

# **Gas Leak Detection and Alert System – IoT Based**

Disusun Oleh:

**Alghifari Rasyid Zola / 105222006 / 105222006@student.universitaspertamina.ac.id**

**Raihan Akira Rahmaputra / 105222040 / 105222040@student.universitaspertamina.ac.id**



Laporan penelitian ini adalah sebagai bentuk  
Ujian Akhir Semester (UAS)  
untuk mata kuliah Mikrokontroller dan Internet of Things (IoT)

**Juni 2025**

## DAFTAR ISI

<b><i>I. ABSTRAK</i></b> .....	<b>3</b>
<b><i>II. PENDAHULUAN</i></b> .....	<b>3</b>
1. Latar Belakang.....	3
2. Tujuan dan Manfaat.....	3
<b><i>III. METODE PENGEMBANGAN</i></b> .....	<b>7</b>
<b><i>IV. HASIL DAN ANALISIS</i></b> .....	<b>13</b>
<b><i>V. KESIMPULAN DAN SARAN</i></b> .....	<b>16</b>
<b><i>VI. REFERENSI</i></b> .....	<b>17</b>
<b><i>LAMPIRAN (10 points)</i></b> .....	<b>18</b>

## I. ABSTRAK

Kebocoran gas di lingkungan perumahan dan industri menimbulkan risiko serius terhadap keselamatan jiwa, properti, dan lingkungan. Sistem deteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things (IoT) dirancang untuk memberikan peringatan dini secara real-time melalui berbagai saluran. Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi gas LPG, metana, dan asap, dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan respons lokal (buzzer, LED, dan LCD), serta mengirimkan notifikasi jarak jauh melalui Telegram dan web server lokal. Pengujian menunjukkan deteksi gas dapat dilakukan dalam waktu kurang dari 5 detik dengan peringatan yang andal, meskipun terdapat tantangan teknis seperti keterbatasan memori. Sistem ini terbukti efektif sebagai solusi deteksi dini yang murah, modular, dan dapat diandalkan, sekaligus mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 11 terkait kota dan komunitas berkelanjutan.

## II. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Ancaman kebocoran gas merupakan bahaya yang signifikan dan tidak dapat diprediksi, berpotensi menyebabkan kerugian parah terhadap keselamatan manusia, properti, dan lingkungan [1]. Sejarah mencatat insiden-insiden dengan dampak yang menghancurkan, seperti bencana Bhopal pada tahun 1984, di mana kebocoran gas metil isosianat menyebabkan perkiraan 3.800 kematian segera, hingga 10.000 kematian dalam beberapa hari pertama, dan 15.000 hingga 20.000 kematian prematur dalam dua dekade berikutnya, disertai konsekuensi kesehatan jangka panjang yang meluas [2]. Di Indonesia, masalah ini sangat mendesak terkait dengan penggunaan LPG. Sejak kebijakan pemerintah pada tahun 2007 untuk mengonversi minyak tanah ke LPG, cedera bakar terkait LPG telah meningkat secara mengkhawatirkan, menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius [3]. Sebanyak 94,7% kasus luka bakar ini disebabkan oleh kebocoran LPG, dengan 83,4% terjadi di lingkungan perumahan dan 96,4% melibatkan tabung LPG berukuran 3 kilogram [3]. Insiden-insiden ini sering kali mengakibatkan "luka bakar mayor" yang parah (62,1% kasus), seringkali memengaruhi kepala dan leher (73%), dan dapat menyebabkan cedera inhalasi bersamaan (16%), secara signifikan meningkatkan risiko kematian [3].

Proyek ini secara langsung selaras dan mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 11 Perserikatan Bangsa-Bangsa, yang didedikasikan untuk menjadikan kota dan permukiman manusia inklusif, aman, tangguh, dan berkelanjutan pada tahun 2030 [4]. Dengan menyediakan sistem peringatan dini yang efektif untuk kebocoran gas, proyek ini berkontribusi pada penciptaan lingkungan perkotaan yang lebih aman dan berperan dalam mengurangi dampak lingkungan per kapita yang merugikan di kota-kota, khususnya terkait kualitas udara. Pencegahan ledakan gas dan kebakaran secara langsung meningkatkan ketahanan perkotaan terhadap bencana dan berkontribusi pada pemeliharaan

lingkungan bebas polusi, yang merupakan fundamental untuk pembangunan perkotaan berkelanjutan. Teknologi berbasis IoT, seperti sistem ini, diakui sebagai pendorong utama untuk mencapai berbagai target SDG 11, termasuk perumahan yang aman, manajemen bencana, dan pengurangan dampak lingkungan [5].

