

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

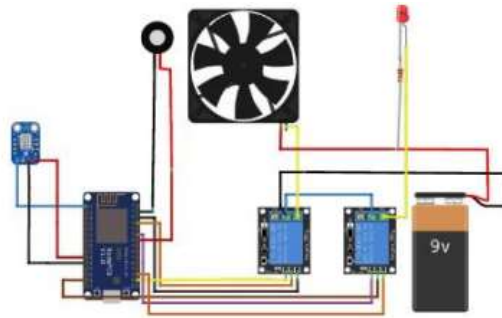
Dalam penelitian terdahulu dapat menjadi acuan untuk mengembangkan alat sistem *monitoring* pendeteksi kebocoran gas LPG dan penanganan dini yang menggunakan metode yang berdeba dalam pengembangannya. Dari penelitian tersebut digunakan sebagai referensi untuk mengembangkan hasil penelitian yang sudah ada. Adapun referensi dari penelitian terdahulu yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.1.1 Perancangan Alat Deteksi Kebocoran Gas Pada Perangkat *Mobile* Android Dengan Sensor MQ-2

Pada tahun 2020 dilakukan penelitian oleh Ajeng Savitri Puspaningrum, Fadli Firdaus, Imam Ahmad, dan Harry Anggono mahasiswa Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia Jl. ZA. Pagar Alam No.9 -11, Labuhan Ratu, Bandar Lampung, Indonesia 35132 membuat sebuah penelitian dengan judul “Perancangan Alat Deteksi Kebocoran Gas Pada Perangkat *Mobile* Android Dengan Sensor MQ-2”. Tujuan peneliti untuk menghasilkan sebuah perancangan alat deteksi kebocoran gas pada perangkat *mobile* android dengan sensor MQ-2 sebagai sensor gas, dan *ethernet shield* sebagai modul pada *microcontroller* untuk menghubungkan arduino dengan jaringan internet. Cara kerja alat ini yaitu, ketika sensor MQ-2 mendeteksi gas LPG maka sensor akan mengirimkan data ke *microcontroller* untuk diberikan respon berupa menyalakan kipas, *buzzer* sebagai alarm, dan alat ini dapat mengirimkan informasi data analog gas ke *smartphone* android menggunakan *platform* Cayenne melalui jaringan internet.

Dari hasil pengujian alat bekerja sesuai dengan *source input* yang dikirimkan oleh sensor yang mendeteksi terjadinya kebocoran gas. Sensor MQ-2 akan mendeteksi ketika terjadi kebocoran gas sehingga data hasil pembacaan sensor diolah oleh *microcontroller* NodeMCU V1.0 dan alat ini menghasilkan *output*

berupa *buzzer* sebagai *alarm*, *fan*, dan tampilan pada *smartphone*. Alat ini juga menggunakan 1 LED yang dihubungkan pada setiap *output* sebagai indikator yang berfungsi untuk mengetahui kondisi komponen yang terpasang.



Gambar 2. 1 Skema Rangkaian

(Sumber: Puspaningrum et al., 2020)

Keterangan Gambar:

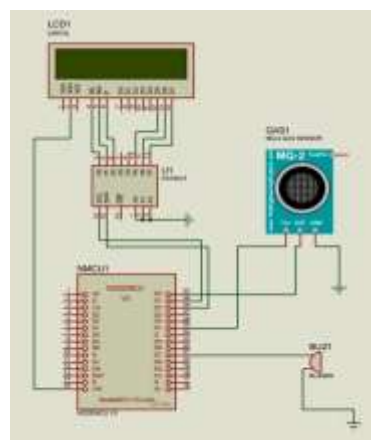
1. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.
2. NodeMCU V1.0 berfungsi sebagai *microcontroller* untuk terhubung ke WiFi dan membuat koneksi TCP/IC.
3. *Buzzer* berfungsi menjadi *alarm* ketika terjadi kebocoran gas.
4. *Relay* berfungsi sebagai saklar untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik.
5. *Fan* berfungsi sebagai penetral suhu ruangan supaya sensor MQ-2 dapat normal kembali.
6. Resistor berfungsi sebagai penghambat dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika.
7. LED berfungsi sebagai indikator kondisi keadaan lingkungan sekitar alat.
8. Baterai berfungsi sebagai sumber daya untuk memberikan daya pada komponen yang digunakan agar alat dan berfungsi dengan baik.

2.1.2 Monitoring Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Pada Rumah Dengan Notifikasi Bot Telegram

Pada tahun 2023 dilakukan penelitian oleh Samuel Tambunan dan Arnisa Stefanie mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas

Singaperbangsa Karawang, Indonesia membuat sebuah penelitian dengan judul “*Monitoring Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Pada Rumah Dengan Notifikasi Bot Telegram*”. Alat pendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 sebagai sensor gas berbasis *microcontroller* NodeMCU ESP8266. Alat ini mengintegrasikan sensor MQ-2 dengan *microcontroller* NodeMCU ESP8266 dan modul komunikasi Wi-Fi untuk mengirimkan data deteksi gas ke *platform* bot Telegram. Bot Telegram diatur untuk menerima data dari alat pendeteksi dan memberikan notifikasi kepada pengguna melalui pesan teks atau pemberitahuan suara. Selain bot Telegram, alat ini juga mempunyai LCD dan *buzzer* sebagai indikator tambahan. Hasil pembacaan sensor akan ditampilkan pada LCD dan *buzzer* akan menjadi *output* dari alat ini. Dimana alat ini terintegrasi langsung dengan notifikasi bot Telegram yang mengirimkan pesan ketika terjadi kebocoran gas LPG.

Hasil dari pengujian sistem *monitoring* kebocoran gas LPG, alat ini bekerja sesuai dengan *source input* yang dikirimkan oleh sensor MQ-2. Dimana sensor MQ-2 mengirimkan sinyal masukan ketika terjadi kebocoran gas LPG dan akan diolah *microcontroller* NodeMCU ESP8266. Sehingga menghasilkan *output* berupa *buzzer* yang akan aktif saat terjadi kebocoran gas LPG, layar display LCD yang menampilkan data secara lokal yang dapat dilihat oleh pengguna sekitar lingkungan, dan notifikasi bot Telegram yang mengirimkan informasi terkait kebocoran gas LPG.



Gambar 2.2 Skema Rangkaian

(Sumber: Tambunan and Stefanie, 2023)

Keterangan Gambar:

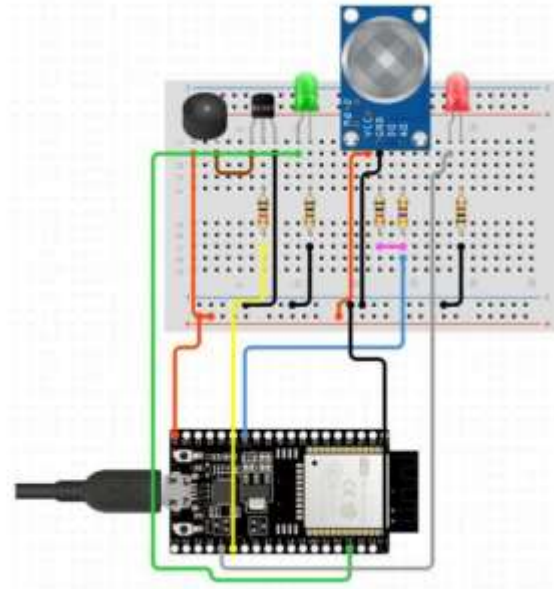
1. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.
2. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor MQ-2 pada tampilan lokal.
3. *Buzzer* berfungsi menjadi alarm ketika terjadi kebocoran gas.
4. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai *microcontroller* dan memiliki kemampuan untuk terhubung ke internet (WiFi).

2.1.3 Aplikasi Peringatan Dini Kebocoran Gas LPG untuk Rumah Tangga dengan Modul NodeMCU ESP32

Pada tahun 2024 dilakukan penelitian oleh Samuel Wilbert Josef Tanumihardja dan Elis Sondang Dasawaty mahasiswa Program Studi Sistem Informasi, Institut Bisnis dan Informatika, Sunter Jakarta 14350, Indonesia membuat sebuah penelitian dengan judul “Aplikasi Peringatan Dini Kebocoran Gas LPG Untuk Rumah Tangga Dengan Modul NodeMCU ESP32”. Implementasi sistem peringatan dini kebocoran *Liquified Petroleum Gas* (LPG) menggunakan modul NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan aplikasi berbasis Android dapat memberikan peringatan dini apabila terjadi kebocoran gas di rumah tangga. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mengembangkan sebuah sistem peringatan dini yang memperingatkan dan menyediakan informasi tentang kebocoran gas LPG di rumah tangga sehingga setiap anggota keluarga mendapatkan informasi dan edukasi yang cepat, akurat, dan terkini mengenai bahaya kebocoran gas LPG, dan dapat mengambil langkah-langkah pertama untuk mengatasi kebocoran gas LPG serta mencegah potensi kebakaran.

Hasil proses pengujian alat dinyatakan bahwa alat ini bekerja sesuai dengan *source input* yang dikirimkan oleh sensor yang mendeteksi adanya kebocoran gas LPG. Sensor MQ-2 akan mengirimkan sinyal *input* apabila mendeteksi adanya kebocoran gas LPG, sehingga *input* yang diberikan akan diolah *microcontroller* ESP32 Devkit V4 dan menghasilkan *output* berupa *buzzer* sebagai peringatan serta 2 LED yang menjadi indikator kondisi lingkungan sekitar gas LPG. LED merah memberikan indikasi bahwa kondisi bahaya, sedangkan LED hijau memberikan

indikasi bahwa kondisi aman. Secara keseluruhan alat ini terintegrasi dengan aplikasi Android yang dapat menampilkan data sensor dan dilengkapi dengan fitur *call center*.



Gambar 2.3 Skema Rangkaian

(Sumber: Dasawati and Tanumihardja, 2024)

Keterangan Gambar:

1. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.
2. *Buzzer* berfungsi menjadi *alarm* ketika terjadi kebocoran gas.
3. LED berfungsi sebagai indikator kondisi keadaan lingkungan sekitar alat.
4. Resistor berfungsi sebagai penghambat dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika.
5. Transistor berfungsi untuk memperkuat arus listrik yang masuk ke dalam rangkaian.
6. ESP32 Devkit V4 berfungsi sebagai *microcontroller* yang dapat digunakan untuk membuat berbagai aplikasi dan proyek berbasis IoT (*Internet of Things*).

2.1.4 Sistem Deteksi Kebocoran Gas Berbasis Arduino Menggunakan Gas

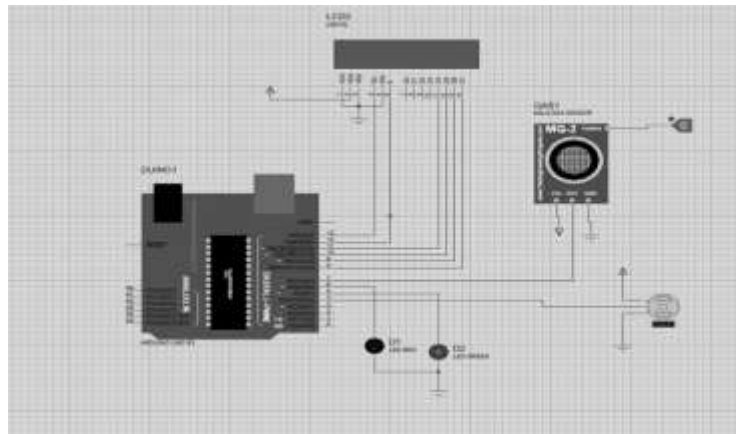
Detector

Pada tahun 2019 dilakukan penelitian oleh Evi Rahmawati dan Fariyatul Aeni Program Studi Teknik Informatika, Universitas Amikom Yogyakarta membuat sebuah penelitian dengan judul “Sistem Deteksi Kebocoran Gas Berbasis Arduino Menggunakan Gas Detector”. Sistem deteksi kebakaran dengan sensor api dan gas ini dapat dikembangkan dengan teknologi dan informasi yang semakin canggih, seperti halnya dapat menggunakan alat *proteus* dan Arduino uno sebagai alarm atau pendeteksi adanya kebakaran disuatu ruangan tersebut, dengan begitu keamanan dan keselamatan akan lebih terjaga. Sistem deteksi akan bekerja ketika dalam suatu ruangan tersebut mengeluarkan gas dan api. Maka dengan otomatis gas dan api akan dideteksi dan ditangkap oleh MQ-2 Gas Sensor dan *flame sensor*. Kemudian komponen MQ-2 Gas Sensor dan *flame sensor* akan memberikan informasi kepada *Chip* Arduino Uno bahwasanya ruangan tersebut terjadi kebakaran dari adanya percikan api dan adanya gas.

