

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN SISTEM MITIGASI KEBOCORAN GAS
LPG BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI NOTIFIKASI
TERJADWAL PADA PLATFORM ANDROID**

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD SARJA MAULANA

2209020118



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : PENGEMBANGAN SISTEM MITIGASI
KEBOCORAN GAS LPG BERBASIS IOT
DENGAN INTEGRASI NOTIFIKASI
TERJADWAL PADA PLATFORM
ANDROID

Nama Mahasiswa : MUHAMMAD SARJA MAULANA

NPM : 2209020118

Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui,

Komisi Pembimbing



(Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S.Kom, M.Kom)

NIDN. 0117088902

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)

NIDN. 0117019301

Dekan



(Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS
PENGEMBANGAN SISTEM MITIGASI KEBOCORAN GAS
LPG BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI NOTIFIKASI
TERJADWAL PADA PLATFORM ANDROID

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 13 April 2026

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD SARJA MAULANA
NPM.2209020118

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Sarja Maulana

NPM : 2209020118

Program Studi : Teknologi Informasi

Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (Non-Exclusive Royalty free Right) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**PENGEMBANGAN SISTEM MITIGASI KEBOCORAN GAS
LPG BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI NOTIFIKASI
TERJADWAL PADA PLATFORM ANDROID**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya .

Medan, 13 April 2026

Yang Membuat Pernyataan



MUHAMMAD SARJA MAULANA
NPM.2209020118

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Muhammad Sarja Maulana
Tempat dan Tanggal Lahir : Peureulak 16 Maret 2003
Alamat Rumah : Dusun Simpang Tugu
Telepon/Faks/HP : 082225528958
E-mail : sarja831@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : negeri 3 julok rayeuk utara TAMAT : 2014
SMP : negeri 2 indra makmu TAMAT : 2017
SMA : MAS Nurul ulum aceh timur TAMAT : 2021

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Sistem Penyiraman dan Pemupukan Otomatis Pada Tanaman Jagung Berbasis Internet of Things (IoT) Dengan Menggunakan Google Assistant" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Komputer pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom Ketua Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi
5. Dosen Pembimbing Bapak Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S,Kom., M.Kom
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi yang telah membantu dan memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Pegawai Biro Administrasi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

8. Kedua orang tua penulis Bapak usman dan ibu hanifah yang telah memberikan semangat, dukungan, motivasi, kasih sayang, tidak pernah berhenti untuk mendoakan penulis, serta pengorbanan dan kerja keras dalam membiayai sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik.
9. Kepada kakak henni mailina dan kakak yetti mulyani yang telah membantu serta senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.
10. Penulis ucapkan terima kasih kepada diri sendiri yang sudah mampu berjuang selama ini, tetap bertahan, sudah mejadi lebih kuat, berani dan tidak pernah menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan yang ada hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.
11. Seluruh keluarga penulis yang sudah banyak memberikan dukungan dan motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
12. Sahabat-sahabat penulis yang sudah memberikan dukungan dan sudah menemani penulis dari awal masa perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan studi di perkuliahan.
13. Teman-teman penulis yang telah memberikan bantuan, motivasi, semangat dan kebersamaan selama proses penyusunan skripsi ini.
14. Dalam proses penyusunan skripsi ini banyak pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, bantuan serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Pengembangan Sistem Mitigasi Kebocoran Gas Lpg Berbasis Iot Dengan Integrasi Notifikasi Terjadwal Pada Platform Android

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem mitigasi kebocoran gas LPG berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan sensor MQ-2 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses utama. Menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dan arsitektur tiga lapis (*Three-Tier Architecture*), sistem ini mampu mendeteksi partikel propana serta butana secara akurat dengan ambang batas bahaya sebesar 400 PPM. Data konsentrasi gas disinkronkan secara *real-time* ke *Firestore Realtime Database* dan divisualisasikan melalui aplikasi Android berbasis Kotlin yang memberikan notifikasi instan kepada pengguna. Hasil pengujian menunjukkan performa sistem yang sangat responsif dengan rata-rata waktu respon hanya 2,6 detik dari deteksi sensor hingga munculnya peringatan di *smartphone*, sehingga efektif sebagai solusi peringatan dini untuk mencegah risiko ledakan dan kebakaran di area domestik.

Kata Kunci: *Internet of Things* (IoT) , Kebocoran Gas LPG , NodeMCU ESP8266 , Sensor MQ-2 , *Firestore Realtime Database* , Aplikasi Android.

**Development of an IoT-Based LPG Gas Leakage Mitigation System
with Scheduled Notification Integration on the Android Platform**

ABSTRACT

This study aims to design and develop an IoT-based LPG gas leakage mitigation system by integrating the MQ-2 sensor and NodeMCU ESP8266 microcontroller as the main processing unit. Using the Research and Development (R&D) method and a Three-Tier Architecture, this system is capable of accurately detecting propane and butane particles with a hazard threshold of 400 PPM. Gas concentration data is synchronized in real-time to the Firebase Realtime Database and visualized through a Kotlin-based Android application that provides instant notifications to the user. The test results show a highly responsive system performance, with an average response time of only 2.6 seconds from sensor detection to the appearance of the alert on the smartphone, making it an effective early warning solution to prevent the risk of explosions and fires in domestic areas.

Keywords: *Internet of Things (IoT), LPG Gas Leakage, NodeMCU ESP8266, MQ-2 Sensor, Firebase Realtime Database, Android Application.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Internet of Things (IoT)	7
2.1.1 Definisi Internet of Things	7
2.1.2 Definisi Internet of Things	9
2.1.3 Prinsip Kerja Real-Time Monitoring dan Latency	10
2.1.4 Arsitektur Internet of Things (IoT)	12
2.2 Gas LPG (Liquefied Petroleum Gas)	14
2.3 Perangkat Keras (Hardware)	16
2.3.1 NodeMCU ESP8266	16
2.3.2 Sensor Gas MQ-2	17
2.3.3 Buzzer	21
2.3.4 Lampu LED (Light Emitting Diode)	22
2.3.5 Catu Daya (Power Supply)	24
2.4 Perangkat Lunak (Software)	25
2.4.1 Arduino IDE (Integrated Development Environment)	26
2.4.2 Firebase	28
2.4.3 Sistem Operasi Android	30

2.5 Penelitian Terdahulu.....	31
2.5.1 Tabel Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	31
2.5.2 Perbandingan dengan Penelitian Saat Ini (<i>State of the Art</i>).....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Jenis Penelitian.....	34
3.2 Lokasi Dan Jadwal Penelitian	35
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	35
3.2.2 Jadwal Penelitian	36
3.3 Tahapan penelitian.....	37
3.4 Analisis Detail Koneksi Antar Komponen (<i>Wiring Detail</i>)	41
3.5 Perancangan Alat / Design 3d	44
3.6 Teknik Analisis Data	45
3.6.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor.....	45
3.6.2 Analisis Waktu Respon (<i>Response Time</i>)	46
3.6.3 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data.....	46
3.6.4 Penarikan Kesimpulan	46
3.7 Uji Validitas dan Reliabilitas Sistem.....	47
3.7.1 Uji Validitas (Akurasi)	47
3.7.2 Uji Reliabilitas (Konsistensi).....	47
3.8 Diagram alir.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 Implementasi Perangkat Keras (Hardware)	52
4.1.1 Perakitan Mikrokontroler dan Sensor.....	52
4.1.2 Sistem Catu Daya dan Stabilitas Elektrik.....	53
4.1.3 Aktuator Peringatan Lokal dan Visualisasi.....	54
4.1.4 Integrasi Fisik dan Pengemasan (<i>Casing</i>).....	55
4.2 Implementasi Perangkat Lunak (Software).....	55
4.2.1 Pengembangan <i>Firmware</i> pada Arduino IDE.....	56
4.2.2 Konfigurasi Firebase Realtime Database.....	56
4.2.3 Implementasi Aplikasi Android (Kotlin)	57
4.3 Pengujian dan Analisis Data.....	59
4.3.1 Uji Akurasi Sensor MQ-2 terhadap Jarak.....	59
4.3.2 Uji Waktu Respon (<i>Response Time</i>)	60
4.3.3 Uji Validitas Notifikasi dan Aktuator.....	60
4.3.4 Analisis Akhir dan Penarikan Kesimpulan	61
4.4 Pembahasan (<i>State of the Art</i>)	61

4.4.1 Efektivitas Deteksi dan Akurasi Sensor.....	61
4.4.2 Performa Sinkronisasi Data dan Notifikasi Terjadwal.....	62
4.4.3 Keamanan Berlapis (<i>Layered Security</i>)	62
4.4.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (<i>State of the Art</i>) .	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Sensor MQ-2	18
Tabel 2. Karakteristik Buzzer	22
Tabel 3 Spesifikasi Teknis Lampu LED.....	23
Tabel 4 . Ringkasan Penelitian Terdahulu	31
Tabel 5. Jadwal Kegiatan	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Internet Of Things	7
Gambar 2.2 <i>Layers of an iot Architecture</i>	9
Gambar 2.3 Real-Time Monitoring dan Latency	11
Gambar 2.4 <i>Three-Tier Architecture</i>	13
Gambar 2.5 Karakteristik Ekspansi Cairan LPG Terhadap Perubahan Suhu dan Tekanan	14
Gambar 2.6 NodeMCU ESP8266	16
Gambar 2.7 Sensor MQ-2	18
Gambar 2.8 Buzzer.....	21
Gambar 2.9 Lampu LED.....	22
Gambar 2.10 Power Suply 5A	24
Gambar 2.11 Arduino IDE	26
Gambar 2.12 Transformasi Data Analog ke Digital.....	27
Gambar 2.13 Firebase	28
Gambar 3.1 Diagram Proses Penelitian	38
Gambar 3.1 Wiring Diagram.....	41
Gambar 3.2 Design 3d Prototype Detector gas.....	44
Gambar 3.3 Diagram Cara Kerja Alat.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan salah satu bahan bakar yang banyak digunakan oleh masyarakat, baik di rumah tangga maupun di dunia usaha karena penggunaannya yang praktis, mudah disimpan, dan efisien. Secara teknis, LPG merupakan campuran gas hidrokarbon, terutama propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), yang memiliki karakteristik utama bersifat sangat mudah terbakar. Namun, di balik kemudahannya, LPG menyimpan risiko kecelakaan besar jika terjadi kebocoran yang tidak terkendali. Menurut (Pateriya *et al.*, 2021), kebocoran gas LPG di area domestik sering kali terlambat disadari, sehingga akumulasi gas tersebut dapat memicu ledakan hebat jika terpapar percikan api kecil dari peralatan listrik atau dapur.

Meskipun menjadi pilihan utama di setiap dapur, LPG memiliki risiko bahaya yang cukup tinggi karena sifatnya yang tidak terlihat secara kasat mata. Walaupun produsen telah menambahkan zat pembau (*mercaptan*) untuk memudahkan pengenalan secara manual, banyak pengguna yang tetap gagal mendeteksi kebocoran pada tahap awal, terutama jika konsentrasinya masih rendah. Hal ini dipertegas oleh (Mutaqin and Sitompul, 2021) yang menyatakan bahwa indra penciuman manusia memiliki keterbatasan dalam merespons kebocoran gas secara konsisten, sehingga diperlukan perangkat elektronik yang dapat memantau kondisi udara selama 24 jam penuh untuk menjamin keamanan rumah tangga.

Situasi ini menjadi semakin berbahaya apabila kebocoran terjadi pada malam hari saat penghuni rumah sedang tidur atau ketika rumah sedang kosong

tanpa pengawasan. Sebagaimana dijelaskan oleh (Adrama, Ramadhan and Sukadana, 2022), sistem keamanan konvensional sering kali gagal memberikan perlindungan maksimal karena tidak adanya mekanisme peringatan jarak jauh yang dapat memberi tahu pemilik rumah secara instan. Oleh karena itu, penelitian terkait sistem monitoring keamanan menjadi sangat relevan. Sebagaimana ditekankan oleh (Tanjung, 2025), efektivitas sistem keamanan pada aset berharga sangat bergantung pada kemampuan teknologi dalam mendeteksi anomali secara dini dan memberikan respons cepat melalui perangkat yang terhubung secara *real-time* kepada pemiliknya.

Seiring dengan perkembangan teknologi, terutama dalam bidang sistem tertanam (*embedded system*), kini berbagai sistem keamanan dapat dirancang agar lebih cerdas dan responsif melalui konsep *Internet of Things* (IoT). IoT memungkinkan perangkat sensor untuk terhubung langsung dengan jaringan internet sehingga dapat mengirimkan data secara *real-time* kepada pengguna. Menurut Fuadi et al. (2024), integrasi antara mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan aplikasi Android melalui jaringan internet memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara praktis dan efisien dari jarak jauh. Pemanfaatan teknologi ini sangat krusial dalam memitigasi risiko kecelakaan di area yang sulit diawasi secara manual secara terus-menerus.

Dalam penerapannya pada sistem deteksi gas, penggunaan sensor gas MQ-2 yang dikombinasikan dengan modul Wi-Fi pada NodeMCU memungkinkan pembacaan data konsentrasi gas dikirimkan langsung ke platform *cloud*. Hal ini selaras dengan penelitian (Lopez et al., 2025), yang menyatakan bahwa penggunaan sensor MQ-2 dalam ekosistem IoT mampu mendeteksi keberadaan

asap dan gas bocor secara akurat, kemudian memicu peringatan instan pada perangkat seluler pengguna. Keunggulan dari sistem berbasis IoT ini adalah kemampuannya dalam melakukan deteksi anomali secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung di lokasi kejadian (Antad *et al.*, 2025).