Deteksi gas secara tradisional sangat bergantung pada indra manusia, khususnya penciuman. Namun, kepekaan manusia bervariasi, dan kebocoran seringkali tidak terdeteksi sampai mencapai konsentrasi berbahaya atau menghasilkan suara mendesis yang dapat didengar. Ini berarti bahwa deteksi seringkali terjadi terlalu lambat untuk mencegah konsekuensi serius. Sensor gas konvensional, yang umumnya menggunakan bahan semikonduktor oksida seperti lapisan SnO<sub>2</sub> yang ditemukan pada sensor MQ-2, menunjukkan sensitivitas tinggi tetapi dibatasi oleh keterbatasan kritis seperti selektivitas yang buruk dan kecepatan respons/pemulihan yang lambat [6]. Sensor-sensor ini sering menunjukkan sensitivitas silang terhadap berbagai gas, sehingga sulit untuk menentukan zat berbahaya spesifik, dan kinerjanya sangat terganggu oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, yang menyebabkan alarm palsu atau kegagalan deteksi. Selain itu, suhu operasi tinggi yang khas (200–450 °C) menghasilkan konsumsi daya yang substansial dan memperkenalkan masalah keamanan tambahan. Keterbatasan-keterbatasan seperti kurangnya selektivitas, respons yang lambat, konsumsi daya yang tinggi, dan kerentanan terhadap gangguan lingkungan, menunjukkan adanya kesenjangan teknologi yang signifikan dalam hal keandalan dan kepraktisan [6].

Evolusi teknologi yang pesat, khususnya Internet of Things (IoT), menawarkan pendekatan transformatif untuk mengatasi kekurangan metode deteksi gas konvensional. Sistem berbasis IoT secara fundamental mengubah paradigma keselamatan dari intervensi manusia yang reaktif dan terlokalisasi menjadi kewaspadaan yang proaktif, terdistribusi, dan otomatis. Sistem ini menyediakan pemantauan berkelanjutan dan kemampuan penting untuk memberi tahu pengguna dari jarak jauh, bahkan ketika mereka tidak berada di lokasi secara fisik. Proyek ini memanfaatkan sensor MQ-2 untuk deteksi gas berbahaya seperti LPG, metana, dan asap [7]. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai otak sistem, mengelola data sensor, mengaktifkan peringatan lokal (buzzer dan LED), dan menyediakan konektivitas Wi-Fi. Informasi real-time seperti kadar gas dan ambang batas ditampilkan pada LCD 16x2. Selain itu, sistem ini mengirimkan notifikasi jarak jauh ke akun Telegram pengguna, dan dilengkapi dengan web server sederhana yang di-host pada ESP32 untuk pemantauan data sensor secara real-time melalui browser web lokal. Kombinasi peringatan visual, audio-visual lokal, notifikasi jarak jauh, dan pemantauan web ini dirancang sebagai solusi deteksi dini yang efektif untuk mencegah kebakaran akibat kebocoran gas [7].

## 2. Tujuan dan Manfaat

### Tujuan Proyek

Proyek ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran gas berbasis IoT yang mampu menyediakan peringatan komprehensif multi-saluran dan pemantauan waktu nyata, sehingga secara signifikan meningkatkan keselamatan di lingkungan perumahan dan berpotensi di lingkungan industri kecil. Secara spesifik, sistem ini dirancang untuk mencapai tujuan-tujuan berikut:

- Deteksi Gas yang Akurat dan Serbaguna: Mendeteksi keberadaan berbagai gas berbahaya, termasuk Gas Minyak Cair (LPG), metana, dan asap, menggunakan sensor MQ-2. Sensor MQ-2 dipilih karena kemampuan deteksinya yang luas untuk gas mudah terbakar dan asap, efektivitas biayanya, dan kemudahan integrasinya, dengan mempertimbangkan persyaratan periode pemanasan awal untuk memastikan pembacaan yang stabil dan akurat.
- Integrasi Mikrokontroler Cerdas dengan Konektivitas Nirkabel: Memanfaatkan mikrokontroler ESP32 untuk pemrosesan data sensor yang efisien, pengelolaan mekanisme peringatan lokal, dan pembentukan komunikasi nirkabel (Wi-Fi) yang kuat. Kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi ESP32, mikroprosesor LX6 32-bit dual-core (atau single-core) yang kuat yang beroperasi pada 160 atau 240 MHz, dan konsumsi daya rendah (arus tidur nyenyak 5  $\mu$ A) menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi IoT kompleks yang menuntut pemrosesan data waktu nyata dan konektivitas tanpa batas.
- Peringatan Lokal Multi-Modal: Mengimplementasikan peringatan audio-visual segera di lokasi melalui *buzzer* dan indikator LED. Bersamaan dengan itu, LCD 16x2 akan menampilkan informasi waktu nyata, menunjukkan kadar gas yang terdeteksi, nilai ambang batas yang telah ditentukan, dan kondisi sistem (misalnya, "Kondisi Normal" atau "Gas bocor terdeteksi").
- Notifikasi Jarak Jauh Waktu Nyata melalui Telegram: Memastikan pengguna menerima peringatan jarak jauh waktu nyata dengan mengirimkan notifikasi langsung ke akun Telegram mereka. Fitur ini sangat penting untuk menjaga kesadaran pengguna terlepas dari kedekatan fisik mereka dengan perangkat, dengan Telegram yang dikenal karena kecepatan notifikasi waktu nyatanya yang unggul dibandingkan platform lain seperti Blynk.
- Web Server Lokal untuk Pemantauan Waktu Nyata dan Antarmuka Pengguna: Mengintegrasikan web server sederhana yang di-host pada ESP32, dapat diakses melalui alamat IP lokal perangkat saat terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama. Ini menyediakan antarmuka berbasis *browser* yang nyaman untuk pemantauan data sensor waktu nyata, menawarkan saluran pemantauan alternatif yang penting dan ramah pengguna.