Pada sistem ini, *alarm* kebakaran akan berbunyi secara otomatis ketika *Chip* Arduino Uno mendeteksi keberadaan gas dan api secara bersamaan. Sinyal dari kedua sensor ini akan diteruskan ke *speaker*, sehingga *alarm* mengeluarkan bunyi sebagai tanda adanya kebakaran di ruangan. Namun, jika di dalam ruangan hanya terdeteksi gas oleh MQ-2 Gas Sensor dan informasinya disalurkan ke Arduino Uno, sistem tidak akan mengeluarkan bunyi *alarm* karena tidak adanya api yang terdeteksi oleh *flame sensor*. Kondisi sebaliknya juga berlaku, jika hanya api yang terdeteksi oleh *flame sensor* dan disalurkan ke Arduino Uno, *alarm* tidak akan berbunyi karena tidak ada gas yang terdeteksi. Adanya sistem pendeteksi kebakaran yang menggunakan kombinasi sensor gas dan api ini sangatlah membantu dalam meningkatkan keamanan dan keselamatan, bahkan dapat meminimalkan insiden kebakaran.

Sistem pendeteksi kebakaran ini dirancang untuk memberikan informasi berupa bunyi *alarm* dari *speaker*, yang menandakan adanya kebakaran dalam suatu ruangan. *Alarm* ini akan aktif ketika gas terdeteksi oleh MQ-2 *gas sensor* dan api

terdeteksi oleh *flame* sensor secara bersamaan. Arduino Uno berperan sebagai pengendali utama yang menerima data dari kedua sensor tersebut dan memberikan perintah kepada *speaker*. Sistem ini dirancang untuk merespons bahaya secara otomatis, sehingga dapat memberikan peringatan dini untuk mencegah risiko yang lebih besar. Dengan integrasi antara sensor dan mikrokontroler, sistem ini diharapkan dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi adanya kebocoran gas LPG dan kebakaran.



Gambar 2. 4 Skema Rangkaian

(Sumber: Rahmawati and Aeni, 2019)

Keterangan Gambar:

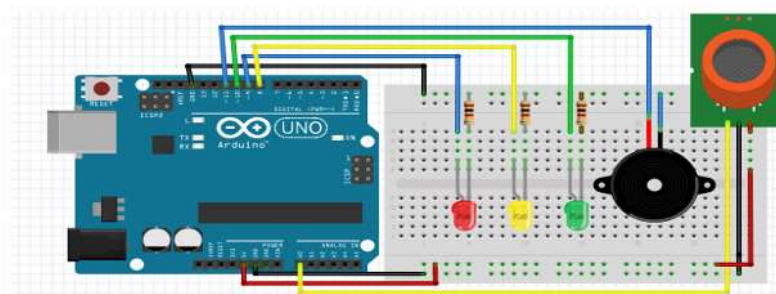
1. Arduino Uno berfungsi sebagai alat untuk memprogram dan mengontrol perangkat elektronik, memungkinkan pengguna untuk merancang dan membangun berbagai sistem elektronik.
2. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor MQ-2 pada tampilan lokal.
3. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.
4. *Buzzer* berfungsi menjadi *alarm* ketika terjadi kebocoran gas.
5. LED berfungsi sebagai indikator kondisi keadaan lingkungan sekitar alat.

2.1.5 Sistem Deteksi Kebocoran Gas Sederhana Berbasis Arduino Uno

Pada tahun 2020 dilakukan penelitian oleh Nurul Hidayat, Samsul Hidayat, Nugroho Adi Pramono, dan Ulfa Nadira Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan

Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang membuat sebuah penelitian dengan judul “Sistem Deteksi Kebocoran Gas Sederhana Berbasis Arduino Uno”. Mekanisme kerja alat pendeteksi kebocoran gas ini, secara prinsip, melibatkan 3 jenis sensor gas dengan tipe yang berbeda sebagai indikator perbandingan tingkat sensitifitas. Pengujian yang dilakukan ada 2 yaitu menggunakan gas korek api dan asap, jenis asap yang digunakan asap rokok dan asap korek api dengan batas waktu 15 detik. Jarak tabung gas dengan alat prototipe diusahakan dekat untuk memudahkan alat mendeteksi gas secara akurat. Sensor gas yang digunakan adalah sensor gas MQ2, MQ3, dan MQ5.

Alat pendeteksi kebocoran gas yang menggunakan nyala lampu LED dan suara *buzzer* sebagai indikator peringatan mampu mendeteksi tingkat kebocoran gas pada konsentrasi di atas 200 a.u. (*unit arbitrer*). Perbedaan kadar gas juga dapat diidentifikasi melalui respons bunyi *buzzer* dan nyala lampu LED saat menggunakan sensor gas MQ2 dan MQ5. Namun, hal ini tidak berlaku pada sensor MQ3, yang tidak menunjukkan nyala lampu pada LED maupun bunyi pada *buzzer*. Ini karena sensitivitas sensor MQ3 ditujukan pada alkohol, etanol, dan asap. Oleh sebab itu, pada pengujian asap menggunakan asap rokok dan obat nyamuk, sensor MQ3 menunjukkan nilai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensor MQ2 dan MQ5. Jika dibandingkan, sensor gas MQ2 paling efektif untuk detektor kebocoran gas.



Gambar 2. 5 Skema Rangkaian

(Sumber: Hidayat et al., 2020)

Keterangan Gambar:

1. Arduino Uno berfungsi sebagai alat untuk memprogram dan mengontrol perangkat elektronik, memungkinkan pengguna untuk merancang dan

membangun berbagai sistem elektronik.

2. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor MQ-2 pada tampilan lokal.
3. Sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.
4. *Buzzer* berfungsi menjadi *alarm* ketika terjadi kebocoran gas.
5. LED berfungsi sebagai indikator kondisi keadaan lingkungan sekitar alat.

2.1.6 Perbandingan Alat Peneliti dengan Penelitian Terdahulu

Sebagai acuan utama dalam pengembangan sistem, penelitian ini secara mendalam menganalisis berbagai metode yang telah berhasil diterapkan dalam penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan deteksi kebocoran gas LPG. Hasil-hasil dari penelitian terdahulu tersebut tidak hanya memberikan gambaran umum mengenai pendekatan yang telah digunakan, tetapi juga menjadi landasan penting untuk mengidentifikasi kelebihan, kekurangan, serta celah inovasi yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Dengan mempertimbangkan temuan dari studi sebelumnya, penulis merancang sistem monitoring dan penanganan dini yang bertujuan untuk menjadi lebih canggih, responsif, dan efektif dalam mendeteksi potensi kebocoran gas secara *real-time*. Oleh karena itu, berdasarkan penjelasan dari lima penelitian terdahulu yang telah dijabarkan sebelumnya, berikut ini disajikan perbandingan antara perancangan alat yang dilakukan oleh penulis dengan sistem yang telah dirancang dalam lima penelitian tersebut, baik dari segi teknologi yang digunakan, metode pendeteksian, maupun fitur tambahan yang diterapkan.

Dengan demikian, analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memperkuat perancangan sistem yang diusulkan oleh penulis. Melalui evaluasi menyeluruh terhadap kekuatan dan keterbatasan dari beberapa sistem terdahulu, penulis merumuskan strategi pengembangan yang lebih terarah serta inovatif. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan sistem deteksi kebocoran gas, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam hal efisiensi, skalabilitas, dan integrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang semakin berkembang pesat.

Tabel 2. 1 Perbedaan Perancangan Alat Milik Penulis dengan Penelitian Terdahulu

No.	Komponen	Penelitian Sebelumnya	Alat Milik Penulis
1.	Kontroler	NodeMCU ESP8266 ESP 32 DevKit V4 Arduino UNO	ESP32 DevKit V1
2.	Sensor	Sensor MQ-2	Sensor MQ-5 <i>Sensor Flame Detector</i> KY-026
3.	<i>Input</i> Tegangan	9 Volt	5 Volt
4.	<i>Output</i>	LCD <i>Buzzer</i> LED <i>Fan</i>	OLED <i>Buzzer</i> Motor Servo
5.	Monitoring	LCD <i>Website</i>	OLED <i>Website</i>
6.	Kabel Konektor	Kabel USB Micro-B	Kabel USB Micro-B
7.	Coding Program	Berbeda	Berbeda
8.	Pengaplikasian	<i>Prototype</i>	<i>Prototype</i>
9.	Bahasa Pemrograman	Bahasa C++ Java Node.js Objective-C Python Swift	C++ JavaScript PHP HTML CSS
10.	Pengembangan Apilikasi	<i>Firebase</i>	<i>Framework</i> Laravel
11.	Komunikasi Data	-	API

2.2 Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

Menurut Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 12 Januari 2011. Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) merupakan gas bumi yang dicairkan dengan komponen utama propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Menurut jenisnya, LPG dikelompokkan menjadi LPG Propana, LPG butana dan, LPG campuran (*mix*) yang merupakan campuran dari kedua jenis LPG tersebut. LPG dapat dari penyulingan minyak mentah atau dari kondensasi gas bumi dalam kilang pengolahan gas bumi. Gas LPG mengalami perubahan bentuk cair akibat adanya penurunan suhu dan peningkatan tekanan, meskipun biasanya berbentuk gas pada kondisi atmosfer. Oleh sebab itu, mereka dikenal sebagai LPG atau gas minyak cair (Prasetyo and Paramytha, 2023).

Salah satu risiko penggunaan LPG adalah terjadinya kebocoran pada tabung atau instalasi gas, sehingga bila terkena api dapat menyebabkan kebakaran yang membahayakan jiwa dan harta benda. Gas kebocoran sering kali sulit terdeteksi secara visual karena gas LPG bersifat tidak berwarna. Pada awalnya, gas LPG juga tidak berbau, sehingga bila terjadi kebocoran, sangat sulit bagi pengguna untuk menyadarinya, terutama jika kebocoran terjadi di area tertutup atau saat malam hari ketika aktivitas pengawasan berkurang. Menyadari potensi bahaya ini, Pertamina sebagai penyedia LPG di Indonesia mengambil langkah pencegahan dengan menambahkan zat aditif berupa gas merkaptan ke dalam LPG. Merkaptan gas memiliki bau khas yang menyengat dan mudah dikenali, bahkan dalam konsentrasi rendah, sehingga sangat efektif membantu masyarakat dalam mendeteksi kebocoran gas lebih dini. Dengan penambahan merkaptan ini, diharapkan risiko kebakaran akibat kebocoran LPG dapat diminimalkan, dan pengguna dapat segera mengambil tindakan pencegahan seperti mematikan sumber api, membuka ventilasi, atau memanggil petugas terkait jika mencium bau gas yang mencurigakan (Eko Soemarsono, Listiasri and Candra Kusuma, 2015).

Gas LPG digunakan secara luas sebagai bahan dosmetik, komersial, dan industri. Dirumah tangga, gas LPG digunakan untuk memasak, pemanasan air, dan pemanasan ruangan. Di sektor komersil, gas LPG digunakan dalam restoran, hotel, dan industri makanan. Di industri, gas LPG digunakan sebagai bahan bakar dalam

proses pemanasan, pengeringan, dan pengolahan (Tambunan and Stefanie, 2023). Menurut Riset Yuli Nurhanisah, 13 Maret 2023, Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat, mayoritas atau 82.78% rumah tangga Indonesia menggunakan bahan bakar gas LPG untuk memasak pada 2021. Presentasi itu menjadi yang terbesar jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar lainnya seperti kayu bakar, minyak tanah, dan listrik.