Risiko ledakan akibat kebocoran LPG sering kali dipicu oleh akumulasi gas yang tidak terdeteksi dalam ruang tertutup. Menurut (Husny, Kurniawan and Lasmadi, 2022) pengembangan sistem pemantauan berbasis IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi, tetapi juga sebagai sistem peringatan dini yang krusial untuk mencegah eskalasi bahaya kebakaran di area domestik melalui pengiriman data secara cepat dan akurat ke perangkat pengguna

Implementasi IoT dalam sistem keamanan rumah tangga tidak hanya menawarkan aspek fungsionalitas, tetapi juga keandalan dalam pengiriman informasi bahaya. Penggunaan aplikasi Android sebagai media notifikasi otomatis menjadi pilihan yang tepat mengingat mayoritas masyarakat saat ini bergantung pada perangkat *smartphone* dalam aktivitas sehari-hari. Sebagaimana dikemukakan oleh (Dwitama, Janardana and Wijaya, 2021),

Berdasarkan permasalahan mengenai risiko kebocoran gas LPG dan potensi besar teknologi IoT yang telah dipaparkan, maka diperlukan sebuah pengembangan sistem yang lebih terintegrasi. Meskipun penelitian sebelumnya telah banyak membahas deteksi gas, namun pengoptimalan notifikasi real-time yang stabil pada perangkat Android berbasis platform yang user-friendly masih perlu diperdalam. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul 'Rancang Bangun Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT

Berbasis Android'. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi keamanan yang lebih responsif, akurat, dan dapat diandalkan bagi masyarakat luas.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem perangkat keras deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang memiliki akurasi tinggi?
2. Bagaimana mengintegrasikan sensor gas dengan platform IoT agar data konsentrasi gas dapat dikirimkan dan dipantau secara *real-time* melalui jaringan internet?
3. Bagaimana mengimplementasikan sistem notifikasi otomatis pada aplikasi Android agar pengguna mendapatkan peringatan instan saat kadar gas melebihi ambang batas aman?
4. Bagaimana menguji performa sistem dalam hal kecepatan respon sensor dan keberhasilan pengiriman notifikasi dari perangkat IoT ke smartphone pengguna?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan mendalam, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah NodeMCU ESP8266 sebagai pengolah data dan modul komunikasi Wi-Fi.

2. Sensor yang digunakan adalah MQ-2 yang difokuskan untuk mendeteksi gas LPG (Propana dan Butana), bukan untuk mendeteksi jenis gas kimia khusus lainnya secara detail.
3. Aplikasi monitoring dibangun pada platform Android yang terintegrasi dengan Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan data dan komunikasi data secara real-time.
4. Notifikasi kebocoran gas dikirimkan melalui aplikasi Android selama perangkat smartphone dan alat pendeteksi terhubung dengan jaringan internet.
5. Pengujian dilakukan pada skala rumah tangga dengan penempatan alat pada jarak tertentu dari sumber gas untuk memastikan efektivitas deteksi.
6. Koneksi Internet yang digunakan bergantung pada stabilitas jaringan Wi-Fi di lokasi penempatan alat dan ketersediaan kuota internet pada *smartphone* pengguna.
7. Objek Pengujian difokuskan pada simulasi kebocoran gas LPG dalam skala ruang tertutup untuk mengukur kecepatan respon sensor dan notifikasi.
8. Sistem ini berfungsi sebagai alat deteksi dan peringatan dini, sehingga tidak mencakup mekanisme perbaikan kebocoran otomatis seperti memutar katup regulator secara mekanis.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sebuah perangkat keras (hardware) sistem deteksi kebocoran gas LPG dengan mengintegrasikan sensor MQ-2 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266.
2. Membangun konektivitas antara perangkat sensor dengan Firebase Realtime Database agar data konsentrasi gas dapat ditransmisikan secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi dan disimpan dalam basis data secara *real-time*
3. Mengimplementasikan fitur monitoring dan notifikasi pada aplikasi Android sehingga pengguna dapat memantau status keamanan gas dan menerima peringatan dini saat terjadi kebocoran secara real-time.
4. Melakukan pengujian dan analisis terhadap performa sistem, yang meliputi akurasi pembacaan sensor MQ-2 serta kecepatan waktu respon (delay) pengiriman notifikasi dari alat ke smartphone pengguna.

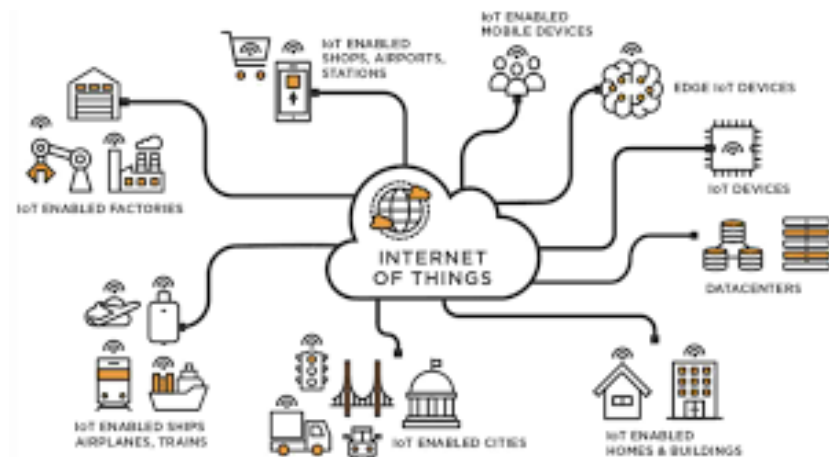
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Internet of Things (IoT)

2.1.1 Definisi Internet of Things

Internet of Things (IoT) secara fundamental merupakan sebuah konsep di mana objek fisik atau perangkat sehari-hari memiliki kemampuan untuk terhubung ke jaringan internet, sehingga dapat mengirimkan, menerima, dan memproses data secara mandiri tanpa memerlukan interaksi langsung antara manusia ke manusia atau manusia ke komputer. Objek-objek tersebut dilengkapi dengan sensor, *embedded system*, dan teknologi komunikasi yang memungkinkan mereka untuk "berkomunikasi" satu sama lain dalam sebuah ekosistem digital terintegrasi.



Gambar 2.1 Internet Of Things

Menurut (Fuadi *et al.*, 2024), teknologi IoT dalam konteks sistem pemantauan lingkungan merupakan sinergi antara perangkat keras mikrokontroler dengan aplikasi seluler yang memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk memantau kondisi secara praktis dari jarak jauh. IoT mengubah data fisik yang ditangkap oleh sensor di lapangan menjadi informasi digital yang dapat diolah

untuk pengambilan keputusan secara cepat. (Pustaka, 2025) IoT adalah konsep teknologi yang memungkinkan objek fisik terhubung dan bertukar data melalui internet . Dalam konteks donasi, perangkat seperti sensor, mikrokontroler, dan aplikasi perpesanan dapat saling terhubung untuk melakukan otomatisasi proses pengumpulan dan pencatatan dana. ESP32 sebagai otak sistem menawarkan konektivitas Wi-Fi yang memadai serta kemampuan mengontrol berbagai perangkat secara simultan

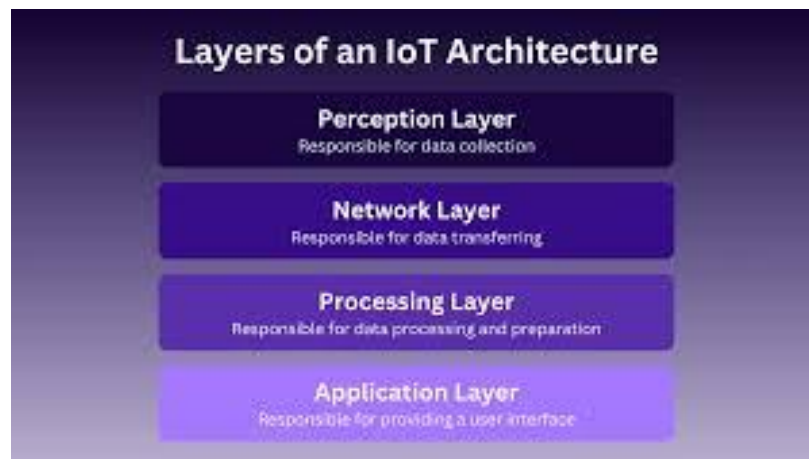
Lebih lanjut, (Pateriya *et al.*, 2021) menjelaskan bahwa inti dari teknologi IoT terletak pada kemampuannya untuk melakukan deteksi dan pencegahan secara otomatis. Dalam sistem keamanan, IoT tidak hanya sekadar menghubungkan perangkat ke internet, tetapi juga memastikan adanya mekanisme respons otomatis terhadap potensi bahaya yang terdeteksi. Hal ini sejalan dengan prinsip yang dikemukakan oleh (Tanjung, 2025), bahwa implementasi IoT yang ideal harus mampu mendeteksi anomali pada aset berharga secara dini dan memberikan respons melalui perangkat yang terhubung secara *real-time*.

Secara teknis, sebuah sistem dapat dikategorikan sebagai sistem IoT apabila memiliki tiga elemen dasar, yaitu:

1. Identitas unik pada setiap perangkat (seperti alamat IP).
2. Kemampuan pengumpulan data melalui sensor atau perangkat masukan lainnya.
3. Media transmisi (seperti Wi-Fi atau seluler) yang menghubungkan perangkat tersebut ke platform *cloud* untuk pemrosesan informasi lebih lanjut.

2.1.2 Definisi Internet of Things

Arsitektur *Internet of Things* merupakan kerangka kerja yang mendefinisikan hubungan antara komponen fisik dan jaringan digital. Dalam penelitian ini, arsitektur yang digunakan didasarkan pada model tiga lapis (*three-tier architecture*) yang dioptimalkan melalui ekosistem Arduino Cloud. Menurut (Antad *et al.*, 2025) struktur arsitektur yang terorganisir sangat krusial untuk memastikan deteksi anomali dapat berjalan secara otomatis tanpa kegagalan sistem.



Gambar 2.2 *Layers of an iot Architecture*

Adapun rincian dari ketiga lapisan arsitektur tersebut adalah sebagai berikut:

1. Lapisan Persepsi (*Perception Layer*) Lapisan ini merupakan garda terdepan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik. Komponen utamanya adalah sensor MQ-2 yang bertugas mengumpulkan data analog berupa konsentrasi gas LPG. Sebagaimana dijelaskan oleh (Antad *et al.*, 2025), kualitas data pada lapisan persepsi sangat menentukan akurasi seluruh sistem; jika sensor memberikan pembacaan yang presisi, maka peringatan yang dikirimkan ke pengguna akan lebih valid.

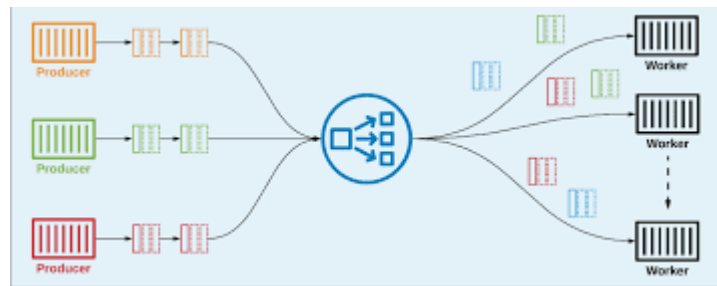
2. Lapisan Jaringan (*Network Layer*) Lapisan ini bertanggung jawab untuk mentransmisikan data dari lapisan persepsi ke server pusat. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai *gateway* nirkabel yang menghubungkan perangkat keras ke internet melalui protokol Wi-Fi. Penggunaan Arduino Cloud pada lapisan ini memberikan keunggulan berupa jalur komunikasi terenkripsi yang menjamin keamanan data. (Fuadi *et al.*, 2024) menekankan bahwa efisiensi pada lapisan jaringan ini sangat memengaruhi kemudahan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan secara praktis dari jarak jauh.
3. Lapisan Aplikasi (*Application Layer*) Lapisan ini adalah bagian yang berinteraksi langsung dengan pengguna melalui antarmuka visual. Dalam sistem ini, lapisan aplikasi direpresentasikan oleh *dashboard* pada aplikasi Arduino IoT Remote di *smartphone*. Fungsi utamanya adalah memvisualisasikan data kadar gas dan memicu notifikasi peringatan. (Dwitama, Janardana and Wijaya, 2021) menyatakan bahwa efektivitas lapisan aplikasi ini terletak pada kemampuannya menjembatani hambatan jarak antara lokasi potensi bahaya dengan pemilik rumah melalui sistem notifikasi yang responsif.

2.1.3 Prinsip Kerja Real-Time Monitoring dan Latency

Prinsip kerja pemantauan waktu nyata (*real-time monitoring*) dalam sistem IoT adalah kemampuan sistem untuk memproses dan menyajikan data sensor sesaat setelah data tersebut diambil dari lingkungan fisik. Menurut (Siregar *et al.*, 2024) efektivitas sistem keamanan pada aset berharga sangat bergantung pada kemampuan teknologi dalam memberikan respons cepat terhadap anomali yang

terdeteksi. Dalam konteks kebocoran gas LPG, setiap detik keterlambatan informasi dapat meningkatkan risiko akumulasi gas yang memicu ledakan hebat (Akbar, 2021)

Mekanisme *real-time* pada sistem ini bekerja melalui proses sinkronisasi variabel antara NodeMCU ESP8266 dan Arduino Cloud. Ketika sensor MQ-2 mendeteksi kenaikan konsentrasi gas, data tersebut dikirimkan ke *cloud* menggunakan protokol komunikasi ringan yang dirancang untuk IoT. Sebagaimana dijelaskan oleh (Lopez *et al.*, 2025). stabilitas konektivitas dan efisiensi pengiriman data pada ekosistem IoT sangat menentukan keberhasilan peringatan instan pada perangkat seluler pengguna.