Integrasi berbagai saluran peringatan yang berbeda ini—visual/audio lokal, Telegram jarak jauh, dan *web server* lokal—merupakan pilihan desain yang

disengaja yang secara signifikan meningkatkan ketahanan sistem dengan menyediakan redundansi yang krusial. Pendekatan multi-modal ini memenuhi beragam kebutuhan dan skenario pengguna, memastikan bahwa peringatan penting disampaikan secara efektif, bahkan jika satu saluran komunikasi terganggu atau tidak dapat diakses, sehingga memaksimalkan kemungkinan intervensi yang tepat waktu.




#### Manfaat Proyek







- **Peningkatan Keamanan dan Perlindungan Properti:** Manfaat utama sistem ini terletak pada kemampuannya untuk deteksi dini dan akurat kebocoran gas berbahaya, yang sangat penting untuk mencegah hasil bencana seperti ledakan, kebakaran, dan hilangnya nyawa. Aktivasi alarm lokal dan notifikasi jarak jauh yang segera memfasilitasi evakuasi dan respons darurat yang cepat, sehingga meminimalkan potensi kerusakan properti dan menjaga kehidupan manusia. Pendekatan proaktif ini sangat kontras dengan metode tradisional yang seringkali mengandalkan deteksi manusia yang tertunda, yang bisa jadi terlalu terlambat untuk mencegah bencana. Proyek ini secara langsung mengatasi dan mengurangi risiko sistemik spesifik serta keterbatasan yang diidentifikasi dalam bagian "Latar Belakang," seperti bahaya yang ditimbulkan oleh infrastruktur yang menua, ketidakandalan intrinsik deteksi sensorik manusia, dan tingginya insiden kecelakaan terkait LPG di Indonesia. Dengan menawarkan solusi otomatis, waktu nyata, dan multi-saluran, sistem ini menyediakan lapisan pertahanan kritis yang saat ini kurang atau tidak memadai di banyak pengaturan.
- **Ketenteraman Pikiran:** Selain peningkatan keamanan yang nyata, kemampuan pemantauan berkelanjutan dan notifikasi jarak jauh dari sistem ini menawarkan ketenteraman pikiran yang tak ternilai bagi pengguna. Mengetahui bahwa rumah atau properti mereka berada di bawah pengawasan otomatis yang konstan, bahkan ketika mereka tidak hadir secara fisik, secara signifikan mengurangi kecemasan dan stres yang terkait dengan potensi bahaya kebocoran gas. Manfaat psikologis ini berkontribusi langsung pada peningkatan kualitas hidup dan rasa aman dalam komunitas. Manfaat "ketenteraman pikiran" ini menyoroti bahwa sistem keselamatan cerdas menawarkan lebih dari sekadar perlindungan fisik; sistem ini mengatasi beban psikologis dari potensi bahaya. Dampak yang lebih luas terhadap kesejahteraan mental, pengurangan kecemasan, dan peningkatan perasaan kontrol adalah aspek krusial, yang seringkali diremehkan, dari proposisi nilai teknologi rumah pintar, berkontribusi pada kesejahteraan manusia secara keseluruhan.
- **Dukungan terhadap SDG 11: Kota dan Komunitas Berkelanjutan:** Proyek ini secara langsung selaras dan mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 11 Perserikatan Bangsa-Bangsa, yang didedikasikan

untuk menjadikan kota dan permukiman manusia inklusif, aman, tangguh, dan berkelanjutan pada tahun 2030. Dengan menyediakan sistem peringatan dini yang efektif untuk kebocoran gas, proyek ini berkontribusi pada penciptaan lingkungan perkotaan yang lebih aman dan berperan dalam mengurangi dampak lingkungan per kapita yang merugikan di kota-kota, khususnya terkait kualitas udara. Pencegahan ledakan gas dan kebakaran secara langsung meningkatkan ketahanan perkotaan terhadap bencana dan berkontribusi pada pemeliharaan lingkungan bebas polusi, yang merupakan fundamental untuk pembangunan perkotaan berkelanjutan. Teknologi berbasis IoT, seperti sistem ini, diakui sebagai pendorong utama untuk mencapai berbagai target SDG 11, termasuk perumahan yang aman, manajemen bencana, dan pengurangan dampak lingkungan. Kontribusi proyek terhadap SDG 11 bersifat konkret dan multi-aspek. Dengan mencegah bencana terkait gas (ledakan, kebakaran) dan mengurangi pelepasan gas yang tidak terkontrol (yang berkontribusi terhadap polusi udara dan degradasi lingkungan), sistem ini secara langsung mendukung target keselamatan perkotaan, ketahanan terhadap bencana, dan peningkatan kualitas udara—semuanya merupakan komponen eksplisit dari SDG 11. Hal ini menempatkan proyek sebagai inovasi yang nyata dan bertanggung jawab secara sosial dengan manfaat sosial dan lingkungan yang terukur, menunjukkan bagaimana solusi IoT yang terlokalisasi dapat berkontribusi pada tujuan keberlanjutan global.