2.2.1 Pengukuran Konsentrasi Kadar Gas

Untuk mengukur konsentrasi dari suatu gas, dapat menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut (Jespersen, Brady and Hyslop, 2011).

$$ppm = \frac{\text{grams of component}}{\text{grams of sample}} \times 10^6 \text{ ppm} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana,

ppm = *part per million*

grams of component = massa gas komponen (g)

grams of sample = massa gas sampel (g)

Grams of Component merupakan massa dari jenis gas yang ingin diukur, dalam hal ini *Liquified Petroleum Gas* (LPG). Massa gas tersebut dibagi dengan massa total gas dalam ruang, lalu dikalikan 10^6 untuk menghasilkan konsentrasi dalam satuan *part per Million* (ppm). Satuan ppm umum digunakan untuk mengukur kualitas udara dan sangat penting dalam mendeteksi kebocoran gas. Pemantauan kadar gas dalam ppm membantu mencegah risiko kebakaran atau ledakan akibat kebocoran LPG. Nilai ambang batas ppm biasanya telah ditentukan berdasarkan standar keselamatan tertentu untuk memastikan kondisi tetap aman bagi lingkungan dan manusia (Dasawati and Tanumihardja, 2024).

2.2.2 Penentuan Ambang Batas Ledakan Gas LPG

Menurut *Material Safety Data Sheet* oleh PT Pertamina (Pasero), 1 Mei 2007. Diketahui komposisi gas LPG yang beredar untuk pasar domestik ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Komposisi Liquefied Petroleum Gas

Jenis Gas	Kandungan
Etana (C_2H_6)	$\leq 0.2\%$
Propana (C_3H_8)	$\geq 97.5\%$
Jenis Gas	Kandungan
Iso-butana (C_4H_{10})	$\leq 0.1\%$
n-butana (C_4H_{10})	$\leq 0.1\%$
Pentana (C_5H_{12})	$\leq 0.1\%$
Etil Merkaptan (C_2H_6S)	50 ml/100 AG min.

(Sumber : *Material Safety Data Sheet* PT Pertamina (Pasero), 2007)

Menurut *Projectmaterials team* 20 September 2017, berbagai jenis senyawa gas memiliki tingkat ledakan yang berbeda-beda, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ambang Batas Ledakan Gas

Jenis Gas	Ambang Ledakan (% Volume)	
	Bawah	Atas
Propana (C_3H_8)	2,1	9,5
Etana (C_2H_6)	3	12,5

Nilai ambang batas ledakan untuk gas LPG dihitung berdasarkan rasio komposisi gas yang didapatkan dari *Material Safety Data Sheet* oleh PT Pertamina (Pasero), 1 Mei 2007. Berdasarkan nilai ambang batas yang telah diuraikan pada Tabel 2.4, maka penentuan ambang batas ledakan gas LPG dapat dilihat di Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Penentuan Ambang Batas Ledakan Gas LPG

Jenis Gas	Ambang Batas Ledakan					
	Bawah			Atas		
	%	ppm	2% ABB (ppm)	%	ppm	2% ABA (ppm)
Propana (C_3H_8)	2,1	21.000	420	9,5	95.000	1.900
Etana (C_2H_6)	3	30.000	600	12,5	125.000	2.500
LPG (97% Propana + 0,2% Etana)	2,04	20.430	408,6	9,24	92.400	1.848

Penentuan tersebut dilakukan dengan menghitung persen ambang batas bawah dan ambang batas ledakan gas untuk setiap jenis gas, kemudian dihitung berdasarkan rasio jenis gas campuran pada gas LPG. Persen Volume tersebut kemudian dikalikan dengan 1.000.000 untuk mendapatkan nilai ppm dari ambang batas ledakan. Hasil perhitungan tersebut merupakan nilai 100% dari ambang batas ledakan. Dalam sistem peringatan dan penanganan dilakukan sedini mungkin sebelum mencapai nilai 100% dari ambang ledakan. Oleh karena itu diambil 2% dari 100% ambang batas sebagai standar untuk penetapan status bahaya ledakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Kategori Bahaya Ledakan

Rentang Konsentrasi Gas (ppm)	Kategori
0-407	Normal
408-1.848	Bahaya

2.3 Segitiga Api

Kebakaran adalah insiden serius yang berpotensi menimbulkan kerugian besar, baik material maupun nyawa. Oleh karena itu, tindakan pencegahan sangat krusial untuk menghindari terjadinya kebakaran atau setidaknya meminimalkan dampak yang ditimbulkannya. Secara sederhana, kebakaran dapat didefinisikan sebagai peristiwa terbakarnya suatu objek, seperti rumah atau hutan. Kebakaran bisa terjadi di berbagai lokasi, termasuk area permukiman, perkantoran, jalan raya, pusat

perbelanjaan, hutan, laut, kebun, hingga lahan pertanian. Terjadinya kebakaran selalu melibatkan tiga elemen utama yang dikenal sebagai "segitiga api," yaitu panas, bahan bakar, dan oksigen. Jika salah satu dari ketiga elemen ini tidak ada, api tidak akan dapat terbentuk atau menyala. Sebagai ilustrasi, *Greenpeace.org* pernah melaporkan kasus kebakaran hutan yang menghasilkan asap tebal akibat proses pembakaran vegetasi (Waworundeng, 2020).

Memahami prinsip dasar terbentuknya api sangatlah penting untuk menyadari potensi bahaya kebakaran. Api sendiri adalah reaksi kimia cepat (oksidasi) yang memerlukan tiga elemen utama yaitu, panas, udara (oksigen), dan bahan bakar. Reaksi ini menghasilkan panas dan cahaya. Kebakaran terjadi ketika api tidak terkendali dan terus-menerus menghasilkan panas. Dapat dikatakan, kebakaran adalah api yang berada di luar kontrol dan keinginan manusia. Untuk mengklasifikasikan api sebagai kebakaran, ada kondisi atau persyaratan khusus. Api baru disebut kebakaran apabila terjadi pada situasi, waktu, dan lokasi yang tidak diinginkan (*unintended*). Karena terjadi pada kondisi yang tidak dikehendaki, api menjadi liar dan tidak terkendali (*uncontrollable*), sehingga sulit untuk diatasi. Api yang besar, liar, dan tidak terkendali pada akhirnya akan menimbulkan kerugian atau kerusakan (*damageable*). Teori Segitiga Api adalah teori yang paling dikenal dalam menjelaskan terjadinya api. Teori ini menyatakan bahwa api hanya bisa muncul jika ada tiga komponen dasar yaitu, bahan bakar (*fuel*), oksigen, dan sumber panas. Untuk gambaran segitiga api dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Seni *et al.*, 2023).



Gambar 2.6 Segitiga Api

(Sumber: Seni *et al.*, 2023)

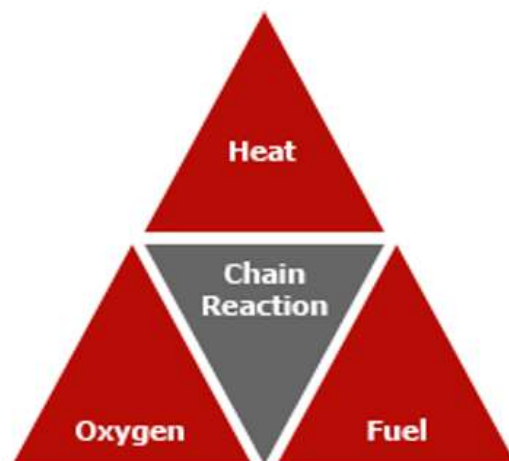
Segitiga api terdiri dari oksigen, bahan yang dapat terbakar (bahan bakar), dan peningkatan suhu (panas). Jika ketiga unsur ini tidak segera ditangani, kebakaran serius dapat terjadi. Api tidak muncul begitu saja, melainkan melalui proses kimiawi antara uap bahan bakar, panas, dan oksigen, yang dikenal sebagai teori segitiga api (*fire triangle*). Berikut adalah penjelasan singkat mengenai penyebab kebakaran (Ambar Winarti *et al.*, 2022):

1. Bahan bakar adalah zat apa pun yang dapat terbakar. Ini bisa berbentuk padat, cair, atau gas. Agar terbakar, bahan bakar harus berada dalam bentuk uap dan bercampur dengan oksigen di udara.
2. Oksigen adalah unsur penting yang mutlak diperlukan untuk terjadinya pembakaran. Sama seperti untuk makhluk hidup, kendaraan bermotor, atau industri, oksigen juga esensial bagi api. Sumber oksigen utama berasal dari udara, dan setidaknya dibutuhkan sekitar 15% volume oksigen dalam udara agar api bisa menyala.
3. Sumber panas dibutuhkan untuk mencapai suhu penyalan sehingga proses pembakaran dapat berlangsung. Berbagai hal bisa menjadi sumber panas, antara lain panas matahari, permukaan benda yang panas, nyala api terbuka, gesekan, reaksi kimia eksotermis (yang menghasilkan panas), energi listrik, dan percikan api.

Selain tiga elemen yang disebutkan sebelumnya, ada juga rantai reaksi kimia antara bahan bakar dan bahan pengoksidasi (oksidator). Saat api menyala, molekul bahan bakar akan berkurang dan berubah menjadi molekul yang lebih sederhana. Seiring berlanjutnya proses pembakaran, suhu akan naik, yang menyebabkan oksigen tambahan terserap ke area nyala api. Hal ini memicu lebih banyak molekul bahan bakar untuk terpecah dan bergabung ke dalam rantai reaksi, sehingga proses pembakaran terus berlangsung.

Proses rantai reaksi ini akan berlanjut terus sampai seluruh bahan yang terlibat mencapai area yang lebih dingin di nyala api. Selama bahan bakar dan oksigen tersedia dalam jumlah yang cukup, dan selama suhu mendukung, reaksi berantai ini akan terus meningkatkan proses pembakaran. Oleh karena itu, dengan adanya faktor rantai reaksi kimia yang juga termasuk komponen penting dalam

pembakaran, konsep segitiga api berkembang menjadi bangunan tiga dimensi yang dikenal sebagai piramida api (*The Fire Tetrahedron*). Penjelasan tentang *tetrahedron* api dapat dilihat pada gambar 2.7 (Rhapyalyani Herno Della, ST., M.Eng. *et al.*, 2022).



Gambar 2. 7 *Tetrahedron* Api

(Sumber: Rhapyalyani Herno Della, ST., M.Eng. *et al.*, 2022)

Kebakaran didefinisikan sebagai proses kimiawi yang terjadi antara uap bahan bakar dengan oksigen, dibantu oleh panas. Ketiga elemen ini bahan yang mudah terbakar (*fuel*), oksigen, dan sumber energi atau panas harus tersedia agar kebakaran bisa terjadi. Jika terjadi, kebakaran berpotensi menimbulkan kerugian besar, baik pada harta benda maupun nyawa. Kebakaran muncul karena adanya api yang menyala sebagai reaksi dari proses berantai antara bahan-bahan yang mudah terbakar, oksigen, dan panas.

Secara umum, penyebab kebakaran dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu faktor manusia dan faktor teknis. Faktor manusia mencakup kebiasaan yang berisiko, seperti merokok sembarangan, bahkan saat berdekatan dengan bahan yang mudah terbakar. Selain itu, penggunaan instalasi listrik yang tidak sesuai standar juga merupakan penyebab signifikan, misalnya menyambung kabel listrik dengan cara yang salah atau mengganti sekering dengan kawat. Sementara itu, faktor teknis meliputi kondisi peralatan atau sistem yang tidak layak. Contohnya adalah instalasi listrik yang sudah tidak memenuhi standar keamanan, kebocoran gas LPG, kompor

yang tidak layak pakai, serta penempatan bahan yang mudah terbakar terlalu dekat dengan sumber panas atau api (Dewi Murniati, 2022).

