115 -> -> WASPADA : 10
15:01:17.115 -> -> BAHAYA : 1
15:01:17.115 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:17.148 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:17.148 -> [QoS] Avg Delay : 2480.80 ms
15:01:17.148 -> -----

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:17.507 -> -----
15:01:17.507 -> [SUHU] Mentah: 33.06 | MA: 33.09 | RoR: -0.0062
15:01:17.507 -> [GAS ] Mentah: 185 | MA: 176
15:01:17.507 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:19.050 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:19.050 -> [RESPON API] : AMAN
15:01:19.050 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
15:01:19.050 -> ----- [QoS] -----
15:01:19.050 -> [QoS] Delay : 1555 ms
15:01:19.050 -> [QoS] Throughput : 684.24 bps
15:01:19.050 -> [QoS] Total Kirim : 16
15:01:19.050 -> [QoS] Berhasil : 16
15:01:19.050 -> -> AMAN : 5
15:01:19.050 -> -> WASPADA : 10
15:01:19.082 -> -> BAHAYA : 1
15:01:19.082 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:19.082 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:19.082 -> [QoS] Avg Delay : 2422.94 ms
15:01:19.082 -> -----
15:01:19.082 ->

```

(lanjutan)

```

15:01:19.471 -> [SUHU] Mentah: 33.06 | MA: 33.08 | RoR: -0.0063
15:01:19.471 -> [GAS ] Mentah: 182 | MA: 177
15:01:19.505 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:21.114 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:21.114 -> [RESPON API] : AMAN
15:01:21.114 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
15:01:21.114 -> ----- [QoS] -----
15:01:21.114 -> [QoS] Delay : 1608 ms
15:01:21.114 -> [QoS] Throughput : 651.74 bps
15:01:21.114 -> [QoS] Total Kirim : 17
15:01:21.114 -> [QoS] Berhasil : 17
15:01:21.114 -> -> AMAN : 6
15:01:21.114 -> -> WASPADA : 10
15:01:21.114 -> -> BAHAYA : 1
15:01:21.114 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:21.114 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:21.161 -> [QoS] Avg Delay : 2375.00 ms
15:01:21.161 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:21.478 -> -----
15:01:21.478 -> [SUHU] Mentah: 33.06 | MA: 33.08 | RoR: 0.0000
15:01:21.478 -> [GAS ] Mentah: 178 | MA: 176
15:01:21.478 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:23.145 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:23.145 -> [RESPON API]      : AMAN
15:01:23.145 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
15:01:23.145 -> ----- [QoS] -----
15:01:23.145 -> [QoS] Delay      : 1659 ms
15:01:23.192 -> [QoS] Throughput : 597.95 bps
15:01:23.192 -> [QoS] Total Kirim : 18
15:01:23.192 -> [QoS] Berhasil   : 18
15:01:23.192 ->      -> AMAN      : 7
15:01:23.192 ->      -> WASPADA    : 10
15:01:23.192 ->      -> BAHAYA     : 1
15:01:23.192 -> [QoS] Gagal      : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:23.192 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:23.192 -> [QoS] Avg Delay   : 2335.22 ms
15:01:23.192 -> -----

```

(lanjutan)

```

15:01:23.470 -> -----
15:01:23.470 -> [SUHU] Mentah: 33.06 | MA: 33.06 | RoR: -0.0063
15:01:23.470 -> [GAS ] Mentah: 503 | MA: 242
15:01:23.505 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:25.091 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:25.091 -> [RESPON API]      : AMAN
15:01:25.091 -> >> [RELAY] OFF - Status: AMAN
15:01:25.091 -> ----- [QoS] -----
15:01:25.091 -> [QoS] Delay      : 1602 ms
15:01:25.091 -> [QoS] Throughput : 659.18 bps
15:01:25.091 -> [QoS] Total Kirim : 19
15:01:25.126 -> [QoS] Berhasil   : 19
15:01:25.126 ->      -> AMAN      : 8
15:01:25.126 ->      -> WASPADA    : 10
15:01:25.126 ->      -> BAHAYA     : 1
15:01:25.126 -> [QoS] Gagal      : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:25.126 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:25.126 -> [QoS] Avg Delay   : 2296.63 ms
15:01:25.126 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:25.478 -> -----
15:01:25.478 -> [SUHU] Mentah: 33.13 | MA: 33.08 | RoR: 0.0063
15:01:25.478 -> [GAS ] Mentah: 531 | MA: 315
15:01:25.478 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:27.178 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:27.178 -> [RESPON API]      : WASPADA
15:01:27.178 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:01:27.178 -> ----- [QoS] -----
15:01:27.178 -> [QoS] Delay          : 1681 ms
15:01:27.178 -> [QoS] Throughput     : 613.92 bps
15:01:27.178 -> [QoS] Total Kirim    : 20
15:01:27.178 -> [QoS] Berhasil       : 20
15:01:27.178 ->                    -> AMAN      : 8
15:01:27.178 ->                    -> WASPADA   : 11
15:01:27.210 ->                    -> BAHAYA    : 1
15:01:27.210 -> [QoS] Gagal         : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:27.210 -> [QoS] Packet Loss   : 0.00 %
15:01:27.210 -> [QoS] Avg Delay     : 2265.85 ms
15:01:27.210 -> -----
15:01:27.462 ->

```

(lanjutan)