### III. METODE PENGEMBANGAN

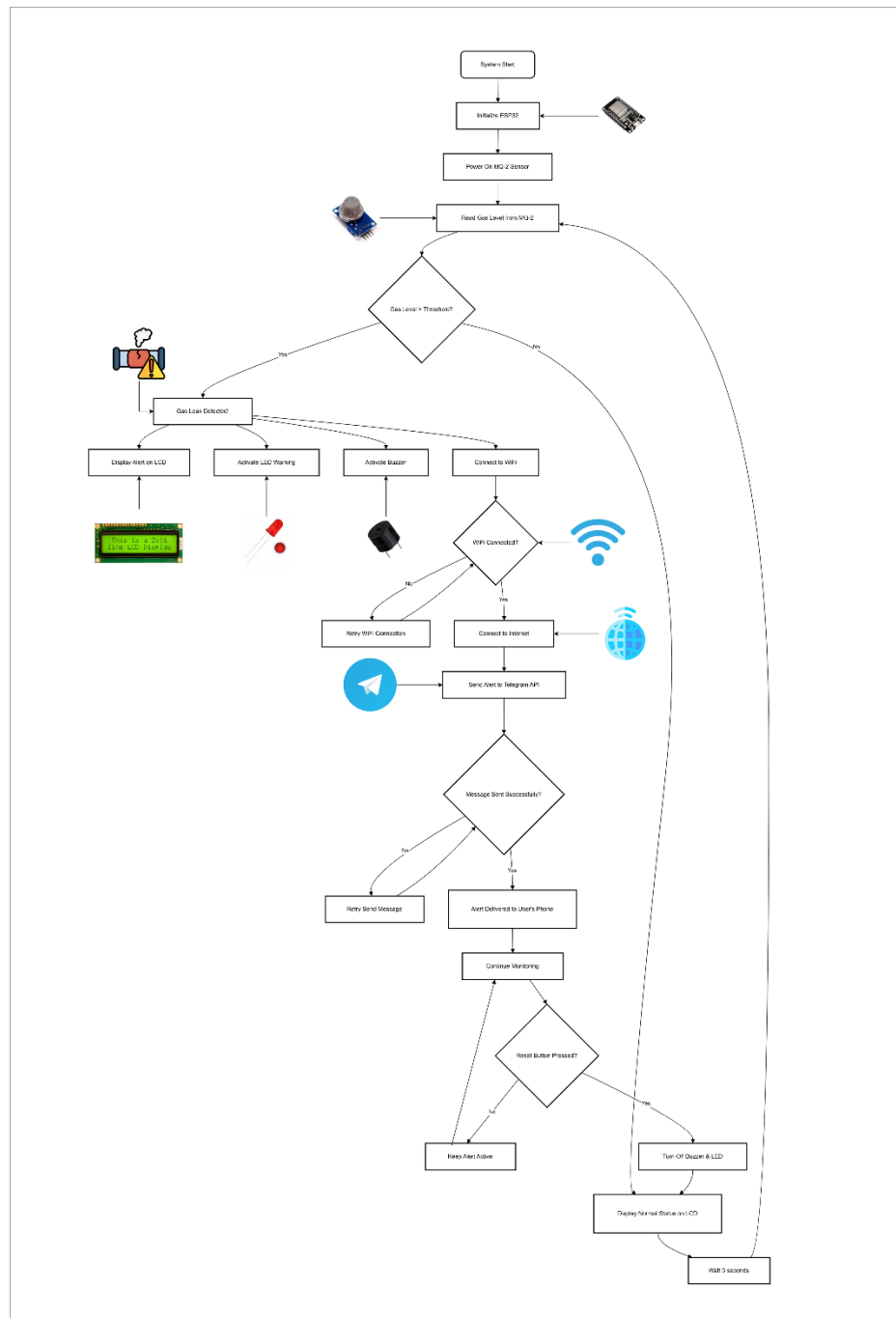
#### 1. Daftar Komponen

No	Komponen	Gambar	Fungsi
1	ESP32		Mikrokontroler utama, koneksi WiFi, kontrol sensor & aktuator
2	Sensor gas MQ-2		Deteksi gas LPG, metana, asap, dan hidrogen
3	LED		Indikator visual saat gas terdeteksi
4	Buzzer		Alarm suara sebagai peringatan lokal
5	Breadboard		Media penyambung komponen sementara

6	Kabel Jumper		Penghubung antar komponen
7	Resistor (220–330Ω)		Pembatas arus ke LED
8	LCD Display		Menampilkan informasi pada LCD
9	Kabel Micro USB		Koneksi ESP32 ke komputer/laptop
10	Telegram + Bot API		Menerima alert melalui bot Telegram
11	Web Server Koneksi WiFi		Menampilkan status monitoring

## 2. Diagram Block System





Cara kerja sistem:

Sistem deteksi kebocoran gas ini mengikuti alur kerja yang terpadu dengan ESP32 sebagai pusat kendali utama. Pada tahap pengembangan dan pengujian purwarupa, ESP32 mendapatkan catu daya melalui koneksi USB dari laptop untuk menjamin operasional seluruh komponen. Proses dimulai ketika terjadi kebocoran gas di lingkungan.