Klasifikasi kebakaran adalah pembagian kebakaran yang didasarkan pada jenis benda atau bahan yang terbakar. Pembagian ini penting agar proses penentuan media pemadaman yang tepat dapat dilakukan dengan lebih mudah dan cepat. Menurut Permenaker No. Per.04/Men/1980, klasifikasi kebakaran dibagi menjadi beberapa jenis. Salah satunya adalah Kebakaran Kelas A, yaitu kebakaran yang terjadi pada bahan padat non-logam yang umumnya tidak terbakar secara spontan. Kebakaran ini biasanya dipicu oleh panas dari luar, yang mengubah molekul-molekul bahan padat menjadi gas sehingga dapat terbakar. Contoh bahan yang termasuk dalam kelas ini adalah kayu, kertas, kain, plastik, arang, dan karet, di mana bahan-bahan ini bersifat padat, tidak mengalir, dan dapat menyimpan panas dalam bentuk bara. Untuk memadamkan kebakaran Kelas A, *dry chemical* (bahan kimia kering) merupakan media pemadam yang sesuai.

Kelas B merujuk pada kebakaran yang melibatkan benda cair atau gas. Bahan-bahan ini tidak terbakar dengan sendirinya, tetapi akan memicu kebakaran jika terkena panas atau api. Karena sifat cairan yang mudah mengalir dan dapat menyebarkan api ke area lain, contoh bahan bakar di kelas ini termasuk minyak tanah, solar, dan bensin. Untuk memadamkan kebakaran bahan cair, *foam* atau busa biasanya digunakan. Sementara itu, untuk kebakaran bahan gas, *dry chemical* (tepung kimia kering) atau APAR CO₂ merupakan pilihan yang sesuai. Selanjutnya, Kelas C adalah kebakaran yang terjadi pada peralatan listrik bertegangan. Kebakaran jenis ini umumnya disebabkan oleh korsleting listrik yang menghasilkan percikan api dan membakar benda-benda di sekitarnya. Media pemadam yang efektif untuk kebakaran Kelas C adalah *dry chemical*, APAR CO₂, atau APAR HCFC.

Kelas D adalah jenis kebakaran yang melibatkan bahan logam seperti magnesium, titanium, aluminium, dan kalium. Kebakaran jenis ini sangat berbahaya karena memerlukan pemanasan awal dengan suhu tinggi untuk memicu pembakaran. Oleh karena itu, penanganannya membutuhkan alat pemadam khusus seperti APAR *sodium chloride dry powder*. Penting untuk dicatat bahwa air dan

APAR berbahan dasar air tidak boleh digunakan pada kebakaran Kelas D, karena dapat memicu reaksi ledakan pada logam tertentu. Dengan memahami klasifikasi kebakaran ini, diharapkan upaya penanganan dan pencegahan kebakaran dapat dilakukan dengan lebih efektif, disesuaikan dengan jenis sumber yang terbakar.

Api dapat memiliki beragam bentuk, yang bergantung pada kondisi lingkungan dan jenis bahan bakar yang terlibat. Menurut *Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical, and Hydrocarbon Processing Facilities*, ada beberapa bentuk kebakaran yang dapat terjadi. Salah satunya adalah api kilat (*flash fire*). Ini adalah api yang tiba-tiba menyala seperti kilat, dan durasinya sangat singkat, biasanya hanya sekitar 0,5 detik. Api kilat terjadi ketika uap bahan bakar bocor dan menguap dari sumbernya, kemudian bereaksi dengan oksigen hingga mencapai titik nyala. Jenis api ini sangat berbahaya karena kemampuannya membakar orang atau benda di sekitarnya dalam waktu yang sangat singkat.

Bentuk kebakaran selanjutnya adalah kolam api (*pool fire*). Ini terjadi ketika bahan bakar cair, minyak, atau cairan kimia tumpah dan menggenang di suatu area atau dalam wadah terbuka seperti tangki penyimpanan. Saat bahan tersebut terbakar di tempat terbuka, api akan menyebar sesuai dengan luas dan jumlah bahan yang tumpah. Ukuran dan intensitas kolam api ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jumlah bahan yang terbakar, sifat kimia dan fisik bahan tersebut, serta kondisi lingkungan seperti hembusan angin dan suhu udara.

Terakhir, ada api jet (*jet fire*), yaitu jenis nyala api yang timbul akibat kebocoran bahan bakar gas bertekanan tinggi dari lubang kecil, misalnya pada pipa atau peralatan produksi lainnya. Kebocoran ini menciptakan semburan api yang sangat kuat dan menyebar seperti semburan obor. Api jet biasanya disertai suara desis yang tinggi dan mampu menghasilkan energi panas yang sangat besar, membuatnya sangat berbahaya jika tidak segera ditangani (Rhapyalyani Herno Della, ST., M.Eng. *et al.*, 2022).

2.4 Internet of Things (IoT)

Untuk memahami *Internet of Things* (IoT), terdapat dua konsep dasarnya. Pertama, internet adalah jaringan global yang menghubungkan berbagai perangkat

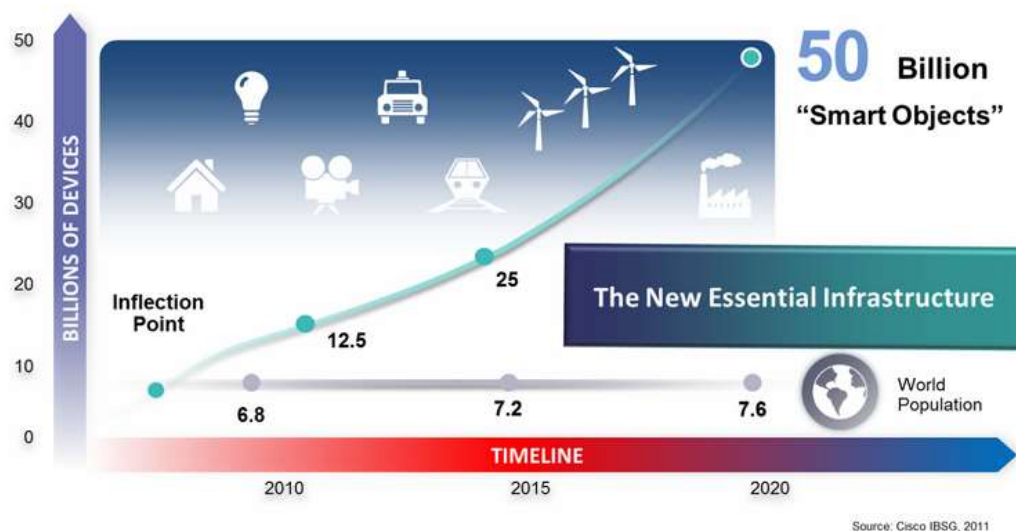
seperti *server*, komputer, tablet, dan ponsel. Jaringan ini diatur oleh standar protokol untuk memastikan semua sistem saling terhubung dengan baik. Internet memungkinkan kita untuk mengirim, menerima, dan bertukar informasi, serta terhubung dengan *server* jarak jauh, *cloud*, dan *platform* analitik. Kedua, kata "*thing*" dalam bahasa Inggris punya banyak arti. Dalam kamus, "*thing*" bisa merujuk pada objek fisik, tindakan, ide, situasi, atau aktivitas, tergantung konteksnya. Misalnya, payung adalah "*thing*" yang berguna saat hujan, begitu juga lampu jalan bisa disebut sebagai "*thing*." Dengan menggabungkan kedua istilah ini, *Internet of Things* (IoT) dapat didefinisikan. IoT mengacu pada jaringan objek fisik yang dapat mengirim, menerima, atau berkomunikasi melalui internet atau teknologi komunikasi lainnya. Objek-objek ini biasanya dilengkapi dengan perangkat elektronik, sensor, dan konektivitas layaknya komputer, tablet, atau ponsel. Hal ini memungkinkan pemantauan, koordinasi, atau pengendalian proses melalui internet atau jaringan data lainnya. Definisi lain yang lebih sederhana menyatakan bahwa IoT adalah sebuah konsep yang memungkinkan suatu objek, baik fisik maupun non-fisik, untuk terhubung ke internet dan saling berkomunikasi guna menjalankan fungsi tertentu. Lebih lanjut, *European Research Cluster on the Internet of Things* (IERC) mendefinisikan IoT sebagai "Sebuah jaringan infrastruktur global yang memiliki kemampuan konfigurasi mandiri berdasarkan standar dan protokol komunikasi yang dapat saling beroperasi. Di dalamnya, objek fisik maupun virtual memiliki identitas, atribut fisik, dan identitas virtual, serta menggunakan antarmuka cerdas dan dapat terintegrasi ke dalam jaringan informasi dengan mudah (Erwin *et al.*, 2023).



Gambar 2. 8 Penerapan *Internet of Things* (IoT)

(Sumber: Erwin *et al.*, 2023)

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) tak lepas dari peningkatan jumlah perangkat yang terhubung ke internet, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kevin Ashton diakui sebagai orang pertama yang memperkenalkan istilah "*Internet of Things*" (IoT) dalam sebuah presentasi pada tahun 1999 yang membahas manajemen rantai pasokan. Pandangan Ashton tentang peran "benda" dalam interaksi kita dengan dunia fisik mendorong pemikiran ulang yang serius, terutama seiring dengan kemajuan komputasi, internet, dan kecepatan data yang dihasilkan perangkat pintar. Pada waktu itu, Ashton menjabat sebagai direktur eksekutif di *Auto-ID Center MIT*, di mana ia berperan dalam memperluas aplikasi *Radio Frequency Identification* (RFID) ke berbagai bidang, yang kemudian menjadi fondasi bagi visi IoT saat ini (Vermesan *et al.*, 2014).



Gambar 2. 9 Jumlah Perangkat Yang Terhubung Ke Internet Dari Tahun Ke Tahun

(Sumber: Vermesan *et al.*, 2014)

Sejak awal kemunculannya, berbagai definisi IoT telah diusulkan. Awalnya, fokus utama definisi seringkali hanya pada persyaratan konektivitas dan sensorik untuk kelompok dalam lingkungan IoT. Meskipun kebutuhan dasar ini penting, definisi terbaru lebih menyoroti nilai tambah yang diberikan IoT melalui jaringan objek yang tersebar luas, serta identifikasi otomatis dan integrasi layanan yang kini menjadi tak terhindarkan. Selain itu, istilah lain seperti *Internet of Everything* (IoE) digunakan oleh Cisco untuk menggambarkan konektivitas yang mencakup orang,

benda, dan tempat, yang semuanya dapat menyediakan layanan kepada kelompok lain. Sementara itu, Industrial IoT (IIoT), atau dikenal juga sebagai Internet Industri, merupakan bentuk aplikasi IoT yang sangat diminati oleh perusahaan teknologi tinggi. Kemampuan mesin dalam menjalankan tugas seperti pengumpulan data, komunikasi, analisis *Big Data*, dan teknik pembelajaran mesin menjadi pendorong utama adopsi IIoT. Karakteristik lain yang ditekankan dalam definisi IoT terbaru adalah "kecerdasan," yang membedakannya dari konsep serupa seperti jaringan sensor. "Kecerdasan objek" dan "kecerdasan jaringan" merupakan kategori yang lebih spesifik. Jaringan pintar memerlukan standarisasi dan keterbukaan dalam komunikasi, mulai dari tingkat fisik hingga lapisan antar-*node* dan dengan internet. Ini termasuk kemampuan untuk memberikan alamat langsung (alamat IP) kepada objek dan mendukung multifungsi, di mana jaringan yang dibangun untuk satu tujuan dapat dimanfaatkan untuk tujuan lain (Vermesan *et al.*, 2014).