```

15:01:27.462 -> -----
15:01:27.496 -> [SUHU] Mentah: 33.13 | MA: 33.09 | RoR: 0.0063
15:01:27.496 -> [GAS ] Mentah: 535 | MA: 385
15:01:27.496 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:29.078 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:29.078 -> [RESPON API]      : WASPADA
15:01:29.078 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:01:29.110 -> ----- [QoS] -----
15:01:29.110 -> [QoS] Delay          : 1600 ms
15:01:29.110 -> [QoS] Throughput     : 650.00 bps
15:01:29.110 -> [QoS] Total Kirim    : 21
15:01:29.110 -> [QoS] Berhasil       : 21
15:01:29.110 ->                    -> AMAN      : 8
15:01:29.110 ->                    -> WASPADA   : 12
15:01:29.110 ->                    -> BAHAYA    : 1
15:01:29.110 -> [QoS] Gagal         : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:29.110 -> [QoS] Packet Loss   : 0.00 %
15:01:29.110 -> [QoS] Avg Delay     : 2234.14 ms
15:01:29.110 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

.....
15:01:29.477 -> -----
15:01:29.477 -> [SUHU] Mentah: 33.13 | MA: 33.10 | RoR: 0.0062
15:01:29.477 -> [GAS ] Mentah: 496 | MA: 448
15:01:29.477 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:31.124 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:31.157 -> [RESPON API] : WASPADA
15:01:31.157 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:01:31.157 -> ----- [QoS] -----
15:01:31.157 -> [QoS] Delay : 1648 ms
15:01:31.157 -> [QoS] Throughput : 621.36 bps
15:01:31.157 -> [QoS] Total Kirim : 22
15:01:31.157 -> [QoS] Berhasil : 22
15:01:31.157 -> -> AMAN : 8
15:01:31.157 -> -> WASPADA : 13
15:01:31.157 -> -> BAHAYA : 1
15:01:31.157 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:31.157 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:31.157 -> [QoS] Avg Delay : 2207.50 ms
15:01:31.157 -> -----
15:01:31.476 ->

```

(lanjutan)

```

15:01:31.476 -> -----
15:01:31.476 -> [SUHU] Mentah: 33.13 | MA: 33.11 | RoR: 0.0063
15:01:31.476 -> [GAS ] Mentah: 480 | MA: 509
15:01:31.476 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:36.074 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:36.074 -> [RESPON API] : WASPADA
15:01:36.074 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:01:36.074 -> ----- [QoS] -----
15:01:36.074 -> [QoS] Delay : 4585 ms
15:01:36.074 -> [QoS] Throughput : 226.83 bps
15:01:36.137 -> [QoS] Total Kirim : 23
15:01:36.137 -> [QoS] Berhasil : 23
15:01:36.137 -> -> AMAN : 8
15:01:36.137 -> -> WASPADA : 14
15:01:36.137 -> -> BAHAYA : 1
15:01:36.137 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:36.137 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:36.137 -> [QoS] Avg Delay : 2310.87 ms