Berikut adalah alur kerja sistem secara detail:

- **Deteksi Gas:** Gas yang bocor terdeteksi oleh sensor MQ-2, yang dirancang khusus untuk mengenali keberadaan gas-gas berbahaya seperti LPG, propana, hidrogen, dan gas mudah terbakar lainnya di udara.

- Pengiriman Data Sensor: Setelah mendeteksi adanya kebocoran gas, sensor MQ-2 mengirimkan data analog pengukuran ke mikrokontroler ESP32.
- Pemrosesan Data dan Tampilan Lokal: ESP32 bertindak sebagai otak dari sistem ini, memproses data yang diterima dari sensor dan secara simultan menampilkan status sistem melalui LCD Display 16x2 yang memberikan informasi *real-time* kepada pengguna di lokasi.

Tindakan Terkoordinasi oleh ESP32: Berdasarkan data dari sensor MQ-2, ESP32 kemudian mengeksekusi empat tindakan penting secara terkoordinasi:

- Pembaruan Tampilan LCD: ESP32 memperbarui tampilan status pada LCD Display untuk memberikan informasi visual lokal.
- Aktivasi Peringatan Audio: ESP32 mengaktifkan *buzzer* untuk memberikan peringatan *audible* yang dapat didengar di lokasi kejadian.
- Aktivasi Peringatan Visual LED: ESP32 mengaktifkan LED sebagai indikator visual untuk memberikan peringatan yang dapat dilihat.
- Notifikasi Jarak Jauh via Telegram: Melalui Modul WiFi yang terintegrasi, ESP32 terhubung ke internet dan mengirimkan pesan peringatan kepada pengguna melalui Telegram API, memungkinkan notifikasi cepat dan pemantauan jarak jauh dari situasi berbahaya tersebut.

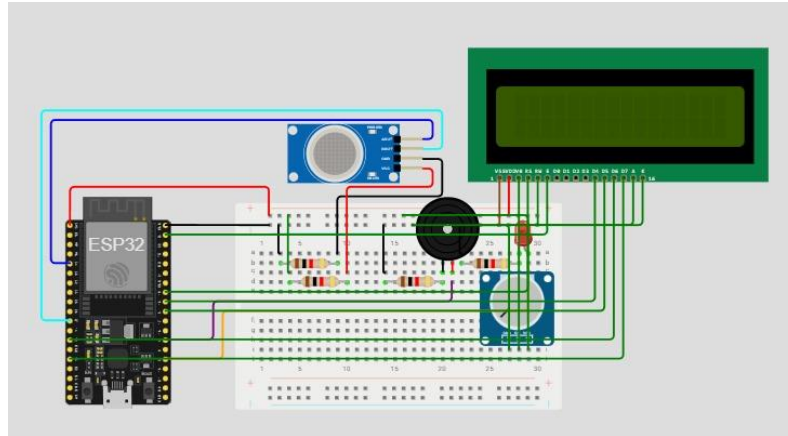
Pemantauan Web Lokal: Sebagai fitur tambahan, ESP32 juga menjalankan *web server* sederhana yang dapat diakses melalui alamat IP perangkat di jaringan WiFi lokal, menampilkan data sensor terkini secara *real-time* untuk *monitoring* tambahan melalui *browser* web.

Keberadaan komponen-komponen dalam sistem ini memiliki nilai tambah karena berkontribusi pada pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya dalam aspek peningkatan keamanan, pencegahan kecelakaan, dan pengembangan infrastruktur yang tangguh terhadap bencana terkait kebocoran gas. Dengan arsitektur yang terpusat pada sensor MQ-2 untuk deteksi, ESP32 untuk koordinasi respons dan *web server* lokal, serta LCD untuk *display* lokal, sistem ini memberikan mekanisme keamanan yang komprehensif, terintegrasi, dan responsif dengan *multiple interface monitoring* baik melalui *display* fisik maupun *web interface* lokal.

### 3. Desain Model

#### a. Desain Perangkat Keras

Rangkaian elektronik sistem ini menghubungkan sensor MQ-2, LCD 16x2, *buzzer*, dan LED ke mikrokontroler ESP32. Berikut adalah gambaran umum koneksi:



- Sensor MQ-2:
  - Pin VCC dihubungkan ke pin 5V atau 3.3V ESP32, pin GND ke GND ESP32.
  - Pin *Analog Output* (AO) dihubungkan ke GPIO 34 ESP32
  - Pin *Digital Output* (DO) dihubungkan ke GPIO 27 ESP32
- LED: Dihubungkan ke GPIO 2 ESP32
- Buzzer: Dihubungkan ke GPIO 4 ESP32
- LCD 16x2: Dihubungkan ke ESP32 dalam mode 4-bit
  - Pin RS (Register Select) ke GPIO 19.
  - Pin EN (Enable) ke GPIO 23.
  - Pin D4 ke GPIO 18.
  - Pin D5 ke GPIO 5.
  - Pin D6 ke GPIO 12.
  - Pin D7 ke GPIO 13.

#### b. Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak sistem ini berpusat pada pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan MicroPython, sebuah implementasi Python yang ringan dan efisien untuk *embedded systems*. Kode program mengelola seluruh fungsionalitas sistem, mulai dari pembacaan sensor hingga notifikasi jarak jauh dan *web monitoring*.