2.5 *Microcontroller*

Microcontroller adalah sebuah komputer kecil atau "komputer bertujuan khusus" yang terintegrasi dalam satu *chip* IC (*Integrated Circuit*). Di dalamnya sudah terdapat berbagai komponen penting seperti CPU (*Central Processing Unit*), memori, *timer*, saluran komunikasi serial dan paralel, *port input/output*, serta ADC (*Analog-to-Digital Converter*). *Microcontroller* dirancang untuk menjalankan satu tugas spesifik dan menjalankan suatu program. Karena seluruh atau sebagian besar elemen sistem komputernya dikemas dalam satu chip IC, *microcontroller* sering disebut sebagai *single-chip microcomputer*. Berbeda dengan PC (*Personal Computer*) yang memiliki beragam fungsi, mikrokontroler adalah sistem komputer dengan satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Perbedaan signifikan lainnya terletak pada perbandingan RAM dan ROM yang sangat berbeda antara komputer dan *microcontroller* (Suhaeb *et al.*, 2017).

Microcontroller adalah teknologi yang menggabungkan mikroprosesor dan mikrokomputer dalam bentuk semikonduktor. Meskipun mengandung banyak transistor, perangkat ini hanya membutuhkan ruang yang sangat kecil.

Microcontroller dirancang sebagai sistem komputer yang memiliki satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berbeda dengan PC (*Personal Computer*) yang memiliki beragam fungsi. Prinsip kerja mikrokontroler adalah sebagai berikut (Garonga, 2019):

1. Pengambilan dan Eksekusi Instruksi: *Microcontroller* memulai siklus kerjanya dengan mengambil data dari ROM (memori program) berdasarkan alamat yang ditunjukkan oleh register *program counter*. Setelah itu, nilai *program counter* akan otomatis bertambah satu (*increment*), dan *microcontroller* akan memproses keluaran secara otomatis. Data yang diambil ini adalah urutan instruksi program yang sebelumnya telah dibuat oleh pengguna. Instruksi tersebut kemudian diolah dan dijalankan. Proses pengerjaannya bervariasi tergantung jenis instruksinya, bisa berupa membaca atau mengubah nilai pada *register*, RAM, isi *port*, atau melakukan pembacaan data yang kemudian dilanjutkan dengan mengubahnya.
2. Siklus Berulang, *program counter* yang nilainya sudah berubah (baik karena penambahan otomatis seperti pada poin satu, atau karena perubahan lain) akan memicu *microcontroller* untuk mengulang kembali siklus ini pada langkah pertama. Proses ini akan terus berlanjut hingga daya dimatikan. Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa kinerja *microcontroller* sangat bergantung pada urutan instruksi yang dijalanannya, yaitu program yang tersimpan di ROM.



Gambar 2.10 *Microcontroller*

(Sumber: Suhaeb et al., 2017)

2.5.1 *Microcontroller ESP32*

Microcontroller ESP32 adalah sebuah SoC (*System on Chip*) terintegrasi yang dilengkapi dengan fitur WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, serta berbagai *peripheral* lainnya. Sebagai *chip* yang lengkap, ESP32 memiliki prosesor, penyimpanan, dan akses ke GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 dapat digunakan sebagai pengganti Arduino dan memiliki kemampuan untuk terhubung langsung ke Wi-Fi. Adapun spesifikasi dari ESP32, *board* ini tersedia dalam dua versi, 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama, namun versi 30 GPIO sering dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin pada *board* ini diberi label di bagian atas untuk memudahkan identifikasi. *Board* ini juga dilengkapi dengan *interface* USB to UART yang membuatnya mudah diprogram menggunakan lingkungan pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya *board* bisa diberikan melalui konektor micro USB (Garonga, 2019).

2.5.2 *Board ESP32 DevKit*

Espressif Systems telah merilis beberapa model *board* ESP32 untuk mendukung pengembang proyek elektronika berbasis *Internet of Things* (IoT). Salah satu model yang dikeluarkan adalah ESP32 *Development Kit* atau yang dikenal juga sebagai ESP32 DEVKIT V1. ESP32 DEVKIT V1 dilengkapi dengan berbagai fitur dasar yang memungkinkan pengembangan aplikasi IoT yang efisien. Fitur-fitur tersebut meliputi modul Wi-Fi dan *Bluetooth* bawaan, serta sejumlah pin GPIO (*General Purpose Input Output*). Pin-pin ini dapat digunakan untuk beragam keperluan, seperti *input/output* digital, PWM (*Pulse Width Modulation*), ADC (*Analog-to-Digital Converter*), serta komunikasi serial seperti UART, SPI, dan I2C. Selain itu, *board* ini juga dilengkapi dengan *port micro* USB untuk pemrograman dan penyediaan daya, serta *chip* USB to *Serial converter* yang memudahkan koneksi dengan komputer selama proses pemrograman. Seluruh fitur ini menjadikan ESP32 DEVKIT V1 pilihan populer di kalangan pengembang elektronika. Bentuk fisik Board ESP32 DEVKIT V1 dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Yusro *et al.*, 2021):

1. Jumlah Pin: *Board* ini memiliki 30 pin, meliputi pin tegangan dan GPIO

(*General Purpose Input Output*). Pin-pin ini dapat diprogram sebagai *input* atau *output* untuk berinteraksi dengan berbagai perangkat eksternal seperti sensor, LED, motor, dan lainnya, serta menyediakan pin daya (3.3V, GND). 5 pin ADC (*Analog to Digital Converter*), digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor atau perangkat lain dan mengubahnya menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh ESP32. Contohnya, membaca nilai dari sensor suhu analog atau potensiometer.

2. 5 Pin ADC (*Analog to Digital Converter*): Pin ini berfungsi untuk membaca sinyal analog dari sensor atau perangkat lain, kemudian mengubahnya menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh ESP32. Sebagai contoh, fitur ini bisa digunakan untuk membaca nilai dari sensor suhu analog atau potensiometer.
- SPI Interface: SPI (*Serial Peripheral Interface*) digunakan untuk komunikasi kecepatan tinggi antara ESP32 dan perangkat *periferal* seperti layar OLED, sensor, atau modul memori eksternal. Terdiri dari pin MOSI, MISO, SCK, dan CS.
3. 3 UART Interface: UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) adalah antarmuka komunikasi serial yang memungkinkan ESP32 berkomunikasi dengan perangkat lain seperti komputer, GPS, atau modul komunikasi lainnya menggunakan protokol serial (TX dan RX). 16 pin PWM (*Pulse Width Modulation*), pin ini digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM yang berguna untuk mengontrol kecepatan motor DC, intensitas LED, atau aplikasi lainnya yang memerlukan kontrol analog semu menggunakan sinyal digital.
4. 3 SPI Interface: SPI (*Serial Peripheral Interface*) digunakan untuk komunikasi kecepatan tinggi antara ESP32 dan perangkat *periferal* seperti layar OLED, sensor, atau modul memori eksternal. Antarmuka ini terdiri dari pin MOSI, MISO, SCK, dan CS.
5. 2 I2C Interface: I2C (*Inter-Integrated Circuit*) adalah protokol komunikasi serial dua kawat (SDA dan SCL) yang memungkinkan ESP32 menghubungkan banyak perangkat (*multi-master/slave*) seperti sensor suhu, RTC (*real-time clock*), dan modul ekspansi dengan penggunaan pin yang minimal.

6. 16 Pin PWM (*Pulse Width Modulation*): Pin ini berguna untuk menghasilkan sinyal PWM yang dapat mengontrol kecepatan motor DC, intensitas LED, atau aplikasi lain yang memerlukan kontrol analog semu menggunakan sinyal digital.
7. 2 Pin DAC (*Digital to Analog Converter*): DAC berfungsi mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Kedua pin ini memungkinkan ESP32 mengeluarkan tegangan analog yang dapat digunakan, misalnya, untuk mengendalikan perangkat audio atau aktuator analog lainnya.



Gambar 2.11 *Board* ESP32 DevKit

2.5.3 ESP32 DevKit V1

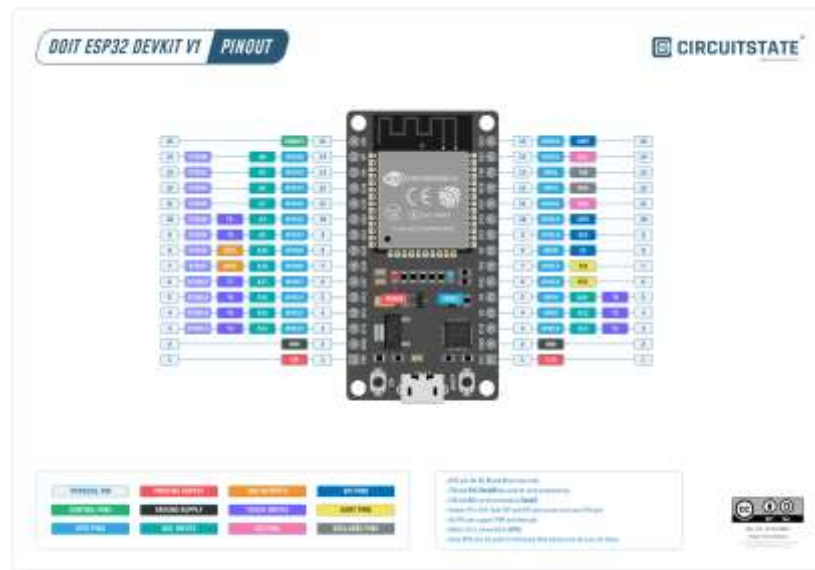
ESP32 adalah *platform* papan sirkuit pengembang berukuran kecil yang di dalamnya terintegrasi *chip Bluetooth Low Energy* (BLE) dan modul WiFi. *Chip* ESP32 ini diproduksi oleh perusahaan semikonduktor *Espressif*. ESP32 dirancang dengan tujuan untuk meminimalkan konsumsi daya frekuensi radio (RF) yang tinggi, menunjukkan ketangguhan dan kinerja optimal, serta dapat digunakan dalam berbagai implementasi. ESP32 sangat cocok untuk solusi perangkat *Internet of Things* (IoT) karena kemampuannya yang mudah berinteraksi dengan modul *eksternal* lainnya. Hal ini sangat membantu dalam pembuatan sistem aplikasi, misalnya pada *Firebase* yang diprogram melalui Arduino IDE. ESP32 banyak digunakan untuk berbagai jenis proyek *microcontroller*, seperti penelitian ini yang

menggunakan ESP32 Devkit V1. Bentuk fisik ESP32 DEVKIT V1 dapat dilihat pada Gambar 2.12. Modul ini dilengkapi dengan beragam pin *input/output* digital dan analog yang mendukung berbagai jenis sensor. Selain itu, ESP32 memiliki fitur prosesor *dual-core* yang memungkinkan pengolahan data menjadi lebih cepat dan efisien. Keunggulan lainnya adalah kemampuan konektivitas nirkabel yang stabil, menjadikannya pilihan populer untuk proyek-proyek otomatisasi dan pemantauan jarak jauh (Yusro *et al.*, 2021).



Gambar 2.12 ESP32 DevKit V1

Pada *board* ESP32 DEVKIT V1 terdapat 25 pin GPIO (*General Purpose Input Output*), di mana setiap pin memiliki karakteristik unik. Selain itu, ada beberapa pin dengan fitur khusus yang membuatnya lebih atau kurang cocok untuk proyek tertentu. Gambar 2.12 menunjukkan Konfigurasi Pin ESP32 DEVKIT V1. Beberapa pin GPIO ini memiliki fungsi ganda, seperti ADC (*Analog to Digital Converter*), PWM (*Pulse Width Modulation*), I2C, dan SPI. Fitur-fitur ini memungkinkan ESP32 untuk berkomunikasi dengan berbagai sensor dan modul *eksternal*. Oleh karena itu, pemilihan pin yang tepat sangat krusial agar tidak terjadi konflik fungsi dalam sistem yang dirancang. Dengan memahami konfigurasi pin secara menyeluruh, pengembang dapat mengoptimalkan penggunaan ESP32 dalam proyek berbasis mikrokontroler agar lebih efisien dan stabil (Yusro *et al.*, 2021).