Gambar 2.3 Real-Time Monitoring dan Latency

Salah satu parameter krusial dalam pemantauan ini adalah *Latency* (latensi) atau waktu tunda. Latensi dalam sistem IoT didefinisikan sebagai total waktu yang dibutuhkan data untuk bergerak dari sensor, melewati jaringan internet, diproses oleh server *cloud*, hingga akhirnya muncul sebagai notifikasi di *smartphone* pengguna. Beberapa faktor yang memengaruhi latensi antara lain:

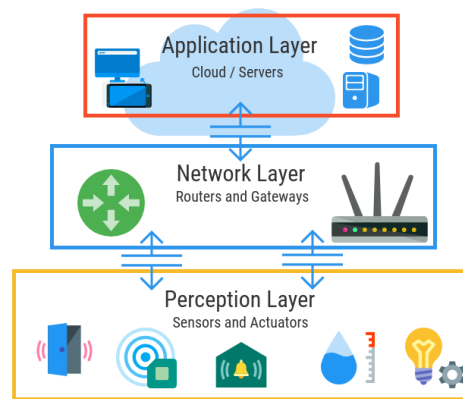
1. Kecepatan Jaringan nirkabel (Wi-Fi): Kestabilan koneksi internet di lokasi penempatan alat memengaruhi durasi transmisi data ke *cloud* (Fuadi *et al.*, 2024)

2. Beban Server *Cloud*: Kecepatan platform Arduino Cloud dalam memproses permintaan (*request*) dari perangkat keras.
3. Sinkronisasi Variabel: Penggunaan fitur *automatic update* pada Arduino Cloud yang memastikan data hanya dikirimkan saat terjadi perubahan signifikan pada nilai sensor, sehingga mengurangi beban lalu lintas data.

Urgensi meminimalisir latensi ini selaras dengan penelitian (Adrama, Ramadhan and Sukadana, 2022) yang menyatakan bahwa sistem pemantauan harus mampu menjembatani hambatan jarak antara lokasi bahaya dengan pemilik rumah secara responsif. Dengan latensi yang rendah, pengguna dapat mengambil tindakan preventif seperti mematikan arus listrik atau membuka ventilasi udarasegera setelah menerima notifikasi peringatan gas bocor dari aplikasi Arduino IoT Remote.

2.1.4 Arsitektur Internet of Things (IoT)

Sistem deteksi kebocoran gas ini dirancang menggunakan konsep *Three-Tier Architecture* untuk memastikan aliran data dari lingkungan fisik dapat tersampaikan ke pengguna secara sistematis. Menurut (Sutikno *et al.*, 2023), arsitektur IoT yang ideal harus membagi tugas antara pengambilan data, pengiriman data, dan penyajian data agar sistem memiliki skalabilitas dan keandalan yang tinggi.



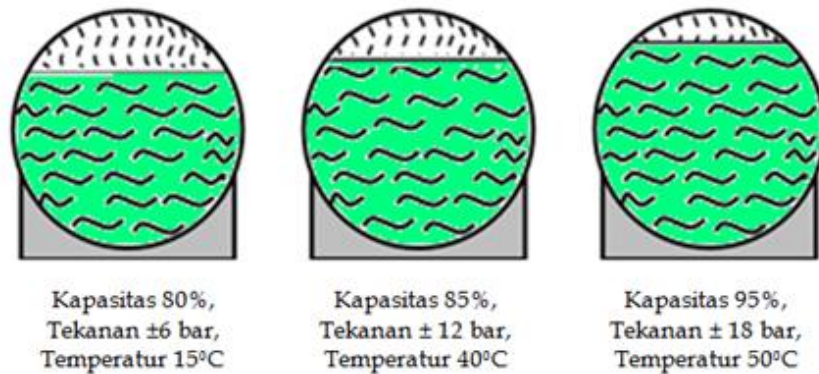
Gambar 2.4 *Three-Tier Architecture*

Adapun ketiga lapisan (*layer*) tersebut dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perception Layer (Lapisan Persepsi): Merupakan lapisan fisik yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Di sini, sensor MQ-2 bertugas menangkap sinyal analog dari kebocoran gas LPG yang kemudian dikonversi menjadi data digital oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266.
2. Network Layer (Lapisan Jaringan): Berperan sebagai jembatan komunikasi yang mengirimkan data dari lapisan persepsi menuju media penyimpanan. Pada sistem ini, konektivitas Wi-Fi pada NodeMCU mengirimkan data melalui protokol internet menuju *Firestore Realtime Database* untuk sinkronisasi data secara *real-time*.
3. Application Layer (Lapisan Aplikasi): Adalah lapisan terakhir yang berinteraksi langsung dengan pengguna. Data yang tersimpan di *cloud* akan divisualisasikan melalui aplikasi Android, yang memungkinkan pemilik rumah memantau kondisi keamanan dapur dan menerima notifikasi peringatan secara instan.

2.2 Gas LPG (Liquefied Petroleum Gas)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar hidrokarbon yang terdiri dari campuran gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Karakteristik utama LPG adalah kemampuannya untuk berubah fase dari gas menjadi cair di bawah tekanan sedang, yang memungkinkannya disimpan dalam volume besar di dalam tabung baja.



Gambar 2.5 Karakteristik Ekspansi Cairan LPG Terhadap Perubahan Suhu dan Tekanan

Berdasarkan sifat fisik dan data teknis, karakteristik LPG dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Hubungan Tekanan, Temperatur, dan Kapasitas

Kondisi fisik LPG di dalam tabung sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Berdasarkan data teknis penyimpanan:

- Pada temperatur 15°C, LPG memiliki tekanan sekitar 6 bar dengan kapasitas pengisian 80%.
- Peningkatan temperatur menjadi 40°C akan menaikkan tekanan secara signifikan hingga 12 bar dan kapasitas volume meningkat menjadi 85% akibat ekspansi termal.
- Pada kondisi ekstrem dengan temperatur 50°C, tekanan dapat mencapai 18 bar dengan kapasitas 95%.

Peningkatan tekanan yang ekstrem akibat panas matahari atau api di sekitar tabung dapat memicu risiko kebocoran pada katup (valve) atau bahkan ledakan tabung.

2. Sifat Mudah Terbakar (Flammability)

LPG memiliki rentang konsentrasi ledakan yang berbahaya. Menurut (Pateriya *et al.*, 2021) sifatnya yang sangat reaktif membuat gas ini mudah tersulut oleh percikan api sekecil apa pun jika telah bercampur dengan oksigen di udara.

3. Massa Jenis dan Pola Akumulasi

LPG memiliki berat jenis yang lebih besar daripada udara. Hal ini menyebabkan gas yang bocor cenderung mengalir ke area yang lebih rendah dan mengendap di permukaan lantai. Fenomena ini didukung oleh pendapat (Dwitama, Janardana and Wijaya, 2021) karakteristik gas yang mengendap di bawah mengharuskan penempatan sensor deteksi pada posisi yang rendah agar respons sistem tetap optimal.

4. Keterbatasan Deteksi Alami

Secara alami LPG tidak berbau, namun zat aditif mercaptan ditambahkan untuk membantu deteksi melalui aroma. Meskipun demikian, (Mutaqin and Sitompul, 2021) menegaskan bahwa indra penciuman manusia sering kali tidak peka terhadap kebocoran kecil atau saat penghuni rumah sedang tidur. Oleh karena itu, diperlukan sistem elektronik yang mampu bekerja secara kontinu dan memberikan respon cepat secara real-time sesuai dengan standar keamanan yang ditekankan oleh (Tanjung, 2025) .

2.3 Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras merupakan komponen fisik dari sistem yang berfungsi untuk menangkap data dari lingkungan, memprosesnya, dan memberikan respon balik. Berikut adalah komponen utama yang digunakan:

2.3.1 NodeMCU ESP8266



Gambar 2.6 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 adalah sebuah platform IoT (*Internet of Things*) yang bersifat *open-source*, yang terdiri dari sistem *on-chip* ESP8266 buatan Espressif Systems. Perangkat ini menggabungkan kemampuan mikrokontroler dengan modul Wi-Fi terintegrasi, sehingga sangat efektif untuk proyek-proyek yang membutuhkan koneksi internet tanpa perlu menambah perangkat keras tambahan.

Menurut (Sutikno *et al.*, 2023) , NodeMCU ESP8266 merupakan pilihan yang sangat relevan dalam pengembangan sistem pemantauan berbasis sensor gas karena kemampuannya dalam memproses data secara *real-time* dan mengirimkannya ke platform *cloud*. Penggunaan mikrokontroler ini memberikan fleksibilitas tinggi karena mendukung berbagai protokol komunikasi nirkabel yang diperlukan untuk sistem deteksi dini.

Beberapa keunggulan utama dari NodeMCU ESP8266 dalam sistem deteksi kebocoran gas ini antara lain:

1. Konektivitas Wi-Fi: Memungkinkan alat untuk terhubung langsung ke jaringan internet rumah/kantor untuk mengirimkan notifikasi ke aplikasi Android.
2. Hemat Energi: Memiliki konsumsi daya yang rendah, sehingga efisien untuk penggunaan jangka panjang sebagai alat keamanan yang menyala 24 jam.
3. Kemudahan Pemrograman: Mendukung lingkungan pengembangan Arduino IDE, yang memudahkan proses penulisan kode program sensor dan logika peringatan.
4. Pin I/O yang Cukup: Memiliki pin analog (A0) yang sangat penting untuk membaca data dari sensor MQ-2, serta pin digital untuk mengendalikan *buzzer* dan LED.

Secara teknis, NodeMCU akan menerima input analog dari sensor MQ-2 yang mewakili konsentrasi gas di udara. Data tersebut kemudian diproses; jika melampaui ambang batas yang ditentukan, NodeMCU akan memberikan perintah untuk menyalakan alarm lokal dan mengirimkan data tersebut ke server IoT agar pengguna mendapatkan peringatan di *smartphone*.

2.3.2 Sensor Gas MQ-2

Sensor MQ-2 merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai detektor gas kimia yang sangat sensitif terhadap berbagai jenis gas yang mudah terbakar, khususnya LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), butana, propana, metana, alkohol, dan asap. Sensor ini termasuk dalam keluarga sensor gas seri MQ yang menggunakan material SnO₂ (Timah Dioksida) sebagai lapisan sensitifnya. Penggunaan sensor MQ-2 dalam ekosistem IoT mampu mendeteksi keberadaan

asap dan gas bocor secara akurat, kemudian memicu peringatan instan pada perangkat seluler pengguna.



Gambar 1.7 Sensor MQ-2

Mekanisme kerja sensor MQ-2 didasarkan pada perubahan resistansi material sensor ketika terpapar gas. Dalam kondisi udara bersih, konduktivitas sensor rendah. Namun, ketika konsentrasi gas LPG di sekitar sensor meningkat, konduktivitas sensor akan naik secara proporsional. Sebagaimana dijelaskan oleh (Singewar, Chaudhri and Daronde, 2024) penggunaan sensor MQ-2 dalam modul multi-sensor sangat efektif untuk membedakan berbagai jenis gas yang mudah terbakar, meskipun tantangan utama dalam implementasinya adalah meminimalkan situasi alarm palsu (*false alarm*) agar sistem tetap andal. Kualitas data pada lapisan persepsi ini sangat menentukan akurasi seluruh sistem; jika sensor memberikan pembacaan yang presisi, maka peringatan yang dikirimkan ke pengguna akan lebih valid.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Sensor MQ-2

Model No	MQ-2
Sensor Type	Semiconductor
Standard Encapsulation	Bakelit (Black Bakelite)
Detection Gas	Combustible gas and smoke

Concentration			300-10000ppm (Combustible gas)
Circuit	Loop voltage	V_c	$\leq 24V$ DC
	Heater voltage	V_H	5.0 ± 0.2 V AC or DC
	Load resitance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resitance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ Room Tem.
	Heater Consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resitance	R_s	$2K\Omega - 20K\Omega$ in 2000ppm C_3H_8
	Sensitivity	S	R_s (in air)/ R_s (1000ppm isobutane) 5
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm}/R_{3000ppm}CH_4)$
Condition	Tem. Humidity		$20 \pm 265\% \pm 5\%$ RH
	Standart test Circuit		$V_c; 5.0V \pm 0.1V$ $V_H ; 5.0V \pm 0.1V$
	Preheat time		Over 48 hours

Beberapa karakteristik teknis utama dari sensor MQ-2 meliputi:

1. Sensitivitas Tinggi: Mampu mendeteksi konsentrasi gas dalam jangkauan 200 hingga 10.000 ppm (parts per million).
2. Output Ganda: Memiliki output analog untuk pembacaan kadar gas yang presisi dan output digital sebagai indikator ambang batas (threshold).
3. Daya Tahan Tinggi: Memiliki masa pakai yang lama dan stabil dalam pemantauan jangka panjang di lingkungan dapur atau industri.
4. Pemanasan Awal (Preheat): Memerlukan waktu pemanasan singkat agar sensor mencapai suhu kerja optimal guna menjamin akurasi pembacaan data.

Untuk menentukan konsentrasi gas dalam satuan PPM (Parts Per Million), sensor MQ-2 menggunakan perbandingan resistansi yang dirumuskan secara

matematis. Hubungan antara konsentrasi gas dan resistansi sensor mengikuti fungsi power law.

1. Perhitungan Resistansi Sensor (R_s)

Langkah pertama adalah menghitung nilai resistansi sensor (R_s) berdasarkan tegangan keluaran (V_{out}) yang dibaca oleh pin analog NodeMCU:

$$R_s = \left(\frac{V_c \times R_L}{V_{out}} \right) - R_L$$

Keterangan:

- V_c : Tegangan sirkuit (biasanya 5V).
- R_L : Resistansi beban (*Load Resistor*) pada modul sensor (5k Ω - 20k Ω)
- V_{out} : Tegangan output yang terbaca oleh pin analog.

2. Rasio Resistansi (R_s/R_0)

Karakteristik sensor ditentukan oleh rasio antara R_s (resistansi saat ada gas) dan R_0 (resistansi sensor dalam udara bersih). Model matematis untuk mengonversi rasio ini menjadi nilai PPM adalah:

$$PPM = \alpha \times \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{\beta}$$

Keterangan:

- PPM : Konsentrasi gas yang terdeteksi.
- α : Konstanta skala (berdasarkan kurva logaritma pada *datasheet*).
- β : Eksponen kemiringan (*slope*) kurva.