Berikut adalah komponen utama dan fungsionalitas perangkat lunak:

- Modul dan Library yang digunakan
  - machine: Untuk mengontrol pin GPIO (General Purpose Input/Output), ADC (Analog-to-Digital Converter), dan fungsi perangkat keras lainnya pada ESP32.
  - network: Untuk mengelola konektivitas Wi-Fi ESP32, termasuk menghubungkan ke jaringan dan mendapatkan alamat IP.
  - urequests: Modul HTTP klien ringan untuk membuat permintaan HTTP/HTTPS, digunakan untuk mengirim pesan ke Telegram API.
  - socket: Untuk membuat dan mengelola *socket* jaringan, yang digunakan untuk *web server* lokal.
  - time: Untuk fungsi terkait waktu, seperti penundaan (*sleep*) dan mendapatkan *timestamp* lokal.

- gc (Garbage Collector): Untuk mengelola memori, membantu mencegah *out-of-memory errors* pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32.
- Konfigurasi Sistem
  - Kredensial Jaringan: SSID dan *password* Wi-Fi dikonfigurasi untuk konektivitas jaringan.
  - Kredensial Telegram: *bot\_token* dan *chat\_id* Telegram diatur untuk memungkinkan pengiriman notifikasi ke akun pengguna.
- Inisialisasi Perangkat Keras
  - Pin Sensor MQ-2: Pin analog sensor MQ-2 (*mq2\_analog*) diinisialisasi pada GPIO 34 dengan *attenuation* 11dB, dan pin digitalnya (*mq2\_digital*) diinisialisasi pada GPIO 27.
  - Pin Aktuator: LED diinisialisasi pada GPIO 2 dan *buzzer* pada GPIO 4.
  - Pin LCD: Pin-pin LCD (RS, EN, D4-D7) diinisialisasi pada GPIO 19, 23, 18, 5, 12, dan 13 secara berurutan. Sebuah kelas LCD kustom digunakan untuk mengontrol tampilan LCD 16x2.
- Logika Utama Sistem
  - **Kalibrasi Sensor:** Saat *startup*, sistem melakukan kalibrasi sensor MQ-2 dengan membaca 20 sampel nilai analog dalam kondisi udara bersih untuk menentukan nilai rata-rata referensi (*ref\_avg*) dan ambang batas (*threshold*) deteksi gas.
  - **Loop Pemantauan Berkelanjutan:** Dalam *loop* utama, sistem secara terus-menerus membaca nilai analog dari sensor MQ-2.
  - **Deteksi dan Peringatan:**
    - Jika nilai analog saat ini melebihi *threshold*, LED dan *buzzer* diaktifkan, dan LCD menampilkan pesan "GAS ALERT" beserta level gas.
    - Notifikasi Telegram dikirimkan (termasuk versi terenkripsi dan terdekripsi dari level gas dan ambang batas) jika ini adalah deteksi baru atau jika interval waktu notifikasi telah berlalu.
    - Log peringatan gas disimpan dalam daftar *gas\_alert\_log*.
  - **Kondisi Normal:** Jika nilai gas di bawah ambang batas, LED dan *buzzer* dimatikan, dan LCD menampilkan "STATUS: NORMAL". Pesan "Kondisi aman" dikirim ke Telegram setelah kondisi gas terdeteksi kembali normal.
  - **Web Server:** Sistem menjalankan *web server* sederhana yang dapat diakses melalui alamat IP lokal ESP32. *Web server* ini menampilkan status sistem saat ini (normal/alert), nilai sensor, ambang batas, nilai referensi (semuanya terenkripsi dan ditampilkan juga dalam bentuk asli), serta riwayat peringatan gas. Data di *web server* diperbarui secara *real-time* saat halaman di-*refresh*.
- Fungsi Pendukung

- `get_timestamp()`: Mengembalikan *timestamp* saat ini dalam format *string*.
- `connect_wifi()`: Menghubungkan ESP32 ke jaringan Wi-Fi yang dikonfigurasi dan menampilkan status koneksi di LCD.
- `send_telegram_message(message)`: Mengirim pesan teks ke Telegram API menggunakan urequests.
- Fungsi `display_startup()`, `display_warmup()`, `display_reference_reading()`, `display_normal_status()`, `display_gas_detected()`: Mengelola tampilan informasi di LCD selama berbagai tahapan operasi sistem.
- `handle_web_request(cl)`: Membangun halaman HTML untuk *web server* dengan data sensor *real-time* dan riwayat peringatan, termasuk data terenkripsi.
- `find_available_port()` dan `setup_web_server()`: Mencari *port* yang tersedia dan menginisialisasi *web server*.
- `test_telegram_connection()`: Menguji konektivitas ke Telegram API saat *startup*.