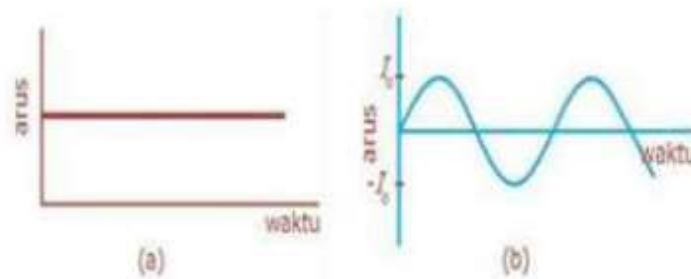
Gambar 2.13 *Board* ESP32 DevKit V1

(Sumber: Vishnu Mohanan, 2022)

2.6 Daya (*Power Supply*)

Catu daya (*Power Supply*) adalah sebuah perangkat yang memasok energi listrik untuk satu atau lebih beban listrik. Catu daya merupakan bagian penting dalam dunia elektronika, berfungsi sebagai sumber tenaga listrik seperti halnya baterai atau aki. Pada dasarnya, *power supply* memiliki konstruksi rangkaian yang hampir sama, yaitu terdiri dari trafo, penyearah, dan penghalus tegangan. Istilah ini paling sering merujuk pada perangkat yang mengubah satu bentuk energi listrik ke bentuk lain, meskipun juga dapat mengacu pada perangkat yang mengkonversi bentuk energi lain (misalnya, mekanik, kimia, atau surya) menjadi energi listrik.

Secara umum, prinsip rangkaian catu daya melibatkan komponen utama seperti transformator, dioda, dan kondensator. Dalam pembuatannya, selain komponen utama tersebut, diperlukan juga komponen pendukung agar rangkaian dapat berfungsi dengan baik. Ada dua jenis sumber catu daya, yaitu sumber AC dan sumber DC. Sumber AC adalah sumber tegangan bolak-balik, sementara sumber DC merupakan sumber tegangan searah. Gambar 2.14 menunjukkan perbedaan antara tegangan (a) DC dan (b) AC.



Gambar 2.14 Gelombang Sinyal

(Sumber: Khakim and Afriliana, 2022)

Sumber DC dapat disearahkan dari sumber AC menggunakan rangkaian penyearah yang dibangun dari dioda. Pada sumber AC, tegangan berayun, kadang berada pada kutub positif dan kadang pada kutub negatif. Ada tiga jenis rangkaian penyearah yaitu setengah gelombang, gelombang penuh, dan sistem jembatan. Beberapa fungsi yang terlibat dalam proses pengubahan catu daya AC ke DC adalah sebagai berikut (Khakim and Afriliana, 2022):

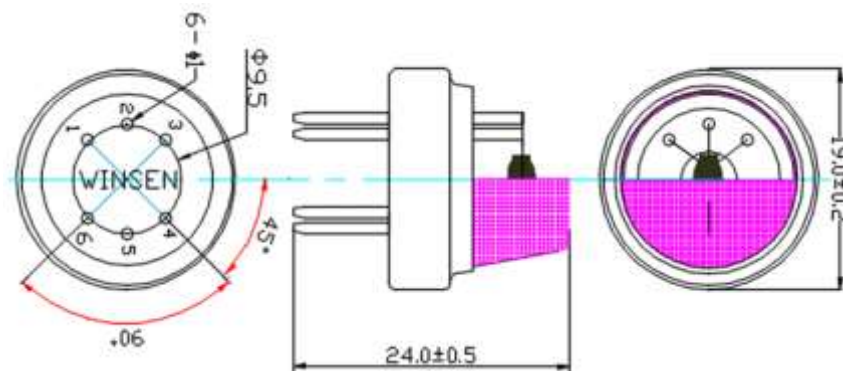
1. Penurun Tegangan: Komponen utama yang digunakan untuk menurunkan tegangan adalah transformator. Transformator ini terdiri dari dua lilitan: lilitan primer (N_1) dan lilitan sekunder (N_2), yang dililitkan pada inti dan saling terisolasi. Besar tegangan pada kedua lilitan ini ditentukan oleh jumlah lilitannya. Dengan demikian, transformator berfungsi untuk memindahkan daya listrik dari lilitan primer ke lilitan sekunder tanpa mengubah besar daya.
2. Penyearah: Penyearah digunakan untuk mengubah gelombang bolak-balik (AC) dari jaringan listrik menjadi arus searah (DC). Pada modul ini, digunakan penyearah gelombang penuh. Untuk mendapatkannya, bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan dua buah dioda atau empat dioda dalam konfigurasi jembatan.

2.7 Sensor Gas MQ-5

Sensor MQ-5 adalah jenis sensor semikonduktor yang dirancang untuk mendeteksi berbagai jenis gas, termasuk hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4), dan etanol. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi pada bahan semikonduktornya saat terpapar gas tertentu. Bahan utama

yang digunakan adalah timah dioksida (SnO_2), yang sangat sensitif terhadap gas-gas yang disebutkan. Ketika gas yang menjadi target terdeteksi, resistansi sensor akan berubah. Perubahan ini kemudian dapat diukur oleh mikrokontroler atau rangkaian elektronik lain untuk memberikan informasi tentang keberadaan gas tersebut (Prasetyo and Paramytha, 2023).

Sensor gas MQ-5 digunakan secara spesifik untuk mendeteksi gas LPG. Hal ini karena sensor MQ-5 memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas alam dan LPG, sementara sensitivitasnya relatif rendah terhadap alkohol dan asap rokok. Hasil deteksi dari sensor ini berupa luaran tegangan analog (Hidayat *et al.*, 2020). Berdasarkan kemampuannya, sensor MQ-5 dipilih secara spesifik untuk aplikasi keamanan dan keselamatan, khususnya sebagai detektor kebocoran gas LPG. Integrasi sensor ini dengan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP memungkinkan sistem untuk mengirimkan notifikasi atau mengambil tindakan otomatis saat kebocoran gas terdeteksi. Dengan demikian, penggunaan sensor MQ-5 dalam mendeteksi kebocoran gas LPG sangat membantu dalam mencegah kecelakaan atau kebakaran yang dapat disebabkan oleh kebocoran gas, sekaligus memberikan peringatan dini kepada pengguna agar dapat mengambil tindakan yang diperlukan sebelum bahaya lebih besar terjadi (Prasetyo and Paramytha, 2023).

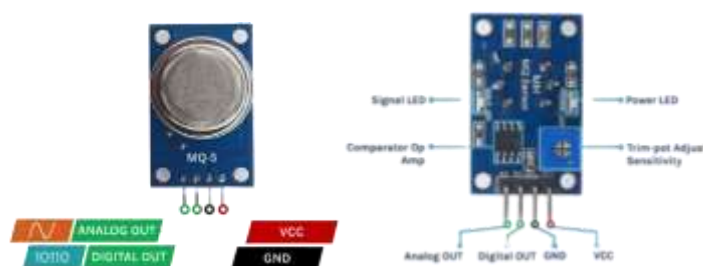


Gambar 2. 15 Struktur Sensor MQ-5

(Sumber: Winsen, 2018)

Prinsip kerja sensor MQ-5 didasarkan pada deteksi konsentrasi gas di udara. Ketika sensor mendeteksi keberadaan gas dengan tingkat konsentrasi tertentu, ia mengindikasikan adanya gas di lingkungan tersebut. Pada saat deteksi gas, resistansi elektrik sensor akan menurun. Sensor ini terdiri dari tabung keramik

mikro berbahan Al_2O_3 , yang dilapisi dengan bahan sensitif SnO_2 , elektroda pengukur, dan kawat pemanas (*heater*), semuanya dibungkus dalam jaring besi dan plastik. Ketika molekul gas menyentuh permukaan lapisan sensitif SnO_2 , nilai resistansi kawat pemanas akan mengecil sebanding dengan konsentrasi gas. Sebaliknya, jika konsentrasi gas di udara menurun, resistansi kawat pemanas akan semakin tinggi, sehingga tegangan keluarannya akan menurun. Dengan demikian, perubahan konsentrasi gas secara langsung akan mengubah nilai resistansi sensor dan memengaruhi tegangan keluarannya (Mulyono, 2019).



Gambar 2.16 Sensor MQ-5

(Sumber: Harshil Patel, 2022)

Menurut Arduino Indonesia 2022, adapun cara penggunaan sensor MQ-5 yang dihubungkan dengan *microcontroller* dengan pin yang ada disediakan sensor MQ-5, diantaranya yaitu:

1. VCC dihubungkan dengan tegangan positif 5V.
2. GND dihubungkan dengan tegangan netral 0V.
3. Digital *Output*, pin ini akan menghasilkan perubahan *output* baik itu logika *high* atau *low* yang menunjukkan adanya gas yang mudah terbakar atau gas beracun yang terdapat di sekitar sensor.
4. Analog *Output*, pin ini akan mengeluarkan tegangan kontinyu sesuai dengan konsentrasi gas yang ada di sekitar sensor.

2.8 Flame Sensor

Sensor api atau *flame sensor* adalah perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi kebakaran dengan mengenali adanya nyala api yang tiba-tiba muncul. Ada beberapa jenis sensor api yang umum digunakan, yaitu UV *flame detector*, UV/IR *flame detector*, Multi Spectrum IR *flame detector* (MSIR), dan *Visual Flame*

Imaging detector. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai masing-masing jenis sensor api dan cara kerjanya (Prasetyo and Paramytha, 2023):

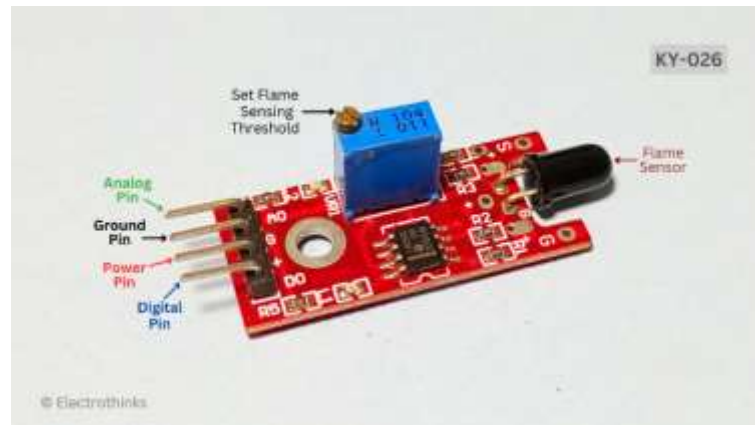
1. *UV Flame Detector*: Sensor ini mendeteksi kebakaran dengan mengenali radiasi ultraviolet yang dipancarkan oleh nyala api. Alat ini sangat sensitif terhadap nyala api berwarna biru atau putih, namun kurang responsif terhadap api berwarna kuning atau merah. Sensor jenis ini umumnya dipakai di kantor, apartemen, atau hotel.
2. *UV/IR Flame Detector*: Sensor ini bekerja dengan mendeteksi kombinasi radiasi ultraviolet dan inframerah dari nyala api. Alat ini lebih sensitif terhadap nyala api berwarna kuning atau merah dibandingkan dengan *UV flame detector* saja. Sensor ini juga sering digunakan di kantor, apartemen, atau hotel.
3. *Multi-Spectrum IR Flame Detector (MSIR)*: Sensor ini mendeteksi kebakaran dengan mengenali radiasi inframerah yang dipancarkan oleh nyala api pada beberapa gelombang spektrum. Sensor ini sangat sensitif terhadap nyala api berwarna kuning atau merah. Seperti jenis sensor lainnya, MSIR umumnya digunakan di kantor, apartemen, atau hotel.
4. *Visual Flame Imaging Detector*: Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan kamera untuk mengambil gambar nyala api. Alat ini sangat sensitif terhadap nyala api berwarna kuning atau merah. Sensor jenis ini juga biasa ditemukan di kantor, apartemen, atau hotel.