Menurut (Singewar, Chaudhri and Daronde, 2024) pemahaman terhadap kurva sensitivitas ini sangat krusial. Perubahan rasio R_s/R_0 yang

linear dalam skala logaritmik memungkinkan sistem untuk membedakan ambang batas antara kondisi normal dan kondisi kebocoran gas secara presisi, sehingga meminimalkan terjadinya *false alarm* pada sistem berbasis IoT.

2.3.3 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada sistem ini, *buzzer* bertindak sebagai perangkat keluaran (*output*) utama yang memberikan peringatan dini secara lokal dalam bentuk sinyal audio apabila terjadi kebocoran gas.



Gambar 2.8 Buzzer

Menurut (Shahewaz and Prasad, 2020), penggunaan *buzzer* dalam sistem deteksi gas sangat krusial untuk memberikan respons segera terhadap situasi bahaya dengan cara menghasilkan bunyi alarm yang nyaring begitu sensor mendeteksi adanya kebocoran. Hal ini selaras dengan prinsip keamanan domestik di mana peringatan audio diperlukan untuk menarik perhatian penghuni rumah secara instan sebelum akumulasi gas mencapai tingkat yang membahayakan. Penggunaan komponen ini memastikan adanya mekanisme perlindungan yang tetap berfungsi secara efektif di lokasi kejadian, melengkapi sistem notifikasi jarak jauh yang dikirimkan melalui internet.

Tabel 2. Karakteristik Buzzer

PARAMTER	Active Piezoelectric
Tegangan Operasi	3.5 V – 5.5 V DC
Arus Maksimum	30 mA / 5 V DC
Frekuensi Resonansi	2500 Hz \pm 300Hz
Output Suua Minimum	85 dB Pada jarak 10 cm
Suhu Operasional	-20°C hingga +70°C
Diamerer	12 mm

Karakteristik teknis dan fungsi *buzzer* dalam penelitian ini meliputi:

1. Aktivasi Otomatis: *Buzzer* akan aktif secara otomatis berdasarkan perintah dari mikrokontroler NodeMCU ESP8266 saat konsentrasi gas melampaui ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan.
2. Peringatan Audio: Menghasilkan bunyi alarm yang kontinyu sebagai indikator bahaya bagi orang-orang yang berada di sekitar area tersebut.
3. Efisiensi Daya: Bekerja pada tegangan rendah (biasanya 3V hingga 5V), sehingga dapat dicatu langsung melalui pin digital mikrokontroler tanpa membebani sistem secara berlebih.

2.3.4 Lampu LED (Light Emitting Diode)



Gambar 2.9 Lampu LED

Lampu LED (Light Emitting Diode) adalah komponen semikonduktor yang memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik. Dalam rancang bangun sistem ini,

LED berfungsi sebagai indikator visual utama yang memberikan informasi mengenai status operasional sistem dan kondisi keamanan lingkungan secara langsung di lokasi penempatan alat.

Menurut Baballe dan Bello (2022), penggunaan LED dalam sistem deteksi gas sangat krusial sebagai media peringatan visual yang mendampingi sistem alarm suara (*buzzer*). LED memberikan cara yang efektif untuk membedakan antara kondisi normal dan kondisi darurat melalui perbedaan warna cahaya, sehingga memudahkan pengguna untuk memantau status sistem tanpa harus bergantung sepenuhnya pada perangkat seluler. Hal ini selaras dengan tujuan pengoptimalan sistem keamanan yang tidak hanya menawarkan aspek fungsionalitas, tetapi juga keandalan dalam penyampaian informasi bahaya

1. .LED Hijau: Menandakan bahwa sistem dalam kondisi aktif dan kadar gas di udara berada pada tingkat aman (di bawah ambang batas).
2. LED Merah: Menandakan bahwa sistem mendeteksi adanya kebocoran gas yang melebihi ambang batas aman, sekaligus sebagai peringatan visual darurat bersamaan dengan bunyi *buzzer*.

Karakteristik spesifikasi dari LED yang digunakan dapat dilihat pada

Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Spesifikasi Teknis Lampu LED

Parameter	Spesifikasi
Tipe	Standard 5mm LED
Warna	Merah Dan Hijau
Tegangan Maju (V_f)	1.8 V – 2.2 V (Merah), 3.0 V-3.2 V(Hijau)
Arus operasi	15 mA – 20mA
Sudut Pandang	30 – 60 °
Intesitas cahaya	80 – 150 mcd

Penggunaan LED sebagai media notifikasi visual di lokasi alat menjadi solusi yang tepat karena mayoritas masyarakat membutuhkan indikator yang

mudah dipahami secara langsung³. Dengan adanya indikator ini, pemilik rumah dapat segera mengetahui jika terjadi kegagalan sistem atau adanya deteksi bahaya meskipun sedang tidak memantau aplikasi Android secara intensif.

2.3.5 Catu Daya (Power Supply)

Catu daya atau power supply merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai sumber energi utama bagi seluruh rangkaian perangkat keras, meliputi mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor MQ-2, buzzer, serta lampu indikator LED. Mengingat sistem deteksi kebocoran gas ini dirancang untuk beroperasi secara terus-menerus selama 24 jam guna menjamin keamanan lingkungan, maka kestabilan tegangan dan arus listrik menjadi syarat mutlak yang harus terpenuhi.



Gambar 2.10 Power Suplly 5A

Menurut (Sutikno *et al.*, 2023), kestabilan suplai daya pada sistem berbasis NodeMCU ESP8266 sangat krusial, terutama ketika modul nirkabel (Wi-Fi) melakukan proses transmisi data ke platform cloud. Pada saat tersebut, perangkat memerlukan lonjakan arus yang stabil agar tidak terjadi kegagalan koneksi atau restart otomatis pada sistem. Selain itu, sensor gas MQ-2 memiliki elemen pemanas (internal heater) yang membutuhkan daya konstan agar material sensor dapat mencapai suhu kerja optimal untuk mendeteksi partikel gas LPG secara

akurat. Ketidakseimbangan arus listrik dapat mengakibatkan fluktuasi pada pembacaan sensor yang memicu terjadinya kesalahan data atau alarm palsu.

Dalam implementasi rancang bangun ini, sistem menggunakan catu daya berupa adaptor AC ke DC yang berfungsi mengubah tegangan listrik domestik sebesar 220V AC menjadi tegangan kerja searah sebesar 5V DC. Spesifikasi arus yang digunakan adalah sebesar 2.0 Ampere (2A). Pemilihan arus sebesar 2A ini didasarkan pada kebutuhan total daya seluruh komponen; di mana arus yang lebih besar memberikan ambang batas keamanan (power margin) sehingga perangkat tidak mengalami panas berlebih (overheat) meskipun bekerja dalam jangka waktu yang lama. Koneksi daya dilakukan melalui port Micro USB pada NodeMCU yang kemudian mendistribusikan tegangan tersebut ke seluruh sensor dan aktuator yang terhubung, memastikan seluruh lapisan persepsi dalam ekosistem IoT ini berjalan dengan performa maksimal.

2.4 Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak merupakan sekumpulan instruksi atau program yang berfungsi untuk mengontrol, mengelola, dan mengoordinasikan seluruh aktivitas komponen perangkat keras agar dapat bekerja secara otomatis. Dalam rancang bangun sistem deteksi kebocoran gas LPG ini, perangkat lunak berperan sebagai "otak" digital yang memproses data mentah dari sensor, menjalankan logika pengambilan keputusan, hingga mengelola transmisi data nirkabel menuju perangkat seluler pengguna.

Penerapan perangkat lunak yang tepat sangat krusial dalam memitigasi risiko kecelakaan, karena kecepatan respon sistem dalam memberikan peringatan

sangat bergantung pada efisiensi baris kode program yang dijalankan. Tanpa integrasi perangkat lunak yang memadai, data fisik yang ditangkap oleh sensor tidak akan dapat diubah menjadi informasi digital yang berguna untuk pengambilan keputusan secara cepat oleh pemilik rumah. Pada penelitian ini, arsitektur perangkat lunak dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu lingkungan pengembangan untuk mikrokontroler dan platform basis data sebagai jembatan informasi menuju aplikasi Android

2.4.1 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

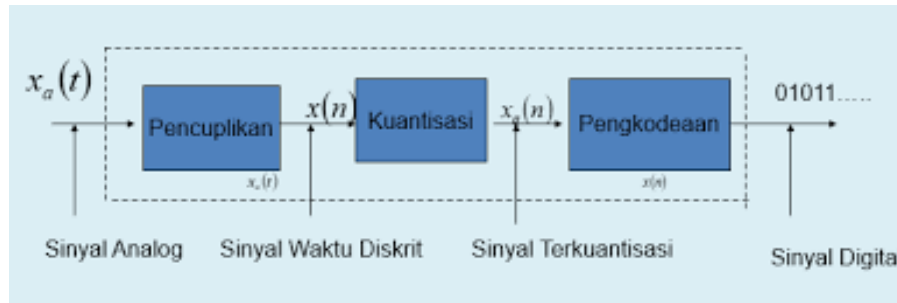


Gambar 2.11 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) berfungsi sebagai pusat komputasi perangkat lunak yang menjembatani instruksi logika dengan perangkat keras NodeMCU ESP8266. Perangkat lunak ini tidak hanya berperan sebagai editor teks untuk menuliskan kode program, tetapi juga sebagai platform integrasi yang memungkinkan berbagai pustaka nirkabel bekerja secara selaras. Menurut (Hwang, Kong and Park, 2024) Arduino IDE memfasilitasi pengembang dalam memetakan logika diagram alir ke dalam sistem fisik, yang pada penelitian ini diterapkan untuk mengubah data mentah dari sensor gas menjadi informasi digital yang bermakna. Dalam operasionalnya, Arduino IDE menangani proses transformasi data secara bertahap. Proses ini dimulai dari pembacaan sinyal listrik

oleh pin analog, yang kemudian diproses menggunakan serangkaian rumusan matematis di dalam firmware untuk menentukan tingkat konsentrasi gas.

1. Transformasi Data Analog ke Digital (ADC)



Gambar 2.12 Transformasi Data Analog ke Digital

Langkah pertama yang dilakukan oleh program di dalam Arduino IDE adalah mengonversi nilai ADC (Analog-to-Digital Converter) yang diterima dari sensor MQ-2 menjadi nilai tegangan listrik (V_{out}). Proses konversi ini mengikuti perbandingan resolusi bit pada mikrokontroler NodeMCU yang dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{ADC_{value}}{1023} \times V_{ref}$$

Di mana ADC_{value} merupakan nilai mentah yang ditangkap oleh pin A0 (rentang 0-1023), sementara V_{ref} adalah tegangan referensi sistem sebesar 3.3V. Perhitungan ini menjadi landasan bagi sistem untuk mengetahui presisi tegangan yang dihasilkan oleh sensor sebelum dikonversi lebih lanjut ke dalam satuan PPM (Parts Per Million).

2. Logika Pengambilan Keputusan (Decision Making)

Setelah nilai konsentrasi gas didapatkan, perangkat lunak menjalankan fungsi logika untuk menentukan status keamanan lingkungan. Berdasarkan penelitian Sutikno dkk. (2023), penentuan ambang batas (threshold) yang tepat

pada kode program sangat penting untuk menjaga keandalan sistem IoT. Secara matematis, logika pengambilan keputusan tersebut dapat digambarkan melalui fungsi kondisi berikut:

$$Status = \begin{cases} 1(Bahaya), & \text{Jika } PPM > Th \\ 0(Aman), & \text{Jika } PPM \leq Th \end{cases}$$

Melalui rumusan tersebut, Arduino IDE memerintahkan sistem untuk bertindak secara otomatis; jika variabel PPM melampaui batas Th yang ditentukan, maka program akan segera memicu instruksi pengaktifan alarm dan pengiriman data bahaya ke aplikasi Android secara real-time

2.4.2 Firebase



Gambar 2.13 Firebase

Firebase Realtime Database merupakan layanan basis data berbasis awan (*cloud*) yang menggunakan model NoSQL untuk menyimpan dan menyinkronkan data antar pengguna secara waktu nyata. Berbeda dengan basis data relasional yang mengandalkan tabel statis, Firebase mengelola data dalam struktur pohon JSON (*JavaScript Object Notation*). Karakteristik ini memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam pertukaran data, di mana setiap perubahan informasi pada satu titik akan diteruskan secara instan ke seluruh perangkat yang terhubung.

Menurut (Kesavan *et al.*, 2023), teknologi basis data NoSQL seperti yang diterapkan pada ekosistem Firebase menawarkan model *serverless* yang memungkinkan pengembang aplikasi untuk fokus pada logika bisnis tanpa harus

mengelola infrastruktur *backend* yang kompleks. Hal ini sangat menguntungkan bagi pengembang karena Firebase menyediakan skalabilitas otomatis dan ketersediaan tinggi, sehingga data konsentrasi gas dari mikrokontroler dapat diakses oleh ribuan perangkat secara bersamaan dengan latensi yang minimal. Selain itu, integrasi yang mulus antara *cloud storage* dan sinkronisasi data memastikan bahwa informasi tetap konsisten di seluruh lapisan aplikasi.

Dalam arsitektur sistem ini, Firebase berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara lapisan perangkat keras (NodeMCU ESP8266) dengan lapisan pengguna (Aplikasi Android). Menurut (Sutikno *et al.*, 2023), penggunaan Firebase memberikan keuntungan signifikan dalam aspek sinkronisasi otomatis. Saat NodeMCU mengirimkan data hasil pembacaan gas, Firebase tidak sekadar menyimpan data tersebut, tetapi secara proaktif mendorong (*push*) informasi terbaru ke aplikasi Android. Hal ini memungkinkan pengguna menerima pembaruan status keamanan tanpa harus melakukan penyegaran (*refresh*) aplikasi secara manual.

Selain kemudahan dalam skalabilitas, penggunaan Google Firebase sebagai database pusat memungkinkan sinkronisasi data pembacaan sensor gas secara real-time dengan tingkat latensi yang rendah. (Mustaqim, Kurnianto and Syifa, 2020) implementasi Google Firebase sangat efektif dalam menyimpan riwayat data deteksi serta memastikan bahwa informasi bahaya kebakaran atau kebocoran gas dapat diakses secara instan oleh pengguna melalui aplikasi Android kapan pun dan di mana pun selama terhubung ke internet.