## IV. HASIL DAN ANALISIS

### 1. Hasil Implementasi Sistem

Sistem deteksi kebocoran gas berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan sesuai rancangan dan diuji secara langsung menggunakan korek gas butana sebagai simulasi sumber kebocoran gas. Prototipe memanfaatkan sensor MQ-2, mikrokontroler ESP32, serta berbagai saluran output berupa buzzer, LED, LCD, notifikasi Telegram, dan web server lokal. Adapun hasil fungsional utama sistem adalah sebagai berikut:

- **Deteksi Gas Berjalan Efektif**  
Sensor MQ-2 secara konsisten menunjukkan peningkatan pembacaan nilai ADC saat kepala korek gas diarahkan ke sensor, memicu sistem peringatan.
- **Respons Audio-Visual Lokal Aktif**  
LED menyala terang dan buzzer berbunyi nyaring begitu ambang batas gas terlampaui.
- **Tampilan Informasi di LCD**  
Layar LCD 16x2 menampilkan status sistem secara real-time seperti “STATUS: NORMAL” dan “GAS ALERT”, disertai level gas yang terukur.
- **Notifikasi Telegram Diterima**  
Notifikasi terkirim secara otomatis ke akun Telegram pengguna saat sistem mendeteksi kebocoran gas, dan juga saat kondisi kembali normal.
- **Pemantauan Melalui Web Server**  
Web server lokal berhasil diakses melalui jaringan Wi-Fi, menampilkan status sistem dan nilai sensor dalam halaman HTML sederhana.

## 2. Analisis Fungsionalitas Sistem

### A. Keakuratan dan Stabilitas Deteksi

Kalibrasi awal sensor dilakukan dengan membaca rata-rata nilai analog sensor MQ-2 dalam udara bersih untuk menetapkan nilai referensi dan threshold. Korek gas digunakan untuk menghasilkan paparan gas ringan, dengan detail:

- Sistem mendeteksi kebocoran saat nilai pembacaan melebihi threshold.
- Respons alarm lokal (LED dan buzzer) serta notifikasi Telegram aktif dalam waktu  $< 5$  detik.

Sensor MQ-2 mampu merespons dengan baik terhadap perubahan konsentrasi gas. Meski sensitivitasnya tinggi, nilai pembacaan bisa fluktuatif tergantung arah angin atau posisi korek, sehingga posisi sensor perlu dioptimalkan untuk penggunaan nyata.

### B. Fungsi Notifikasi Jarak Jauh

ESP32 menggunakan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan peringatan via Telegram Bot API. Pengujian menunjukkan bahwa:

- Notifikasi umumnya dikirim dalam 2–5 detik setelah deteksi.
- Saat koneksi internet terputus, pesan gagal dikirim namun sistem tetap berjalan lokal.

Terdapat kendala pada tahap awal pengembangan. Setelah perbaikan konfigurasi dan pengecekan endpoint API, sistem kembali berjalan normal.

### C. Pemantauan Web Server Lokal

Web server lokal yang berjalan di ESP32 menyediakan antarmuka berbasis HTML yang dapat diakses melalui IP lokal perangkat. Namun, pada tahap implementasi, sempat terjadi error saat membuka halaman web server, yang disebabkan oleh:

- Kelebihan penggunaan memori pada ESP32.
- Struktur HTML terlalu kompleks untuk kapasitas ESP32 yang terbatas.

Web server kemudian disederhanakan menjadi tampilan statis dengan informasi dasar (nilai sensor, status sistem, waktu), dan kapasitas socket dikurangi untuk menghindari stack overflow.

### D. Keterbatasan Memori dan Optimalisasi

ESP32 memiliki memori terbatas, yang menyebabkan beberapa kendala selama pengembangan:

- Modul urequests untuk Telegram dan socket untuk web server berjalan dalam ruang memori yang sama.
- Kombinasi proses membaca sensor, mengakses LCD, dan menangani konektivitas menyebabkan ESP32 sempat mengalami crash karena MemoryError.

Adapun berikut adalah solusi yang diterapkan:

- Menggunakan *garbage collection* (`gc.collect()`) secara manual setelah proses penting.
- Menyederhanakan halaman HTML dan menonaktifkan fitur non-esensial saat penggunaan RAM terlalu tinggi.

### 3. Uji Fungsional

No	Skenario Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Udara bersih (kondisi normal)	Tidak ada alarm, status "NORMAL"	Nilai sensor < threshold
2	Korek gas diarahkan ke sensor	LED & buzzer aktif, status "GAS ALERT"	Respon < 5 detik
3	Telegram bot token salah	Notifikasi gagal dikirim	Diperbaiki pada konfigurasi kredensial
4	Web server error (MemoryError)	Web tidak merespon	Solusi: kurangi kompleksitas HTML
5	Sensor tidak diberi pemanasan awal	Nilai acak, deteksi tidak akurat	Perlu waktu pemanasan minimal 30 detik
6	Koneksi Wi-Fi terputus	Sistem tetap aktif lokal, Telegram gagal	Notifikasi kembali aktif setelah reconnect

### 4. Tantangan dan Solusi

Tantangan	Solusi yang Diterapkan
Token atau chat_id Telegram salah	Verifikasi manual token, gunakan endpoint Telegram API Checker
Crash akibat MemoryError di ESP32	Gunakan <code>gc.collect()</code> secara berkala, minimalkan HTML

<b>Respons tidak stabil tanpa pemanasan sensor</b>	Tambahkan proses warm-up saat inisialisasi
<b>Nilai sensor fluktuatif</b>	Gunakan rata-rata 5 nilai terakhir untuk menstabilkan pembacaan
<b>Web server lambat atau tidak merespons</b>	Kurangi penggunaan print(), simplifikasi string HTML panjang

## 5. Evaluasi Keseluruhan

Secara umum, sistem yang dibangun telah menunjukkan kemampuan deteksi kebocoran gas yang real-time dan responsif, dengan output multi-saluran yang memberikan perlindungan berlapis: LED, buzzer, tampilan LCD, notifikasi Telegram, dan web monitoring.