Gambar 2.17 Flame Sensor

Flame detector adalah sensor yang mampu mendeteksi intensitas dan frekuensi api dengan rentang panjang gelombang antara 760 nm hingga 1100 nm. Dalam proses pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap, *flame detector* dapat mengenali adanya api berkat komponen-komponen pendukungnya. Sensor nyala

api ini memiliki sudut pembacaan sebesar 60 derajat dan beroperasi normal pada suhu antara 25 hingga 85 derajat Celcius. Unit *flame detector* dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Suryana, 2021):

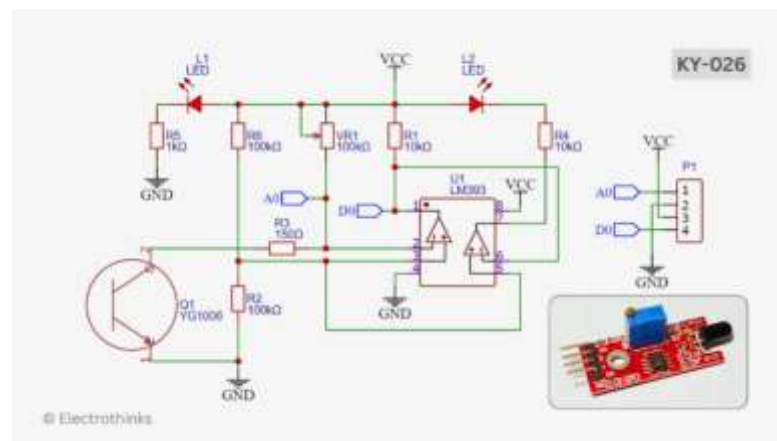


Gambar 2. 18 *Board Flame Sensor*

(Sumber: Barman, 2021)

Flame detector bekerja secara efektif dalam mendeteksi nyala api untuk mencegah kebakaran. Prosesnya dimulai dengan mengidentifikasi atau mendeteksi spektrum cahaya inframerah maupun ultraviolet menggunakan metode optik. Hasil deteksi ini kemudian diteruskan ke mikroprosesor yang ada di dalam unit *flame detector*. Mikroprosesor tersebut akan bekerja untuk membedakan spektrum cahaya yang berasal dari api yang terdeteksi. Dengan adanya sistem *delay* selama 2-3 detik pada detektor ini, alat ini mampu mendeteksi sumber kebakaran lebih dini dan secara bersamaan mengurangi kemungkinan terjadinya *alarm* palsu (Suryana, 2021).

Pada sensor ini, digunakan transduser berupa inframerah (IR) sebagai elemen *sensing* sensor. Transduser ini berfungsi untuk mendeteksi penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Kemampuan ini memungkinkan alat untuk membedakan antara spektrum cahaya dari api dengan spektrum cahaya lainnya, seperti cahaya lampu, kilatan petir, *welding arc*, *metal grinding*, *hot turbine*, *reactor*, dan banyak lagi. Tegangan *input* yang diperlukan untuk pin Analog adalah 5V, sedangkan jika menggunakan pin Digital dapat menggunakan tegangan 3.3V (Suryana, 2021).



Gambar 2. 19 Skema Rangkaian Sensor KY-026

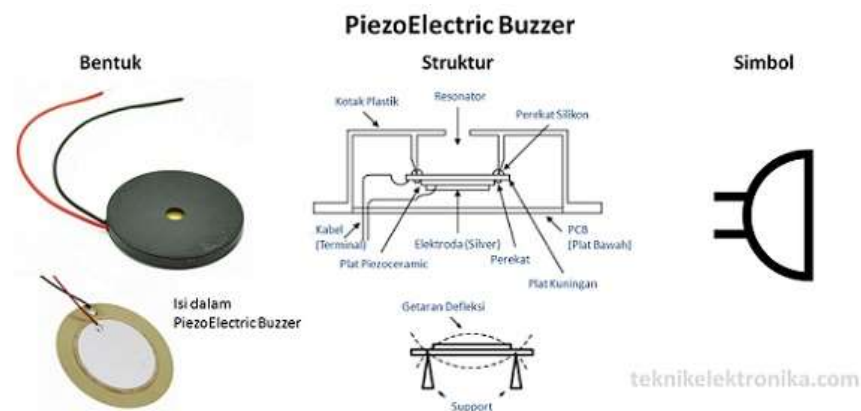
(Sumber: Barman, 2021)

2.9 Alarm (*Buzzer*)

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Umumnya, *buzzer* digunakan dalam sistem *alarm* atau sebagai indikator suara. Komponen ini termasuk dalam kategori transduser dan memiliki dua kaki, positif dan negatif. Untuk mengaktifkannya, *buzzer* dapat diberi tegangan antara 3 hingga 12V. Cara kerja *buzzer* adalah ketika aliran atau tegangan listrik mengalir ke rangkaian yang menggunakan *piezoelektrik*. *Piezo buzzer* mampu menghasilkan frekuensi suara yang baik, berkisar antara 1 hingga 6 kHz bahkan hingga 100 kHz. Dalam aplikasinya, *buzzer* elektronik ini dapat berfungsi sebagai alarm saat absensi karyawan atau sebagai indikator suara yang menandakan suhu tubuh manusia melebihi batas normal/abnormal dengan bunyi "bip bip" (Hartanto and Prabowo, 2021).

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Prinsip kerjanya serupa dengan *loudspeaker*. Pada dasarnya, *buzzer* terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma. Ketika kumparan dialiri arus listrik, ia menjadi elektromagnet, sehingga kumparan akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung arah arus, dan polaritas magnetnya. Karena kumparan terhubung pada diafragma, setiap gerakannya akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik. Gerakan ini menciptakan getaran pada udara, yang

kemudian menghasilkan suara (Agus and Pranata, 2019).



Gambar 2. 20 Struktur Dasar *Buzzer*

(Sumber: Dickson Kho, 2022)

Buzzer elektronika adalah sebuah komponen elektronika yang dapat menghasilkan getaran suara berupa gelombang bunyi. *Buzzer* elektronika akan menghasilkan getaran suara ketika diberikan sejumlah tegangan listrik dengan taraf tertentu sesuai dengan spesifikasi bentuk dan ukuran *buzzer* elektronika itu sendiri. Dalam rangkaian elektronika, *piezoelectric buzzer* dapat digunakan pada tegangan listrik sebesar 3 volt hingga 12 volt dan dengan tipikal arus sebesar 25 mA. *Buzzer* yang termasuk dalam keluarga transduser ini sering disebut juga dengan *beeper* (Zamzak, Sudiarsa and Putra, 2023).

Buzzer memiliki dua jenis yaitu *passive buzzer* dan *active buzzer*. *Passive Buzzer* merupakan komponen *buzzer* yang tidak memiliki suara sendiri, dengan kata lain ketika komponen ini diberi arus listrik maka komponen ini tidak akan menghasilkan suara, contohnya seperti speaker aktif. Sedangkan *active buzzer* merupakan komponen *buzzer* yang memiliki suara sendiri atau ketika komponen ini diberi arus listrik maka komponen ini akan menghasilkan energi suaranya sendiri (Hermawan and Abdurrohman, 2020).



Gambar 2.21 *Buzzer*

2.10 OLED

OLED adalah singkatan dari *Organic Light Emitting Diode*. Layar OLED merupakan layar yang memiliki panel. Panel tersebut bukan sembarang panel melainkan panel yang memiliki kandungan elemen-elemen organik yang mampu memancarkan cahaya saat dialiri listrik. Umumnya, layar OLED banyak dipakai pada perangkat televisi dan *smartphone*. Layar OLED banyak diminati karena beberapa hal. Layar OLED dikenal sebagai teknologi yang dapat memberikan konsumsi daya, imbasnya layar ini dapat menghasilkan level warna hitam yang lebih pekat dan dalam. Dengan kata lain layar OLED tidak memerlukan sinar latar yang dipakai untuk menampilkan gambar pada layar (Ismail, Anisah and Amperawan, 2022).

OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) adalah *Light-Emitting Diode* (LED) dimana lapisan *emissive electroluminescent* merupakan lembaran senyawa organik yang akan memancarkan cahaya bila dilalui arus elektrik. Lapisan bahan semikonduktor organik ini diletakkan di antara dua elektroda. Umumnya salah satu elektroda tersebut tembus pandang (Setyawan, 2017).



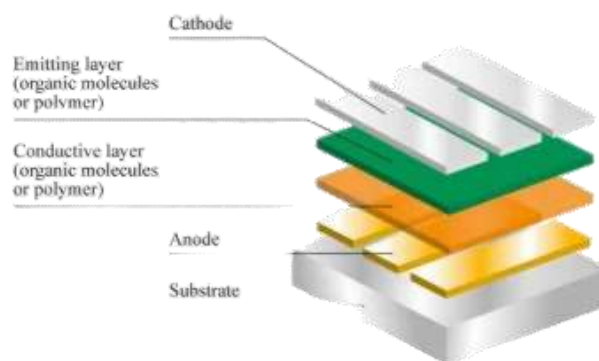
Gambar 2.22 OLED

Struktur dasar OLED memiliki susunan seperti Gambar 2.22 dengan konfigurasi seperti Gambar 2.22 OLED memiliki ketebalan sebesar 100 sampai 500 nanometer, sekitar 1/200 ketebalan rambut manusia. Lapisan bahan organik untuk menyusun OLED bisa 2 atau 3 lapis. Bagian-bagian penyusun OLED adalah sebagai berikut (Setyawan, 2017):

1. Substrat (plastik bening, kaca, *foil*) digunakan sebagai tumpuan OLED.

Sebagai substrat digunakan plastik, *foil*, atau kaca.

2. Anode (tembus pandang) mengambil elektron (menambah “*hole*” elektron) ketika arus mengalir melalui *devais*.
3. Lapisan konduktif terbuat dari molekul plastik organik yang berfungsi untuk mengangkut “*hole*” dari anode. Salah satu *polymer* konduktif yang digunakan pada OLED adalah *polyaniline*.
4. Lapisan emisif terbuat dari molekul plastik organik (berbeda dengan di lapisan konduktif) yang berfungsi untuk mengangkut elektron dari katode. Di lapisan ini cahaya dihasilkan. Salah satu *polymer* yang digunakan pada lapisan emisif adalah *polyfluorene*.
5. Katode (tembus pandang atau tidak tergantung pada jenis OLED) katode menyuntikkan elektron ketika arus mengalir melalui *devais*.



Gambar 2.23 Struktur Dasar OLED

(Sumber: Setyawan, 2017)

2.11 Framework Laravel

Laravel adalah sebuah *framework* yang digunakan untuk membangun aplikasi berbasis *web* menggunakan bahasa pemrograman PHP. Laravel menjadi salah satu *framework* PHP yang paling populer untuk pengembangan aplikasi *backend*. *Framework* ini dilengkapi dengan banyak fitur yang mempercepat proses pembuatan aplikasi atau sistem informasi berbasis *web*. Laravel dapat dimanfaatkan baik untuk *backend* dan *frontend* secara bersamaan, atau hanya sebagai *backend* saja (Suteja and Sansprayada, 2019).

Framework Laravel menawarkan berbagai fitur yang mempermudah

pengembangan aplikasi *web*, menjadikannya pilihan favorit para pengembang. Salah satu fitur utamanya adalah *Eloquent ORM (Object-Relational Mapping)*. *Eloquent* memungkinkan interaksi dengan *database* menjadi lebih intuitif dan efisien. Dengan *Eloquent*, pengembang dapat melakukan operasi *database* menggunakan sintaks yang menyerupai bahasa pemrograman, sehingga mengurangi kerumitan penulisan *query SQL* yang kompleks. Selain itu, *Eloquent* menyediakan mekanisme relasi yang kuat antara tabel, memungkinkan pengembang untuk mengelola hubungan data dengan lebih mudah dan akurat, yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam pengembangan aplikasi (Sinlae *et al.*, 2024).