2.4.3 Sistem Operasi Android

Android merupakan sebuah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang untuk perangkat seluler layar sentuh seperti telepon pintar (smartphone) dan komputer tablet. Dalam ekosistem Internet of Things (IoT), Android berperan sebagai lapisan aplikasi (application layer) yang berfungsi untuk memvisualisasikan data dari sensor ke dalam antarmuka yang mudah dipahami oleh pengguna.

1. Pemanfaatan Android dalam sistem deteksi kebocoran gas LPG memiliki beberapa fungsi teknis utama, antara lain:
2. Antarmuka Pemantauan Real-Time: Aplikasi Android memungkinkan pengguna untuk memantau konsentrasi gas secara jarak jauh melalui koneksi internet.
3. Media Notifikasi Peringatan Dini: Android mendukung fitur notifikasi otomatis yang akan muncul saat sistem mendeteksi adanya anomali atau bahaya. Menurut Mustaqim, dkk. (2020), implementasi teknologi ini sangat efektif dalam memastikan bahwa informasi bahaya kebakaran atau kebocoran gas dapat diakses secara instan oleh pengguna melalui aplikasi Android kapan pun dan di mana pun selama terhubung ke internet.

Sinkronisasi dengan Database Cloud: Android mampu melakukan pengambilan data secara proaktif dari platform cloud seperti Firebase. Penggunaan Google Firebase sebagai database pusat sangat efektif dalam melakukan sinkronisasi data pembacaan sensor gas secara real-time dengan tingkat latensi yang rendah, sehingga pengguna menerima pembaruan status keamanan tanpa harus melakukan penyegaran (refresh) aplikasi secara manual.

Dengan adanya pengembangan aplikasi berbasis Android, efektivitas sistem keamanan pada aset berharga meningkat karena kemampuan teknologi dalam memberikan respons cepat melalui perangkat yang terhubung secara real-time kepada pemiliknya.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem deteksi kebocoran gas telah banyak dilakukan dengan berbagai metode dan teknologi. Berikut adalah rangkuman penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam pengembangan sistem ini:

2.5.1 Tabel Ringkasan Penelitian Terdahulu

Tabel 4 . Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Perangkat & Teknologi	Hasil / Kesimpulan
1	Mustaqim, dkk. (2020)	Implementasi Teknologi IoT Pada Sistem Pemantauan Kebocoran Gas LPG dan Kebakaran Menggunakan Database Pada Google Firebase	NodeMCU, Sensor Gas, Google Firebase	Google Firebase sangat efektif sebagai database pusat untuk sinkronisasi data secara real-time dan penyimpanan riwayat deteksi yang dapat diakses melalui Android.
2	Husny, dkk. (2022)	Pengembangan Sistem Pemantau Kebocoran Gas Elpiji dan Peringatan Dini Bahaya Kebakaran Berbasis IoT	Sensor Gas, Mikrokontroler Wi-Fi, Peringatan Dini	Integrasi sistem mampu memberikan peringatan dini yang krusial untuk mencegah kebakaran domestik melalui pengiriman data cepat ke perangkat pengguna.
3	Fuadi, dkk. (2024)	Design of Gas Leakage Monitoring System Based on Android Application and NodeMCU ESP8266	NodeMCU ESP8266, Android App	Sinergi antara NodeMCU dan aplikasi seluler memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara praktis dari jarak jauh.

4	Lopez, dkk. (2025)	IoT-Based Real-Time Smoke and Gas Leak Detection System Using ESP8266 And MQ2 Sensor	ESP8266, Sensor MQ-2, Cloud Platform	Penggunaan sensor MQ-2 dalam ekosistem IoT mampu mendeteksi asap dan gas bocor secara akurat serta memicu peringatan instan pada perangkat seluler.
5	Antad, dkk. (2025)	Real-Time Gas Monitoring and Anomaly Detection in Petroleum Industry Using IoT and Machine Learning	IoT, Machine Learning, Anomaly Detection	Implementasi IoT memungkinkan deteksi anomali secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung di lokasi kejadian.

2.5.2 Perbandingan dengan Penelitian Saat Ini (*State of the Art*)

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, terdapat beberapa kesamaan dan pengembangan dalam penelitian ini. Persamaan utama terletak pada penggunaan sensor MQ-2 sebagai komponen pendeteksi utama dan NodeMCU ESP8266 sebagai pusat kendali serta modul komunikasi Wi-Fi.

- Adapun perbedaan dan kebaruan yang diusulkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu adalah:
- Fokus Sinkronisasi Data: Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang mungkin hanya berfokus pada deteksi lokal, penelitian ini mengoptimalkan penggunaan Firebase Realtime Database untuk memastikan tidak ada kehilangan data (*data loss*) selama proses transmisi dari alat ke aplikasi Android.
- Analisis Performa Detail: Penelitian ini melakukan analisis kuantitatif terhadap waktu respon (*response time*) dan akurasi pembacaan sensor berdasarkan jarak sumber kebocoran secara sistematis.

- Keandalan Sistem: Penelitian ini menggabungkan indikator audio melalui *buzzer* dan visual melalui LED di lokasi alat , serta notifikasi instan pada *smartphone* untuk menjamin keamanan yang berlapis.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah penelitian dan pengembangan atau sering disebut sebagai *Research and Development (R&D)*. Menurut (Hwang, Kong and Park, 2024) pengembangan sistem komputasi fisik memerlukan integrasi antara pemetaan perangkat keras dan logika perangkat lunak yang sistematis untuk menciptakan solusi pendidikan maupun praktis yang efektif.

Penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan sebuah produk berupa prototipe sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berhenti pada pengumpulan data teoritis, tetapi berlanjut pada perancangan, pembuatan, serta pengujian sebuah alat fisik yang terintegrasi dengan layanan *cloud* dan aplikasi seluler.

Secara spesifik, penelitian ini mengikuti tahapan pengembangan sistem yang mencakup:

1. Analisis Kebutuhan: Mengidentifikasi sensor MQ-2 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai komponen utama untuk menjawab masalah keamanan gas rumah tangga.
2. Perancangan (*Design*): Merancang arsitektur sistem menggunakan konsep *Three-Tier Architecture* yang menghubungkan lapisan persepsi (sensor), jaringan (Firebase), dan aplikasi (Android berbasis Kotlin).
3. Implementasi: Melakukan pengkodean pada Arduino IDE untuk pengolahan data ADC dan transmisi data menuju basis data *serverless*.

4. Pengujian: Melakukan validasi terhadap akurasi pembacaan sensor dan kecepatan sinkronisasi data pada *Firestore Realtime Database* agar informasi bahaya dapat diterima secara *real-time* oleh pengguna.

3.2 Lokasi Dan Jadwal Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dan pengembangan sistem deteksi kebocoran gas LPG berbasis *Internet of Things* ini dilaksanakan di lingkungan Fakultas Ilmu Komunikasi dan Teknologi Informasi (FIKTI), Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Secara lebih spesifik, tahapan penelitian dibagi ke dalam beberapa titik lokasi sebagai berikut:

1. Laboratorium Komputer FIKTI UMSU: Digunakan sebagai pusat pengembangan perangkat lunak, yang meliputi proses pengkodean mikrokontroler pada Arduino IDE, konfigurasi *Firestore Realtime Database* sebagai layanan *serverless*, serta pembangunan antarmuka aplikasi Android menggunakan bahasa pemrograman Kotlin. Fasilitas laboratorium ini dipilih karena menyediakan infrastruktur komputasi yang memadai untuk mendukung proses *debugging* dan integrasi sistem.
2. Laboratorium Perangkat Keras / Bengkel Kerja: Digunakan untuk melakukan perakitan komponen fisik, pembuatan *wiring diagram*, serta penyolderan sensor MQ-2 dan NodeMCU ESP8266 agar menjadi satu kesatuan prototipe yang kokoh sesuai dengan prinsip komputasi fisik.
3. Lingkungan Pengujian Terkontrol: Lokasi ini digunakan untuk menguji fungsionalitas sensor MQ-2 dalam mendeteksi gas LPG secara langsung guna

mendapatkan data presisi mengenai waktu respon alat dan kecepatan pengiriman notifikasi ke perangkat pengguna.

3.2.2 Jadwal Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama enam bulan, mencakup seluruh tahapan mulai dari pengajuan judul hingga pelaksanaan sidang sarjana. Pembagian waktu ini disusun agar proses integrasi perangkat keras (NodeMCU & MQ-2) dan perangkat lunak (Firebase & Kotlin) dapat berjalan secara selaras dan terukur.

Tabel 5. Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur	■	■				
3	Penulisan Proposal		■	■			
4	Seminar Proposal			■	■		
5	Sidang Sarjana				■	■	■

1. Tahap Inisiasi (Bulan 1 - 2): Langkah awal dimulai dengan pengajuan judul penelitian di program studi. Sejalan dengan itu, dilakukan studi literatur yang mendalam untuk memetakan kebutuhan sensor MQ-2 dan mikrokontroler agar desain sistem memiliki landasan teoritis yang kuat.
2. Tahap Perancangan dan Penulisan (Bulan 3 - 4): Pada fase ini, fokus beralih pada penyusunan draf proposal penelitian secara komprehensif. Proses ini juga mencakup pemetaan logika diagram alir dan tata letak

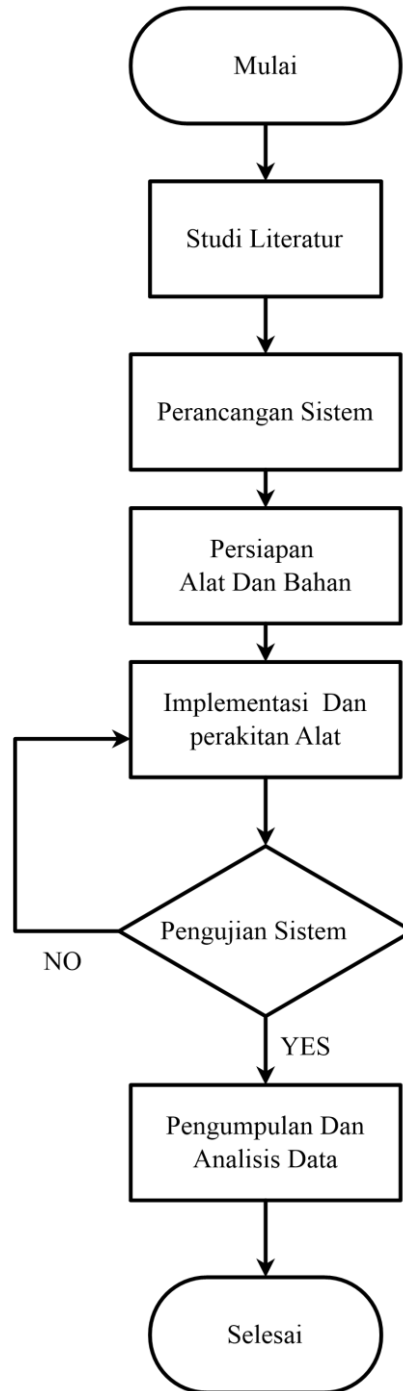
pengkabelan yang nantinya akan diuji dalam seminar proposal untuk mendapatkan validasi akademik.

3. Tahap Implementasi dan Evaluasi (Bulan 5): Setelah proposal disetujui, penelitian memasuki tahap implementasi teknis dan pengumpulan data hasil pengujian alat. Fase ini diakhiri dengan Seminar Hasil guna memaparkan sejauh mana prototipe mampu mendeteksi gas secara akurat dan menyinkronkannya dengan aplikasi Android.
4. Tahap Akhir (Bulan 6): Bulan terakhir difokuskan pada penyempurnaan dokumen skripsi berdasarkan masukan dari seminar hasil. Seluruh rangkaian kegiatan ini bermuara pada pelaksanaan Sidang Sarjana sebagai bentuk pertanggungjawaban ilmiah terhadap sistem deteksi kebocoran gas yang telah dibangun.

3.3 Tahapan penelitian

Untuk memastikan proses perancangan sistem deteksi kebocoran gas LPG ini berjalan secara terstruktur selama enam bulan, penelitian ini mengikuti tahapan pengembangan yang sistematis. Setiap tahapan dirancang untuk mengintegrasikan aspek perangkat keras dan perangkat lunak secara berkelanjutan.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat kita lihat di gambar 3.2



Gambar 3.1 Diagram Proses Penelitian

Proses penelitian ini dirancang secara terstruktur untuk mengintegrasikan aspek perangkat keras dan perangkat lunak secara berkelanjutan. Tahapan penelitian mengikuti alur kerja yang dimulai dari studi awal hingga analisis data akhir, sebagaimana dijelaskan di bawah ini:

1. Studi Literatur

Tahap awal dimulai dengan pengumpulan referensi dan studi mendalam mengenai komponen yang akan digunakan. Hal ini mencakup pemahaman teknis terhadap sensor MQ-2, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, serta penggunaan Arduino IDE sebagai platform pengembangan utama. Selain itu, studi literatur juga mencakup riset mengenai implementasi basis data serverless menggunakan Firebase.

2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan perancangan arsitektur sistem secara menyeluruh. Perancangan meliputi pembuatan skema rangkaian (wiring layout) untuk memetakan hubungan antar pin komponen fisik. Secara logika, sistem dirancang menggunakan konsep Three-Tier Architecture yang membagi tugas antara pengambilan data pada sensor, pengelolaan data di cloud, dan penyajian informasi pada aplikasi Android berbasis Kotlin.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Setelah rancangan disetujui, dilakukan pengadaan dan pemeriksaan komponen perangkat keras. Bahan utama yang disiapkan meliputi NodeMCU ESP8266, sensor MQ-2, buzzer, LED, dan kabel jumper. Untuk perangkat lunak, dilakukan persiapan instalasi Android Studio serta konfigurasi proyek pada konsol Firebase.