Beberapa permasalahan teknis yang muncul selama implementasi—seperti keterbatasan memori ESP32, error pada API, dan kebutuhan kalibrasi sensor—berhasil diatasi melalui debugging dan optimalisasi kode. Meski sistem masih dalam skala prototipe, solusi yang diterapkan telah menunjukkan bahwa pendekatan ini layak dikembangkan lebih lanjut untuk diterapkan pada skala rumah tangga atau industri kecil, menengah, hingga besar.

Desain modular dan penggunaan teknologi terbuka juga memudahkan replikasi dan peningkatan fitur, seperti penyimpanan log cloud, deteksi multi-gas dengan sensor tambahan, dan akses web dari luar jaringan lokal.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan evaluasi sistem deteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan, dapat disimpulkan bahwa:

- Sistem berhasil memberikan peringatan dini multi-saluran secara lokal (melalui buzzer, LED, dan LCD) maupun jarak jauh (melalui Telegram dan web server lokal).
- Pengujian menggunakan korek gas sebagai simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi gas dengan respon cepat (<5 detik) dan memberikan peringatan yang konsisten serta dapat diandalkan.
- Evaluasi menunjukkan beberapa kendala teknis seperti keterbatasan memori ESP32, error API Telegram, serta error saat render web server, yang berhasil ditangani melalui debugging, optimalisasi kode, dan penyederhanaan tampilan.



- Penggunaan teknologi ini mendemonstrasikan bagaimana sistem berbasis mikrokontroler dan IoT dapat mengisi celah teknologi dalam hal deteksi kebocoran gas secara real-time yang selama ini sangat bergantung pada respons manusia.

Dari analisis tersebut, nilai pembelajaran utama yang dapat adalah bahwa solusi keselamatan berbasis IoT dapat dibangun dengan komponen sederhana, biaya terjangkau, dan tetap memiliki dampak signifikan terhadap keselamatan lingkungan rumah tangga maupun industri. Laporan ini juga memberikan wawasan teknis terkait tantangan dalam merancang sistem berbasis mikrokontroler, seperti pengelolaan memori terbatas, ketergantungan konektivitas, dan pentingnya kalibrasi sensor.

## VI. REFERENSI

- [1] M. R. Monisha, A. Shifana Nasrin, D. Sneha, and A. Rajesh, "Gas Leakage Detection and Alert System for Industries," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 6, no. 2, pp. –, Feb. 2024.
- [2] E. Broughton, "The Bhopal disaster and its aftermath: a review," *Environmental Health: A Global Access Science Source*, vol. 4, no. 6, 2005, doi: 10.1186/1476-069X-4-6.
- [3] A. C. Putri, I. B. Insani, L. Hasibuan, A. Faried, and J. C. Mose, "Characteristics of liquefied petroleum gas (LPG) related burn injuries in Hasan Sadikin Bandung General Hospital," *Division of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery, Universitas Padjajaran (FK UNPAD)*, Bandung, Indonesia.
- [4] GSMA, "SDG 11: Sustainable Cities and Communities," *GSMA SDG Report 2023*, [Online]. Available: <https://sdgreport2023.gsma.com/sdgs/sdg-11-sustainable-cities-and-communities/>. Accessed: Jun. 24, 2025.
- [5] "IoT technology accelerating progress towards SDG 11 in urban areas," [Online]. Available: <https://sustainabilityonline.net/news/iot-technology-accelerating-progress-towards-sdg-11-in-urban-areas/>. Accessed: Jun. 2025.
- [6] I. N. Maulana, D. L. Rahmah, and H. A. Prabowo, "Alat Pendeteksi Kebocoran Gas dengan Metode Naive Bayes Berbasis Microcontroller," *Jurnal Riset dan Aplikasi Mahasiswa Informatika (JRAMI)*, vol. 5, no. 4, pp. 735–741, 2024.
- [7] A. Kumar, "IoT-enabled Gas Leakage Detection Systems," *HashStudioz Blog*, May 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.hashstudioz.com/blog/iot-enabled-gas-leakage-detection-systems/>. Accessed: Jun. 24, 2025.

## LAMPIRAN

### 1. Code Program

- a. boot.py = code inti program untuk mendeteksi kebocoran gas
- b. crypto.py = code untuk mengamankan data (nilai gas level)
- c. web.py = code untuk nampilin data di web server

Link Source Code :

[https://github.com/alghifrz/IoT-based\\_Gas\\_Leak\\_Detection\\_and\\_Alert\\_System](https://github.com/alghifrz/IoT-based_Gas_Leak_Detection_and_Alert_System)

### 2. Link Youtube Video Demo

[https://youtu.be/wJCddO\\_7rSA](https://youtu.be/wJCddO_7rSA)

### 3. Dokumentasi Prototype