Fitur lain yang tak kalah penting pada Laravel adalah *Blade templating engine*, yang digunakan untuk pembuatan antarmuka pengguna. *Blade* menawarkan sintaks yang sederhana dan bersih, memungkinkan pengembang untuk membuat *template HTML* yang dinamis dan mudah dipelihara. *Blade* juga mendukung *inheritance template*, yang berarti pengembang dapat membuat struktur *layout* yang konsisten dan menghindari duplikasi kode. Fitur ini sangat membantu dalam mengembangkan aplikasi dengan tampilan yang konsisten dan terorganisir dengan baik. Selain itu, *Blade* memungkinkan pengembang untuk menambahkan logika PHP langsung ke dalam *template* dengan cara yang aman dan efisien, sehingga mempercepat proses pengembangan antarmuka pengguna (Sinlae *et al.*, 2024).

Sistem migrasi *database* dalam Laravel juga merupakan salah satu fitur yang sangat berguna. Fitur migrasi memungkinkan pengembang untuk mendefinisikan perubahan skema *database* menggunakan kode PHP. Hal ini sangat mempermudah pengelolaan versi dan kolaborasi dalam tim pengembang. Dengan migrasi, pengembang dapat melacak dan menerapkan perubahan skema *database* dengan cara yang terstruktur dan dapat diulang, sehingga mengurangi risiko kesalahan yang disebabkan oleh perubahan manual. Sistem ini juga mendukung *rollback*, yang memungkinkan pengembang untuk membatalkan perubahan yang tidak diinginkan, sehingga menjaga integritas data dan stabilitas aplikasi. Fitur ini dirancang untuk meningkatkan produktivitas pengembang dan memastikan bahwa aplikasi yang dibangun dapat dengan mudah dikembangkan dan dipelihara (Sinlae *et al.*, 2024).

Laravel telah membuktikan diri sebagai salah satu *framework* PHP paling populer dan efektif dalam pengembangan aplikasi *web*. Dengan dokumentasi yang komprehensif dan dukungan komunitas yang aktif, pengembang dapat dengan mudah menemukan solusi untuk berbagai tantangan teknis yang mungkin muncul selama proses pengembangan. Keunggulan utama Laravel meliputi kemampuannya dalam menyederhanakan tugas-tugas umum seperti *routing*, autentikasi, dan manajemen sesi, serta menyediakan berbagai fitur bawaan yang mempercepat proses pengembangan. Dengan demikian, *framework* ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengembangan, tetapi juga menjamin keandalan aplikasi yang dibangun di atasnya (Sinlae *et al.*, 2024).



Gambar 2.24 *Framework* Laravel

(Sumber: RUBEQ edu, 2024)

2.12 Motor Servo

Motor servo adalah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo). Desain ini memungkinkannya untuk diatur dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor secara presisi. Motor servo terdiri dari beberapa komponen utama, motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol, dan potensiometer. Serangkaian *gear* yang terpasang pada poros motor DC berfungsi untuk memperlambat putaran poros sekaligus meningkatkan torsi motor servo. Sementara itu, potensiometer bertugas sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo melalui perubahan resistansinya saat motor berputar.

Penggunaan sistem kontrol *loop* tertutup pada motor servo sangat penting untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Secara sederhana, posisi poros *output* akan terus disensor untuk memeriksa apakah sudah sesuai dengan posisi yang diinginkan. Jika belum, kontrol *input* akan secara otomatis mengirimkan sinyal kendali untuk mengoreksi posisi poros tersebut hingga tepat pada tujuan yang diinginkan. Sistem kontrol *loop* tertutup ini bisa diilustrasikan dengan penyetelan suhu pada perangkat seperti AC, kulkas, atau setrika, di mana perangkat akan terus memantau dan menyesuaikan diri untuk mencapai dan mempertahankan suhu yang diinginkan.

Motor servo beroperasi menggunakan sistem umpan balik tertutup. Artinya, informasi mengenai posisi motor akan secara terus-menerus dikirimkan kembali ke rangkaian kontrol yang berada di dalam motor servo itu sendiri. Motor ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu, motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer, dan, rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sementara itu, sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirimkan melalui kaki sinyal pada kabel motor.

Karena motor DC servo berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, maka magnet permanen di dalamnya memainkan peran kunci. Proses ini terjadi melalui interaksi dua medan magnet, satu dihasilkan oleh magnet permanen itu sendiri, dan yang lainnya dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir dalam kumparan motor. Hasil interaksi kedua medan magnet ini adalah terbentuknya torsi yang kemudian memicu putaran motor. Saat motor berputar, arus pada kumparan motor akan terus menghasilkan torsi dengan nilai yang konstan (Sujarwata, 2013). Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Ada 2 jenis motor servo yang digunakan dengan daya besar, yang pertama adalah motor servo dengan seri MG996R:



Gambar 2. 25 Motor Servo MG996R

(Sumber: Technology, 2019)

Sedangkan yang kedua adalah motor servo dengan seri MG90s:



Gambar 2. 26 Motor Servo MG90S

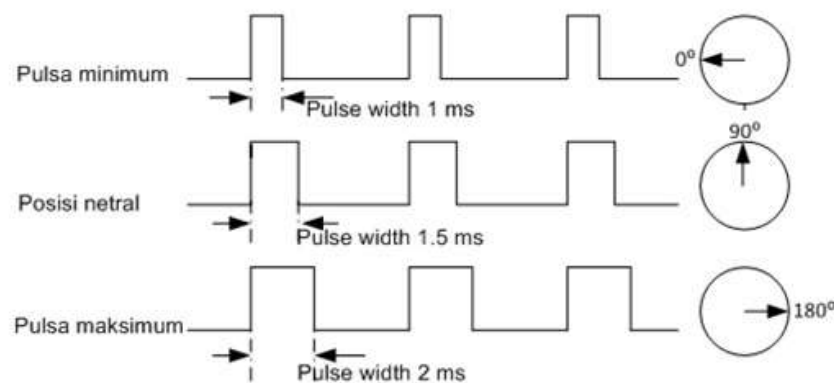
(Sumber: Caldas, 2015)

Motor servo terbagi menjadi dua jenis utama berdasarkan sumber dayanya, motor servo AC dan motor servo DC. Motor servo AC umumnya mampu menangani arus tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sebaliknya, motor servo DC lebih sesuai untuk aplikasi yang lebih kecil. Selain itu, jika dibedakan berdasarkan rotasinya, umumnya ada dua jenis

motor servo yang tersedia di pasaran, motor servo rotasi 180° dan motor servo rotasi kontinu (*continuous rotation*).

1. Motor servo standard (*servo rotation* 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros *output* nya terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180°.
2. Motor servo *rotation continuous* merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standard, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Motor servo dioperasikan melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikirimkan lewat kabel kontrolnya. Besar kecilnya lebar pulsa sinyal ini yang akan menentukan posisi sudut putaran poros motor servo. Contohnya, pulsa selebar 1,5 milidetik (ms) akan memutar poros ke posisi 90°. Apabila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms, poros akan berputar ke 0° atau ke kiri (berlawanan arah jarum jam). Namun, jika pulsa lebih panjang dari 1,5 ms, poros akan berputar ke 180° atau ke kanan (searah jarum jam). Untuk visualisasi lebih lengkap, silakan merujuk pada gambar di bawah (Rinaldy, Christianti and Supriyadi, 2013).



Gambar 2. 27 Sinyal Modulasi Lebar Pulsa Motor Servo

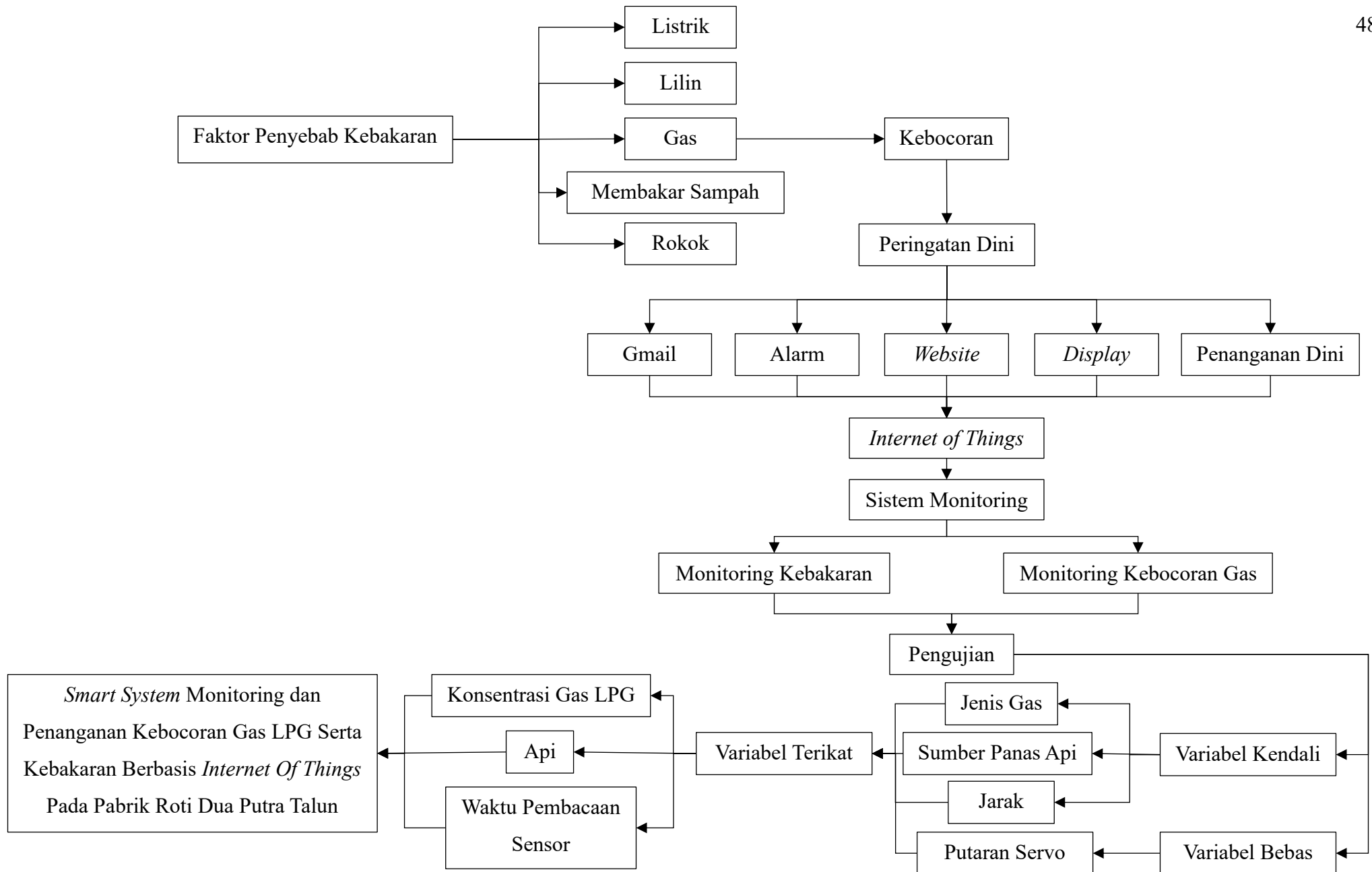
(Sumber: Fahmizal, 2019)

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, poros motor servo akan segera bergerak atau berputar ke posisi yang diperintahkan. Setelah mencapai posisi tersebut, ia akan berhenti dan tetap bertahan di sana. Jika ada kekuatan eksternal

yang mencoba memutar atau mengubah posisinya, motor servo akan berusaha menahan atau melawan dengan memanfaatkan kekuatan torsi yang dimilikinya (*rating* torsi servo). Namun, motor servo tidak akan mempertahankan posisinya selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (milidetik) untuk terus menginstruksikannya agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya (Rois'Am, Sumantri and Wijayanto, 2019).

2.13 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini menjelaskan alur berpikir yang ditinjau dari latar belakang hingga metode penelitian. Adapun kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 2.28.



Gambar 2. 28 Kerangka Pemikiran