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:36.142 -> -----
15:01:36.142 -> [SUHU] Mentah: 35.06 | MA: 33.51 | RoR: 0.2000
15:01:36.142 -> [GAS ] Mentah: 369 | MA: 482
15:01:36.142 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:37.791 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:37.791 -> [RESPON API] : WASPADA
15:01:37.791 -> >> [RELAY] OFF - Status: WASPADA
15:01:37.791 -> ----- [QoS] -----
15:01:37.791 -> [QoS] Delay : 1639 ms
15:01:37.791 -> [QoS] Throughput : 644.30 bps
15:01:37.791 -> [QoS] Total Kirim : 24
15:01:37.838 -> [QoS] Berhasil : 24
15:01:37.838 -> -> AMAN : 8
15:01:37.838 -> -> WASPADA : 15
15:01:37.838 -> -> BAHAYA : 1
15:01:37.838 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:37.838 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:37.838 -> [QoS] Avg Delay : 2282.88 ms
15:01:37.838 -> -----
15:01:38.141 -> -----

```

(lanjutan)

```

15:01:38.141 -> -----
15:01:38.141 -> [SUHU] Mentah: 42.50 | MA: 35.39 | RoR: 0.9375
15:01:38.141 -> [GAS ] Mentah: 371 | MA: 450
15:01:38.141 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:39.756 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:39.756 -> [RESPON API] : BAHAYA
15:01:39.756 -> >> [RELAY] ON - Status: BAHAYA
15:01:39.756 -> ----- [QoS] -----
15:01:39.756 -> [QoS] Delay : 1593 ms
15:01:39.756 -> [QoS] Throughput : 637.79 bps
15:01:39.756 -> [QoS] Total Kirim : 25
15:01:39.756 -> [QoS] Berhasil : 25
15:01:39.756 -> -> AMAN : 8
15:01:39.756 -> -> WASPADA : 15
15:01:39.756 -> -> BAHAYA : 2
15:01:39.756 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:39.756 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:39.791 -> [QoS] Avg Delay : 2255.28 ms
15:01:39.791 -> -----
15:01:40.140 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:40.140 -> -----
15:01:40.140 -> [SUHU] Mentah: 44.88 | MA: 37.74 | RoR: 1.1750
15:01:40.140 -> [GAS ] Mentah: 331 | MA: 409
15:01:40.140 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:41.797 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:41.797 -> [RESPON API] : BAHAYA
15:01:41.797 -> >> [RELAY] ON - Status: BAHAYA
15:01:41.797 -> ----- [QoS] -----
15:01:41.797 -> [QoS] Delay : 1636 ms
15:01:41.797 -> [QoS] Throughput : 640.59 bps
15:01:41.797 -> [QoS] Total Kirim : 26
15:01:41.797 -> [QoS] Berhasil : 26
15:01:41.797 -> -> AMAN : 8
15:01:41.797 -> -> WASPADA : 15
15:01:41.797 -> -> BAHAYA : 3
15:01:41.797 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:41.840 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:41.840 -> [QoS] Avg Delay : 2231.46 ms
15:01:41.840 -> -----

```

(lanjutan)

```

15:01:42.167 -> -----
15:01:42.167 -> [SUHU] Mentah: 47.06 | MA: 40.53 | RoR: 1.3938
15:01:42.167 -> [GAS ] Mentah: 297 | MA: 369
15:01:42.167 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:43.749 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:43.749 -> [RESPON API] : BAHAYA
15:01:43.749 -> >> [RELAY] ON - Status: BAHAYA
15:01:43.749 -> ----- [QoS] -----
15:01:43.749 -> [QoS] Delay : 1586 ms
15:01:43.749 -> [QoS] Throughput : 660.78 bps
15:01:43.749 -> [QoS] Total Kirim : 27
15:01:43.749 -> [QoS] Berhasil : 27
15:01:43.749 -> -> AMAN : 8
15:01:43.749 -> -> WASPADA : 15
15:01:43.749 -> -> BAHAYA : 4
15:01:43.749 -> [QoS] Gagal : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:43.749 -> [QoS] Packet Loss : 0.00 %
15:01:43.789 -> [QoS] Avg Delay : 2207.56 ms
15:01:43.789 -> -----
15:01:44.168 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(lanjutan)

```

15:01:44.168 -> -----
15:01:44.168 -> [SUHU] Mentah: 49.13 | MA: 43.72 | RoR: 1.6000
15:01:44.168 -> [GAS ] Mentah: 277 | MA: 329
15:01:44.168 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:45.778 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:45.778 -> [RESPON API]      : BAHAYA
15:01:45.778 -> >> [RELAY] ON - Status: BAHAYA
15:01:45.778 -> ----- [QoS] -----
15:01:45.778 -> [QoS] Delay          : 1624 ms
15:01:45.778 -> [QoS] Throughput     : 640.39 bps
15:01:45.778 -> [QoS] Total Kirim    : 28
15:01:45.778 -> [QoS] Berhasil       : 28
15:01:45.822 -> -> AMAN              : 8
15:01:45.822 -> -> WASPADA           : 15
15:01:45.822 -> -> BAHAYA            : 5
15:01:45.822 -> [QoS] Gagal          : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:45.822 -> [QoS] Packet Loss    : 0.00 %
15:01:45.822 -> [QoS] Avg Delay      : 2186.71 ms
15:01:45.822 -> -----
15:01:46.150 ->