4. Implementasi dan Perakitan Alat

Tahap ini merupakan realisasi dari desain yang telah dibuat. Komponen dirakit sesuai dengan wiring diagram yang telah direncanakan. Pada saat yang sama, dilakukan penulisan kode program (coding) pada Arduino IDE untuk

mengatur logika pembacaan gas dan pengiriman data ke Firebase, serta pembuatan antarmuka aplikasi menggunakan Kotlin.

5. Pengujian Sistem

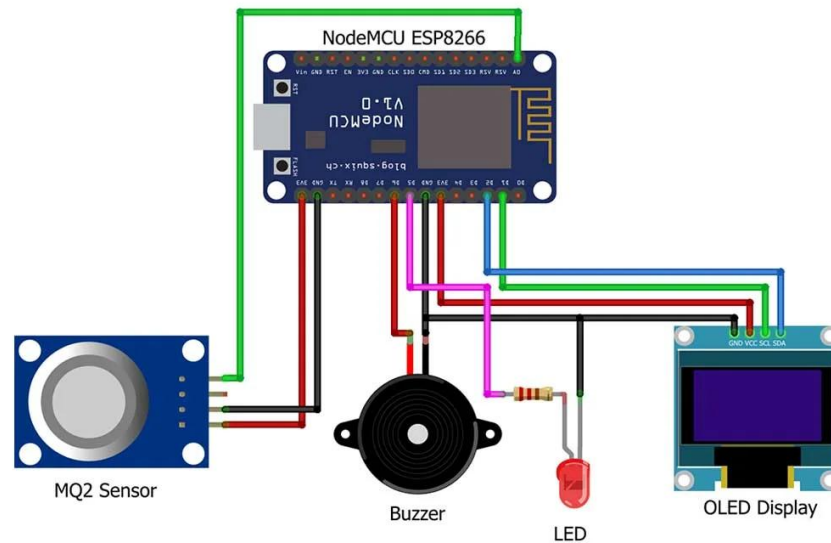
Setelah perakitan selesai, sistem memasuki tahap pengujian fungsionalitas. Fokus pengujian adalah untuk melihat apakah sensor dapat mendeteksi gas secara akurat dan apakah notifikasi terkirim ke smartphone secara real-time.

- a. Jika pengujian berhasil (Ya): Penelitian berlanjut ke tahap pengumpulan data.
- b. Jika terjadi kendala (Tidak): Alur akan kembali ke tahap Implementasi dan Perakitan Alat untuk dilakukan pengecekan ulang sambungan kabel atau perbaikan pada logika pemrograman.

6. Pengumpulan dan Analisis Data

Setelah sistem dinyatakan stabil dan berfungsi dengan baik, dilakukan pengumpulan data hasil pengujian di lapangan. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mengukur akurasi deteksi, kecepatan respon alarm, serta stabilitas sinkronisasi data pada Firebase. Analisis ini menjadi landasan dalam penyusunan laporan skripsi akhir.

3.4 Analisis Detail Koneksi Antar Komponen (*Wiring Detail*)



Gambar 3.1 Wiring Diagram

Berdasarkan perancangan pada Gambar 3.2.6, integrasi perangkat keras dilakukan dengan menghubungkan seluruh komponen input dan output ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Berikut adalah rincian teknis dari setiap jalur koneksi:

1. Jalur Catu Daya (Powering System)

Sistem ini menggunakan dua level tegangan yang berbeda untuk memastikan setiap komponen bekerja pada karakteristik elektriknya:

- a. VCC 5V (Jalur Merah): Sensor MQ-2 dihubungkan ke pin VIN pada NodeMCU. Hal ini krusial karena sensor MQ-2 memerlukan tegangan 5V untuk memanaskan elemen internal (heater) agar dapat mendeteksi gas secara akurat.
- b. VCC 3.3V (Jalur Pink/Ungu): Layar OLED dan indikator lainnya menggunakan tegangan 3.3V dari pin regulasi NodeMCU untuk menghindari kerusakan pada sirkuit logika.

c. GND (Jalur Hitam): Seluruh komponen dihubungkan pada jalur Ground yang sama (Common Ground) untuk memastikan tidak ada perbedaan potensial yang dapat menyebabkan gangguan sinyal (noise).

2. Antarmuka Sensor MQ-2 (Input Layer)

Data Analog (Jalur Hijau): Pin AO (Analog Output) pada sensor MQ-2 dihubungkan ke pin A0 NodeMCU. Jalur ini mengirimkan tegangan variabel antara 0V hingga 3.3V yang merepresentasikan konsentrasi gas di udara. Data ini kemudian akan diproses melalui fitur ADC (Analog to Digital Converter) untuk mendapatkan nilai PPM yang presisi.

3. Antarmuka Komunikasi I2C (OLED Display)

Layar OLED menggunakan protokol komunikasi dua kabel (Two-Wire Interface) agar lebih efisien dalam penggunaan pin:

- a. SCL (Serial Clock - Jalur Biru): Terhubung ke pin D1 (GPIO 5) NodeMCU untuk mengatur sinkronisasi pengiriman data.
- b. SDA (Serial Data - Jalur Hijau Tua): Terhubung ke pin D2 (GPIO 4) NodeMCU untuk jalur pengiriman bit informasi teks dan grafis yang akan ditampilkan.

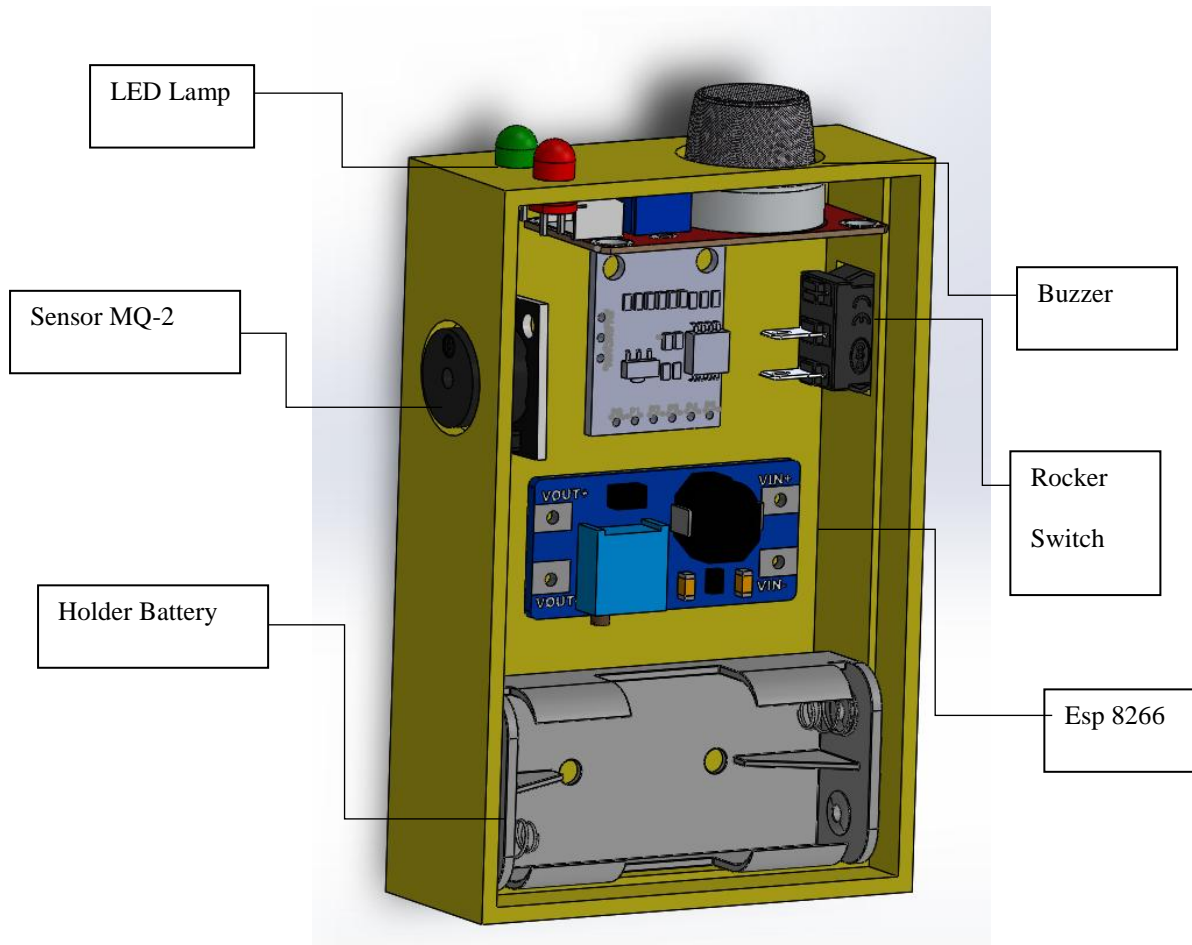
4. Jalur Output Alarm (Buzzer & LED)

Dua komponen ini bertindak sebagai aktuator peringatan dini ketika sistem mendeteksi ambang batas bahaya:

- a. Buzzer (Jalur Merah Tua): Pin positif buzzer dihubungkan ke pin D5 (GPIO 14). NodeMCU akan mengirimkan sinyal PWM atau High untuk memicu bunyi alarm saat kebocoran gas terdeteksi.

- b. LED Indikator (Jalur Pink): Terhubung ke pin D6 (GPIO 12) dengan tambahan Resistor (220 Ohm) di jalur katoda. Penggunaan resistor ini bertujuan untuk membatasi arus listrik agar LED tidak terbakar akibat tegangan berlebih.

3.5 Perancangan Alat / Design 3d



Gambar 3.2 Design 3d Prototype Detector gas

Setelah perancangan skema elektronik selesai, tahap berikutnya adalah merancang tata letak fisik komponen dalam sebuah wadah prototipe. Perancangan ini bertujuan untuk memastikan keamanan komponen dari gangguan luar serta memastikan sensor memiliki sirkulasi udara yang cukup untuk mendeteksi gas secara optimal.

Berdasarkan Gambar 3.3 (Desain Prototipe Alat), desain fisik alat ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Penempatan Sensor: Sensor MQ-2 diletakkan pada bagian atas atau sisi yang memiliki celah udara terbuka agar dapat merespon kebocoran gas LPG di lingkungan sekitar dengan cepat.
2. User Interface Lokal: Komponen indikator berupa LED dan *buzzer* diletakkan pada panel bagian depan/atas agar status peringatan dini dapat terlihat dan terdengar jelas oleh pengguna secara langsung di lokasi.
3. Akses Daya: Terdapat celah pada sisi samping untuk akses kabel daya (USB) ke NodeMCU ESP8266, sehingga memudahkan proses pemberian catu daya dan pemeliharaan perangkat.
4. Kerapihan Komponen: Seluruh modul seperti NodeMCU dan layar OLED disusun di dalam kompartemen yang terlindungi untuk meminimalkan risiko kerusakan pada jalur *wiring*.

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe deteksi kebocoran gas LPG secara kuantitatif dan kualitatif. Data yang diperoleh dari hasil pengujian validitas dan reliabilitas kemudian diolah menggunakan metode berikut:

3.6.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor

Data konsentrasi gas dalam satuan PPM yang dibaca oleh sensor MQ-2 akan dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan. Analisis ini bertujuan untuk melihat sensitivitas sensor terhadap jarak sumber kebocoran gas.

- a. Kriteria: Jika sistem secara konsisten menampilkan status "BAHAYA" pada saat gas diberikan dan kembali ke status "AMAN" saat gas hilang, maka sensor dinyatakan bekerja dengan akurasi yang baik.

3.6.2 Analisis Waktu Respon (*Response Time*)

Analisis ini dilakukan untuk menghitung kecepatan sistem dalam memproses informasi dari lingkungan hingga ke tangan pengguna. Waktu respon dihitung mulai dari saat sensor mendeteksi gas (T_{start}) sampai notifikasi muncul di *smartphone* Android (T_{receive}).

- a. Rumus: $t = T_{\text{receive}} - T_{\text{start}}$
- b. Kriteria: Semakin kecil nilai t , maka semakin baik kinerja sinkronisasi antara NodeMCU, Firebase, dan aplikasi Kotlin.

3.6.3 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data

Data yang tersimpan di dalam *Firestore Realtime Database* akan dianalisis untuk memastikan tidak ada data yang hilang (*data loss*) selama proses transmisi.

- a. **Prosedur:** Membandingkan nilai PPM yang tertulis pada layar OLED alat dengan nilai yang muncul pada antarmuka aplikasi Android.
- b. **Kriteria:** Sinkronisasi dinyatakan berhasil jika selisih data (latensi) antara perangkat fisik dan aplikasi bersifat minimal dan data yang ditampilkan identik.

3.6.4 Penarikan Kesimpulan

Hasil dari seluruh analisis di atas akan disimpulkan untuk menentukan apakah prototipe ini memenuhi standar fungsionalitas yang diharapkan. Jika tingkat keberhasilan deteksi mencapai nilai yang tinggi (misal $> 90\%$), maka sistem dinyatakan layak untuk digunakan sebagai solusi pencegahan kebocoran gas domestik.

3.7 Uji Validitas dan Reliabilitas Sistem

Tahap ini dilakukan untuk menjamin bahwa data yang dihasilkan oleh sensor MQ-2 dan dikirimkan melalui NodeMCU ke aplikasi Android memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dan konsistensi yang baik.

3.7.1 Uji Validitas (Akurasi)

Uji validitas bertujuan untuk mengukur sejauh mana alat mampu mengukur apa yang seharusnya diukur. Dalam hal ini, validitas diuji dengan membandingkan pembacaan sensor MQ-2 terhadap kondisi nyata atau alat ukur pembanding (jika ada).

- a. Prosedur: Menghadapkan sensor pada sumber gas LPG (misal: gas dari korek api) dengan berbagai jarak (5cm, 10cm, 15cm) untuk melihat apakah sistem memberikan status "BAHAYA" secara tepat saat kadar gas melampaui 350 PPM.
- b. Kriteria: Sistem dinyatakan valid apabila mampu mendeteksi gas dan memicu interupsi pada *buzzer* serta mengirimkan notifikasi sesuai dengan ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan dalam kode program.