```

(lanjutan)

```

15:01:46.150 -> -----
15:01:46.150 -> [SUHU] Mentah: 50.88 | MA: 46.89 | RoR: 1.5813
15:01:46.150 -> [GAS ] Mentah: 251 | MA: 305
15:01:46.150 -> [FLAME] Mentah: 4095
15:01:49.756 -> [HTTP] Response : Success (200)
15:01:49.814 -> [RESPON API]      : BAHAYA
15:01:49.814 -> >> [RELAY] ON - Status: BAHAYA
15:01:49.814 -> ----- [QoS] -----
15:01:49.814 -> [QoS] Delay          : 3621 ms
15:01:49.814 -> [QoS] Throughput     : 289.42 bps
15:01:49.814 -> [QoS] Total Kirim    : 29
15:01:49.814 -> [QoS] Berhasil       : 29
15:01:49.814 -> -> AMAN              : 8
15:01:49.814 -> -> WASPADA           : 15
15:01:49.814 -> -> BAHAYA            : 6
15:01:49.814 -> [QoS] Gagal          : 0 (Status Tidak Diketahui)
15:01:49.814 -> [QoS] Packet Loss    : 0.00 %
15:01:49.814 -> [QoS] Avg Delay      : 2236.17 ms
15:01:49.822 -> -----

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

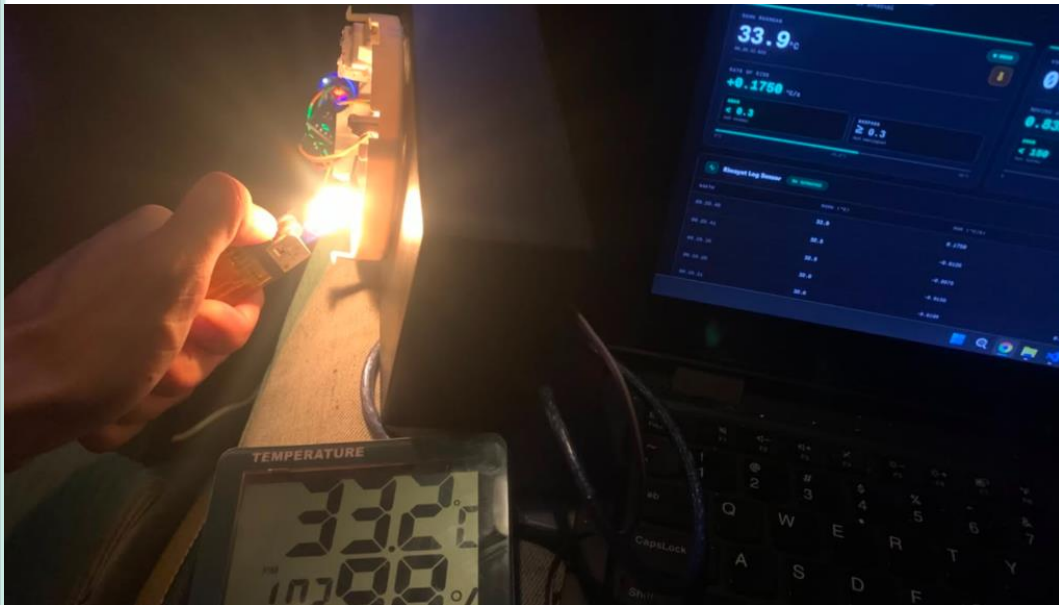
Lampiran 1. 4 Pengujian Akurasi Sensor



Lampiran 1.6 Pengujian Gas / Asap



Lampiran 1.7 Pengujian Flame Sensor



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