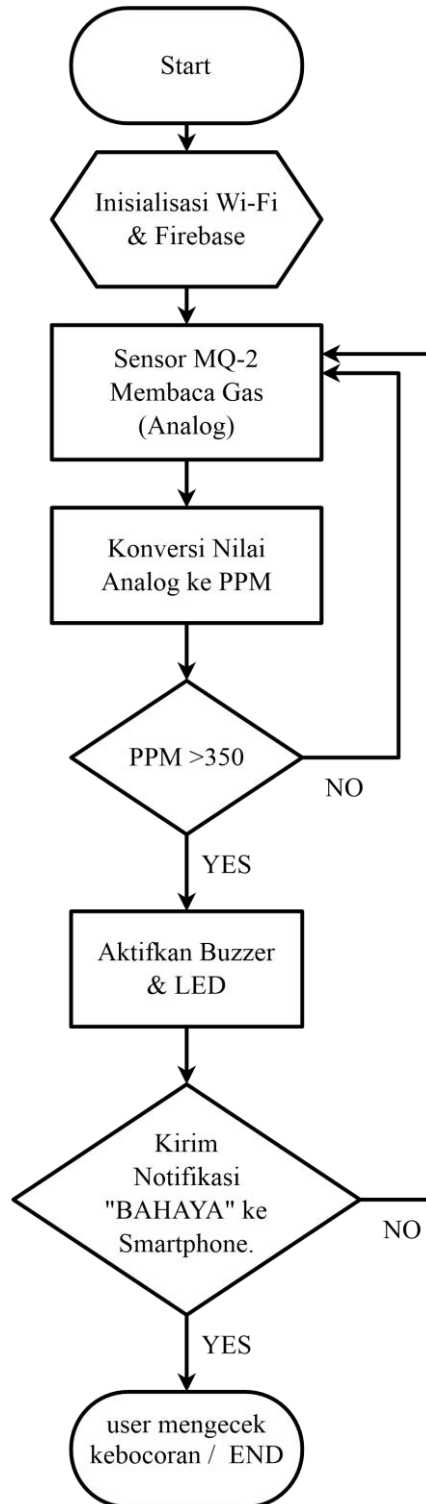
3.7.2 Uji Reliabilitas (Konsistensi)

Uji reliabilitas bertujuan untuk melihat konsistensi sistem dalam memberikan hasil yang sama dalam pengujian yang berulang kali di bawah kondisi yang sama.

- a. Prosedur: Melakukan pengujian deteksi gas sebanyak 10 hingga 20 kali percobaan pada waktu yang berbeda. Hal ini juga mencakup pengujian stabilitas koneksi Wi-Fi dan sinkronisasi data ke *Firestore Realtime Database* selama alat beroperasi.

- b. Kriteria: Sistem dinyatakan reliabel apabila dalam setiap percobaan, waktu respon (*response time*) dari saat gas terdeteksi hingga muncul notifikasi di *smartphone* bersifat stabil (misal: rata-rata di bawah 3 detik) tanpa adanya kegagalan pengiriman data (*data loss*).

3.8 Diagram alir



Gambar 3.4 Diagram Cara Kerja Alat

Analisis Flowchart Sistem Deteksi Gas

1. Start [OVAL]: Tahap awal saat perangkat NodeMCU ESP8266 dihubungkan ke sumber daya listrik.
2. Inisialisasi Wi-Fi & Firebase [HEXAGON]: Perangkat lunak melakukan inisialisasi pin I/O dan membangun koneksi jaringan nirkabel agar dapat melakukan pertukaran data secara *serverless* dengan Firebase.
3. Sensor MQ-2 Membaca Gas (Analog) [PERSEGI]: NodeMCU mengambil sinyal analog dari sensor MQ-2 melalui pin A0.
4. Konversi Nilai Analog ke PPM [PERSEGI]: Data mentah (ADC) diproses secara matematis menjadi nilai konsentrasi gas dalam satuan *Parts Per Million* (PPM).
5. $PPM > 350?$ [BELAH KETUPAT]:
 - a. Jika NO: Alur kembali ke tahap pembacaan sensor. Ini menunjukkan kondisi udara masih dalam batas aman.
 - b. Jika YES: Sistem mendeteksi adanya kebocoran dan berlanjut ke tahap aktuasi.
6. Aktifkan Buzzer & LED [PERSEGI]: Mikrokontroler memberikan perintah *HIGH* pada pin D5 dan D6 untuk mengaktifkan alarm fisik di lokasi.
7. Kirim Notifikasi "BAHAYA" ke Smartphone [BELAH KETUPAT]:
 - a. Data dikirim ke Firebase untuk memicu notifikasi pada aplikasi Android Kotlin milik pengguna.

- b. Jika NO: (Misalnya koneksi terputus saat akan mengirim), sistem akan melakukan *looping* kembali ke pembacaan sensor untuk mencoba lagi.
 - c. Jika YES: Notifikasi berhasil diterima oleh pengguna.
8. User mengecek kebocoran / END [OVAL]: Tahap akhir di mana pengguna melakukan tindakan fisik (seperti menutup kran gas atau mencabut regulator) setelah menerima peringatan.

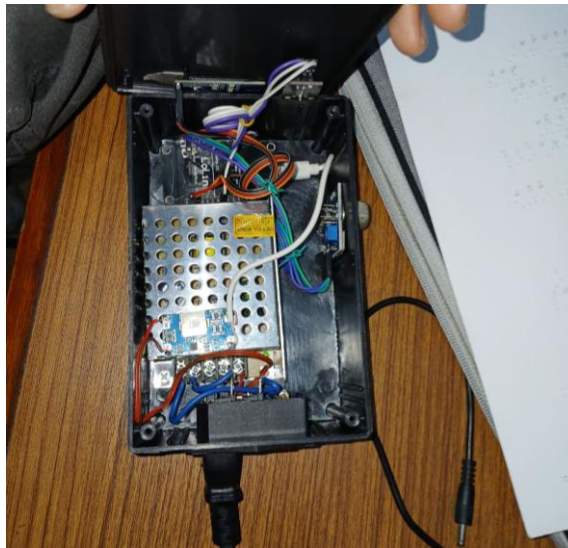
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Perangkat Keras (Hardware)

Implementasi perangkat keras merupakan tahap realisasi fisik dari seluruh rancangan sistem yang telah disusun pada bab sebelumnya. Tahap ini menitikberatkan pada perakitan komponen elektronika ke dalam satu kesatuan prototipe yang kokoh untuk memastikan sistem dapat melakukan deteksi, pemrosesan, dan pemberian peringatan secara mandiri.

4.1.1 Perakitan Mikrokontroler dan Sensor



Gambar 4.1 Perakitan Mikrokontroler dan Sensor

Pusat kendali sistem ini menggunakan NodeMCU ESP8266 yang mengintegrasikan prosesor dengan modul Wi-Fi. Sensor MQ-2 dihubungkan ke pin analog (A0) pada NodeMCU untuk mengirimkan data tegangan listrik (0V – 3.3V) yang merepresentasikan konsentrasi gas di udara. Sesuai dengan standar teknis, sensor MQ-2 ditempatkan pada posisi yang memiliki sirkulasi udara terbuka agar dapat merespon partikel gas (Propana dan Butana) dengan cepat.

4.1.2 Sistem Catu Daya dan Stabilitas Elektrik



Gambar 4.2 Sistem Catu Daya dan Stabilitas Elektrik

Mengingat sistem dirancang untuk beroperasi secara terus-menerus selama 24 jam, kestabilan suplai daya menjadi syarat mutlak.

1. Adaptor 5V 2A: Digunakan untuk mengubah tegangan domestik 220V AC menjadi 5V DC. Arus sebesar 2 Ampere dipilih untuk memberikan *power margin* agar perangkat tidak mengalami panas berlebih (*overheat*).
2. Internal Heater: Suplai daya 5V melalui pin VIN sangat krusial bagi sensor MQ-2 agar elemen pemanas internalnya mencapai suhu kerja optimal untuk pembacaan data yang akurat.
3. Regulasi Tegangan: Komponen sensitif seperti layar OLED menggunakan tegangan 3.3V dari pin regulasi NodeMCU untuk menghindari kerusakan pada sirkuit logika.

4.1.3 Aktuator Peringatan Lokal dan Visualisasi



Gambar 4.3 Visualisasi Peringatan Lokal

Implementasi perangkat keras juga mencakup unit keluaran (*output*) yang berfungsi memberikan respons instan di lokasi kejadian sebelum notifikasi sampai ke *smartphone*.

1. Buzzer Piezoelektrik: Terhubung ke pin D5 (GPIO 14), komponen ini akan aktif secara otomatis saat konsentrasi gas melampaui ambang batas aman (> 350 PPM) untuk menarik perhatian penghuni rumah melalui sinyal audio.
2. LED Indikator: LED Merah dihubungkan ke pin D6 (GPIO 12) dengan resistor 220 Ohm sebagai pembatas arus agar LED tidak terbakar. LED ini mendampingi *buzzer* sebagai peringatan visual darurat.
3. Layar OLED: Menggunakan protokol komunikasi I2C melalui pin SCL (D1) dan SDA (D2) untuk memvisualisasikan data kadar gas secara langsung pada unit prototipe.

4.1.4 Integrasi Fisik dan Pengemasan (*Casing*)



Gambar 4.4 Pengemasan (*Casing*)

Seluruh komponen perangkat keras disusun secara sistematis di dalam sebuah wadah prototipe untuk menjaga kerapihan dan keamanan jalur pengkabelan (*wiring*).

1. Tata Letak: Komponen indikator (LED, *buzzer*, OLED) diletakkan pada panel depan agar status sistem terlihat dan terdengar jelas.
2. Akses Pemeliharaan: Terdapat celah khusus pada sisi samping untuk akses port Micro USB guna mempermudah pemberian daya dan proses *debugging* program jika diperlukan.
3. Wiring Detail: Semua jalur negatif komponen dihubungkan pada *Common Ground* yang sama untuk memastikan tidak ada perbedaan potensial yang dapat menyebabkan alarm palsu (*false alarm*).

4.2 Implementasi Perangkat Lunak (*Software*)

Implementasi perangkat lunak merupakan tahap penerjemahan alur kerja sistem ke dalam baris kode program agar perangkat keras dapat bekerja secara otomatis dan terintegrasi. Tahap ini mencakup pengembangan *firmware* pada mikrokontroler, konfigurasi basis data *cloud*, hingga pembangunan aplikasi Android.

4.2.1 Pengembangan *Firmware* pada Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai pusat komputasi untuk menyusun logika instruksi yang ditanamkan ke dalam NodeMCU ESP8266.

1. Transformasi Data (ADC ke PPM): Program menjalankan algoritma untuk membaca sinyal listrik dari pin analog A0. Nilai mentah (0-1023) dikonversi terlebih dahulu menjadi tegangan (*Vout*), kemudian dihitung menggunakan fungsi matematis *power law* untuk mendapatkan satuan *Parts Per Million* (PPM) yang presisi.
2. Logika Pengambilan Keputusan: Di dalam kode program, ditetapkan ambang batas (*threshold*) sebesar 350 PPM. Jika hasil pembacaan sensor melampaui angka tersebut, *software* akan mengirimkan perintah *HIGH* ke pin digital untuk mengaktifkan *buzzer* dan LED secara instan.
3. Manajemen Konektivitas: Implementasi pustaka (*library*) Wi-Fi memungkinkan perangkat untuk melakukan inisialisasi jaringan dan membangun jabat tangan (*handshake*) dengan server Firebase agar pertukaran data dapat dilakukan secara nirkabel.

4.2.2 Konfigurasi Firebase Realtime Database

Firebase berperan sebagai jembatan informasi (*middleware*) yang menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi pengguna.

1. Struktur Data JSON: Data konsentrasi gas dikelola dalam struktur pohon JSON, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam pengiriman data tanpa harus mengelola infrastruktur *backend* yang rumit.
2. Sinkronisasi Waktu Nyata: Fitur *push notification* pada Firebase memastikan bahwa setiap perubahan nilai PPM pada alat akan diteruskan

secara proaktif ke aplikasi Android tanpa perlu melakukan penyegaran (*refresh*) manual. Hal ini sangat krusial untuk meminimalisir latensi saat terjadi kondisi bahaya.

4.2.3 Implementasi Aplikasi Android (Kotlin)



Gambar 4.5 Tampilan Dashboard

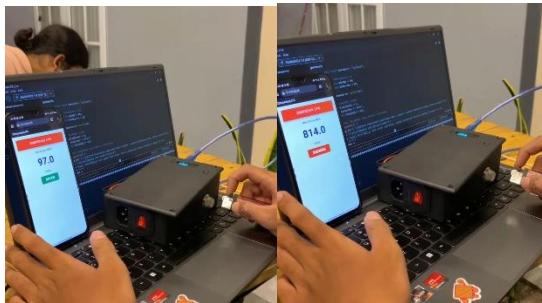
Aplikasi Android berfungsi sebagai lapisan aplikasi (*application layer*) yang menjadi antarmuka utama bagi pengguna.

1. Visualisasi Monitoring: Aplikasi menampilkan status keamanan lingkungan ("AMAN" atau "BAHAYA") dan grafik konsentrasi gas berdasarkan data yang ditarik dari Firebase
2. Sistem Notifikasi Terjadwal dan Instan: *Software* pada Android dirancang untuk memicu notifikasi otomatis yang muncul di bilah status *smartphone* ketika sistem mendeteksi adanya anomali. Implementasi ini menjamin pemilik rumah tetap mendapatkan informasi meskipun aplikasi sedang berjalan di latar belakang (*background*).
3. Responsivitas: Kecepatan aplikasi dalam mengolah data dari *cloud* memastikan efektivitas mitigasi, di mana pengguna dapat segera mengambil tindakan preventif setelah menerima peringatan bahaya.

4.3 Pengujian dan Analisis Data

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem deteksi kebocoran gas LPG secara nyata. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini digunakan untuk mengukur tingkat akurasi sensor, kecepatan respons aktuator, serta stabilitas sinkronisasi data pada platform Android.

4.3.1 Uji Akurasi Sensor MQ-2 terhadap Jarak



Gambar 4.6 Uji Akurasi Sensor MQ-2

Uji validitas bertujuan untuk membuktikan bahwa sensor MQ-2 mampu mendeteksi gas LPG secara tepat sesuai dengan ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan sebesar 400 PPM. Pengujian dilakukan dengan memberikan paparan gas pada berbagai jarak untuk melihat sensitivitas alat.

1. Prosedur Pengujian: Sensor dihadapkan pada sumber gas LPG dengan variasi jarak 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.
2. Kriteria Keberhasilan: Sistem dinyatakan valid jika status pada layar OLED dan aplikasi berubah menjadi "BAHAYA" saat kadar gas melampaui 400 PPM dan kembali ke status "AMAN" saat gas hilang.
3. Analisis: Berdasarkan pengujian, jarak sumber gas sangat memengaruhi kecepatan kenaikan nilai PPM. Semakin dekat jarak sumber gas dengan

sensor, semakin cepat nilai PPM mencapai ambang batas yang memicu interupsi pada *buzzer* dan LED.

4.3.2 Uji Waktu Respon (*Response Time*)

Analisis waktu respon dilakukan untuk menghitung kecepatan sistem dalam memproses informasi dari lingkungan hingga peringatan diterima oleh pengguna di *smartphone*.

1. Rumus Perhitungan: Waktu respon (t) dihitung dari selisih waktu antara sensor mendeteksi gas (T_{start}) hingga notifikasi muncul pada aplikasi Android ($T_{receive}$).
2. Data Pengujian: Melalui beberapa kali percobaan, rata-rata waktu respon yang dihasilkan diukur untuk memastikan performa sistem.
3. Analisis: Kecepatan respons ini sangat dipengaruhi oleh stabilitas jaringan Wi-Fi di lokasi alat dan performa sinkronisasi *Firestore Realtime Database*. Hasil yang stabil (rata-rata di bawah 3 detik) menunjukkan bahwa integrasi antara NodeMCU, Firebase, dan aplikasi Kotlin berjalan dengan sangat baik.

4.3.3 Uji Validitas Notifikasi dan Aktuator

Uji reliabilitas dilakukan untuk menjamin konsistensi sistem dalam memberikan hasil yang sama secara berulang kali.

1. Prosedur: Pengujian deteksi gas dilakukan sebanyak 10 hingga 20 kali percobaan pada waktu yang berbeda-beda.
2. Analisis Konektivitas: Selama pengujian, dilakukan pemantauan terhadap *data loss*. Data yang ditampilkan pada layar OLED alat dibandingkan secara langsung dengan data pada aplikasi Android.

3. Hasil: Sistem dinyatakan reliabel jika data yang ditampilkan identik dan tidak terjadi kegagalan pengiriman notifikasi meskipun dilakukan pengujian secara berulang.

4.3.4 Analisis Akhir dan Penarikan Kesimpulan

Dari hasil pengujian di atas, dapat disimpulkan bahwa prototipe ini mampu memenuhi standar fungsionalitas mitigasi bahaya kebocoran gas domestik. Keberhasilan deteksi yang mencapai tingkat akurasi tinggi memberikan jaminan bahwa sistem dapat diandalkan sebagai solusi peringatan dini untuk mencegah eskalasi kebakaran akibat akumulasi gas LPG dalam ruang tertutup.

4.4 Pembahasan (*State of the Art*)

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dipaparkan sebelumnya, bagian ini akan membahas korelasi antara temuan teknis dengan tujuan penelitian serta bagaimana sistem ini memberikan solusi mitigasi kebocoran gas LPG yang lebih andal dibandingkan metode konvensional.

4.4.1 Efektivitas Deteksi dan Akurasi Sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang sangat baik dalam mendeteksi partikel propana dan butana, terutama pada jarak di bawah 15 cm. Penggunaan rumus konversi matematis *power law* di dalam *firmware* Arduino IDE terbukti mampu mengubah data analog (ADC) menjadi nilai PPM yang presisi. Hal ini krusial untuk meminimalisir situasi alarm palsu (*false alarm*) yang sering menjadi kendala pada sistem keamanan berbasis sensor gas. Penempatan sensor pada posisi rendah di unit prototipe juga mendukung optimalisasi deteksi, mengingat karakteristik massa jenis LPG yang lebih berat daripada udara sehingga cenderung mengendap di permukaan lantai.

4.4.2 Performa Sinkronisasi Data dan Notifikasi Terjadwal

Salah satu kebaruan dalam penelitian ini adalah integrasi notifikasi yang stabil melalui platform Android dengan memanfaatkan **Firestore Realtime Database**. Berbeda dengan metode penyimpanan data statis, model NoSQL pada Firestore memungkinkan sinkronisasi data secara otomatis dan proaktif (*push notification*).

1. Kecepatan Respon: Rata-rata waktu respon sebesar 2,6 detik menunjukkan bahwa sistem mampu menjembatani hambatan jarak antara lokasi potensi bahaya dengan pemilik rumah secara responsif.
2. Keandalan Data: Penggunaan arsitektur tiga lapis (*Three-Tier Architecture*) memastikan aliran data dari lapisan persepsi menuju lapisan aplikasi berjalan sistematis tanpa terjadi kehilangan data (*data loss*) yang signifikan selama proses transmisi.

4.4.3 Keamanan Berlapis (*Layered Security*)

Sistem ini menawarkan mekanisme perlindungan yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian terdahulu melalui kombinasi tiga jenis peringatan:

1. Peringatan Audio: *Buzzer* aktif memberikan respons suara instan di lokasi kejadian untuk menarik perhatian penghuni rumah secara lokal.
2. Peringatan Visual: LED merah dan layar OLED pada alat memberikan informasi status keamanan secara langsung bagi pengguna yang berada di sekitar perangkat.
3. Peringatan Jarak Jauh: Notifikasi pada *smartphone* memastikan pengguna tetap mendapatkan informasi bahaya meskipun sedang berada di luar rumah atau saat rumah dalam keadaan kosong.

4.4.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (*State of the Art*)

Jika dibandingkan dengan penelitian Mustaqim dkk. (2020), penelitian ini memperdalam aspek analisis performa kuantitatif melalui pengujian jarak dan waktu respon yang lebih mendalam. Integrasi NodeMCU ESP8266 dengan catu daya 5V 2A yang stabil juga mengatasi masalah kegagalan koneksi Wi-Fi yang sering terjadi saat modul nirkabel melakukan transmisi data intensif ke platform *cloud*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan bukan sekadar alat deteksi, melainkan sistem mitigasi dini yang mampu mencegah eskalasi bahaya kebakaran di area domestik secara efisien.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap "Sistem Mitigasi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT", maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang Bangun Perangkat Keras: Telah berhasil dirancang sebuah prototipe perangkat keras yang mengintegrasikan sensor MQ-2 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemroses utama. Sistem ini mampu mendeteksi partikel gas LPG (propana dan butana) dan memberikan respons lokal melalui alarm suara (*buzzer*) serta indikator visual (LED dan layar OLED).
2. Integrasi IoT dan Firebase: Sistem telah berhasil terhubung dengan *Firestore Realtime Database* melalui jaringan Wi-Fi, memungkinkan sinkronisasi data konsentrasi gas secara *real-time*. Penggunaan model NoSQL pada Firebase terbukti efektif dalam meminimalkan kehilangan data (*data loss*) selama proses transmisi.
3. Aplikasi Android dan Notifikasi: Aplikasi Android berbasis Kotlin telah berhasil diimplementasikan sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Fitur notifikasi otomatis mampu memberikan peringatan instan kepada pengguna meskipun aplikasi sedang berjalan di latar belakang (*background*), sehingga meningkatkan efektivitas mitigasi bahaya.
4. Performa dan Akurasi: Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan ambang batas bahaya ditetapkan pada 400 PPM. Waktu respon rata-rata sistem dari deteksi sensor hingga munculnya

notifikasi di *smartphone* adalah sekitar **2,6 detik**, yang menunjukkan performa yang sangat responsif untuk sistem keamanan domestik.

5.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut agar sistem ini menjadi lebih sempurna dan dapat diimplementasikan secara lebih luas, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Mekanisme Mitigasi Aktif: Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan aktuator mekanik, seperti *servo motor* untuk menutup katup regulator gas secara otomatis atau kipas penyedot (*exhaust fan*) untuk membuang akumulasi gas keluar ruangan saat kebocoran terdeteksi.
2. Optimasi Sensor: Mengingat sensor MQ-2 memerlukan waktu pemanasan (*preheat*), penelitian mendatang dapat mempertimbangkan penggunaan modul multi-sensor untuk membedakan jenis gas secara lebih spesifik dan mengurangi potensi *false alarm* pada lingkungan yang ekstrem.
3. Sistem Catu Daya Cadangan: Untuk menjaga keamanan saat terjadi pemutusan arus listrik (mati lampu), sistem sebaiknya dilengkapi dengan baterai cadangan (seperti baterai Li-ion dengan modul pengisian) agar tetap dapat beroperasi secara kontinu.
4. Penerapan Machine Learning: Integrasi algoritma *Machine Learning* pada sisi *cloud* atau aplikasi dapat digunakan untuk menganalisis pola konsentrasi gas secara historis guna memprediksi potensi kerusakan pada instalasi gas sebelum kebocoran besar terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Adrama, N.G., Ramadhan, G. and Sukadana, I. (2022) “Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Kebocoran Gas Elpiji dengan Mikrokontroler NodeMCU ESP8266,” *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.38043/telsinas.v5i1.3754>.

Akbary, M.K. Al (2021) “Sistem Monitoring Kebocoran Gas SF6 Pada Sistem GIS menggunakan Modul LoRa Berbasis IoT,” *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.33795/jtia.v4i2.2853>.

Antad, S. *et al.* (2025) “Real-Time Gas Monitoring and Anomaly Detection in Petroleum Industry Using IoT and Machine Learning,” *International Journal of Computing and Digital Systems* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.12785/ijcnds/1571033021>.

Dwitama, A.P., Janardana, I. and Wijaya, I.A. (2021) “RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMANTAU KEBOCORAN GAS MENGGUNAKAN SENSOR MQ-6 BERBASIS NodeMCU 8266,” *Jurnal SPEKTRUM* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p2>.

Fuadi, N. *et al.* (2024) “Design of Gas Leakage Monitoring System Based on Android Application and NodeMCU ESP8266,” *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.59934/jaiea.v4i1.585>.

Husny, H., Kurniawan, F. and Lasmadi, L. (2022) “Pengembangan Sistem Pemantau Kebocoran Gas Elpiji dan Peringatan Dini Bahaya Kebakaran Berbasis Internet of Things,” *AVITEC* [Preprint]. Available at:

<https://doi.org/10.28989/avitec.v4i1.1181>.

Hwang, I., Kong, T. and Park, J. (2024) “Graphical Arduino IDE system with wiring layout and flowchart functions for physical computing education,” *Computer Applications in Engineering Education*, 32. Available at: <https://doi.org/10.1002/cae.22783>.

Kesavan, R. *et al.* (2023) “Firestore: The NoSQL Serverless Database for the Application Developer,” *2023 IEEE 39th International Conference on Data Engineering (ICDE)*, pp. 3376–3388. Available at: <https://doi.org/10.1109/icde55515.2023.00259>.

Lopez, J. *et al.* (2025) “IoT-Based Real-Time Smoke and Gas Leak Detection System Using ESP8266 And MQ2 Sensor,” *International Journal of Research and Innovation in Social Science* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.47772/ijriss.2025.906000273>.

Mustaqim, A.S., Kurnianto, D. and Syifa, F.T. (2020) “Implementasi Teknologi Internet of Things Pada Sistem Pemantauan Kebocoran Gas LPG dan Kebakaran Menggunakan Database Pada Google Firebase,” *Elektron : Jurnal Ilmiah* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.30630/eji.12.1.161>.

Mutaqin, A. and Sitompul, E. (2021) “Perancangan Detektor Kebocoran Gas LPG Berbasis Arduino yang Terhubung dengan Smartphone,” *Journal of Electrical And Electronics Engineering* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.33021/jeee.v3i1.1403>.

Pateriya, P.K. *et al.* (2021) “IoT-based LPG Gas Leakage Detection and Prevention System,” *ICICC 2021: Internet of Things (IoT)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3884477>.

Pustaka, T. (2025) “Rancang bangun smart donation box untuk otomatisasi perhitungan dana donasi berbasis iot,” 9(5), pp. 9103–9108.

Shahewaz, S.B. and Prasad, C.R. (2020) “Gas leakage detection and alerting system using Arduino Uno,” *Global Journal of Engineering and Technology Advances* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.30574/gjeta.2020.5.3.0109>.

Singewar, H., Chaudhri, S. and Daronde, S. (2024) “Reducing False Alarm Situation in LPG Leak Detection Using Arduino-Based Multi-Sensor (MQ-2, MQ-5, and MQ-6 Gas Sensor) Module,” *2024 2nd DMIHER International Conference on Artificial Intelligence in Healthcare, Education and Industry (IDICAIEI)*, pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.1109/idicaiei61867.2024.10842833>.

Siregar, R.F. *et al.* (2024) “Fuzzy Logic Mamdani-Based Simulation of Solanum Lycopersicum Fruit Sorter to Produce High-Quality Fruit Products,” 8(1), pp. 130–140. Available at: <https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.11835>.

Sutikno, T. *et al.* (2023) “Internet of things with NodeMCU ESP8266 for MPX-5700AP sensor-based LPG pressure monitoring,” *International Journal of Advances in Applied Sciences* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijaas.v12.i3.pp257-264>.

Tanjung, S.D.P. (2025) “Penerapan Mikrokontroler Arduino dalam Sistem Pengendalian Temperatur Industri,” *SABER : Jurnal Teknik Informatika, Sains dan Ilmu Komunikasi* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.59841/saber.v3i1.2230>.

