

LAPORAN TUGAS AKHIR
Monitoring Gas Berbahaya di Area Pembuangan atau
Pengolahan Sampah



Penyusun:

Ferdi Tegar Syahputra (20524009)

Muhammad Zakia Rahman (20524167)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Monitoring Gas Berbahaya di Area Pembuangan atau Pengolahan Sampah

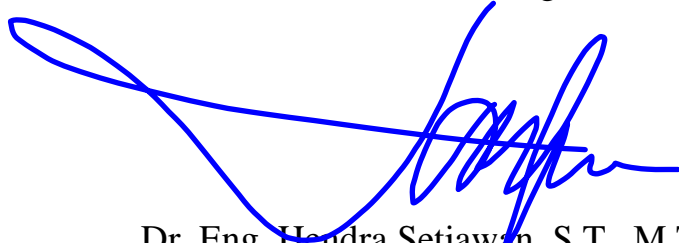
Penyusun:

Ferdi Tegar Syahputra (20524009)

Muhammad Zakia Rahman (20524167)

Yogyakarta, 3 Agustus 2024

Dosen Pembimbing 1



Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

025200526

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

MONITORING GAS BERBAHAYA DI AREA PEMBUANGAN ATAU PENGOLAHAN



Disusun oleh:
Ferdi Tegar Syahputra 20524009
Muhammad Zakia Rahman 20524167

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal: 19 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji

: Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.

Anggota Penguji 1

: Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.

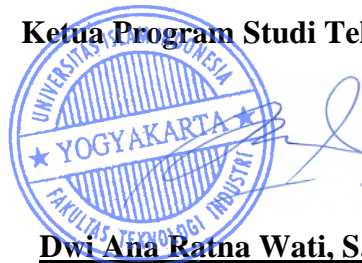
Anggota Penguji 2

: Agus Wibawa Arifianto, ST, M.Eng.

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 6 Agustus 2024

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

035240102

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 3 Agustus 2024



Ferdi Tegar Syahputra (20524009)



Muhammad Zakia Rahman (20524167)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	5
RINGKASAN	7
BAB 1. PENDAHULUAN	8
1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah.....	8
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Tujuan.....	12
1.4 Batasan Masalah.....	12
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan	12
1.6 Standar Keteknikan dan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3)	13
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM.....	14
2.1 Studi Literatur dan Observasi	14
2.2 Dasar Teori.....	17
2.2.1 Tempat Pemrosesan Akhir Sampah	17
2.2.2 Gas Metana (CH ₄)	18
2.2.3 Gas Amonia (NH ₃).....	18
2.2.4 Karbon Monoksida (CO)	19
2.2.5 Karbon Dioksida (CO ₂).....	19
2.2.6 Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	19
2.2.7 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	20
2.2.8 Internet of Things.....	20
2.2.9 Persamaan Mendapatkan Nilai Gas Satuan PPM	21
2.3 Analisis Stakeholder.....	22
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem.....	22
2.4.1 Aspek Lingkungan	22
2.4.2 Aspek Ekonomi.....	22
2.4.3 Aspek Sosial	23
2.4.4 Aspek Kesehatan.....	23
2.4.5 Aspek Hukum	23
2.5 Spesifikasi Sistem.....	24
BAB 3. USULAN SOLUSI	25
3.1 Usulan Solusi 1	25
3.1.1 Desain Sistem 1.....	25
3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1	32
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1	33
3.1.4 Pengukuran Performa.....	33
3.2 Usulan Solusi 2.....	35
3.2.1 Desain Sistem 2.....	35
3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2	40
3.2.3 Analisis Risiko Desain	41

3.2.4 Pengukuran Performa.....	41
3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik.....	43
3.4 Gantt Chart	45
3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	47
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN.....	48
4.1 Hasil Rancangan Sistem	49
4.1.1 Rangkaian Elektronik.....	49
4.1.2 Desain 3D	51
4.1.3 Software atau interface	52
4.1.4 Foto hasil akhir perancangan	54
4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan	54
4.2.1 Pengujian Akurasi Sensor Gas.....	56
4.2.2 Pengujian Kecepatan Respon Output.....	56
4.2.3 Pengujian Sinkronisasi Tampilan Output pada LCD dan Perangkat Pengguna.....	58
4.2.4 Pengujian Fungsi Komponen Peringatan	58
BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS	59
5.1. Analisis Hasil	59
5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator.....	59
5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem	77
5.1.3 Pengalaman Pengguna	78
5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya	79
5.2 Dampak Implementasi Sistem.....	82
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
6.1 Kesimpulan.....	84
6.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN.....	88

RINGKASAN

Peningkatan jumlah penduduk dan pola konsumsi masyarakat menghasilkan beragam jenis dan karakteristik sampah. Sampah menjadi masalah nasional yang memerlukan pengelolaan komprehensif agar memberikan manfaat ekonomi, menjaga kesehatan masyarakat, dan melindungi lingkungan. Salah satu dampak negatif dari tempat pembuangan akhir (TPA) adalah pencemaran udara oleh gas-gas yang dihasilkan oleh sampah, seperti metana, amonia, karbon monoksida, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida.

Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring gas berbahaya di area pembuangan atau pengolahan sampah menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang untuk mengukur konsentrasi gas berbahaya dan memberikan peringatan jika gas tersebut melebihi ambang batas aman.

Sistem yang diusulkan terdiri dari sensor gas yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan modul komunikasi GSM SIM800L untuk mengirimkan data ke server Firebase. Antarmuka pengguna disediakan melalui aplikasi Android yang memungkinkan pemantauan data secara real-time dan memberikan peringatan ketika gas berbahaya terdeteksi.

Proyek ini melibatkan perancangan rangkaian elektronik, desain 3D untuk penempatan sensor, pengembangan antarmuka pengguna, dan pemrograman. Pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi sensor, kecepatan respons, sinkronisasi data pada LCD dan perangkat pengguna, serta fungsi komponen peringatan.

Meskipun ada beberapa perbedaan dalam spesifikasi yang diusulkan, hasil dari proyek ini secara umum telah terpenuhi. Sistem ini memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan keselamatan dan kesehatan di area pembuangan atau pengolahan sampah. Namun, untuk mencapai hasil yang lebih optimal, diperlukan peningkatan dalam kalibrasi sensor dan pengujian gas berbahaya.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Peningkatan jumlah penduduk dan pola konsumsi masyarakat, beragam jenis dan karakteristik sampah dihasilkan. Karakteristik sampah sangat bergantung pada jenis bahan yang digunakan oleh masyarakat dalam aktivitas mereka. Komponen sampah perkotaan juga berbeda dari yang dihasilkan oleh penduduk di desa yang tidak terlibat dalam kegiatan pabrik atau industri. Sampah telah menjadi masalah nasional yang memerlukan pengelolaan yang komprehensif dan terpadu, mulai dari sumbernya hingga pengolahan akhir, agar memberikan manfaat ekonomi, menjaga kesehatan masyarakat, dan melindungi lingkungan. Salah satu dampak negatif dari keberadaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah pencemaran udara oleh sampah. Sampah menghasilkan berbagai komponen gas yang masuk ke atmosfer sebagai hasil dari proses pembusukan dan pembakaran.[1]

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), volume sampah yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 19,45 juta ton. Angka tersebut mengalami penurunan sebesar 37,52% dibandingkan dengan tahun 2021 yang mencapai 31,13 juta ton. Dilihat dari jenisnya, mayoritas sampah yang dihasilkan pada tahun 2022 adalah sampah sisa makanan dengan proporsi sebesar 41,55%. Di urutan kedua, terdapat sampah plastik dengan proporsi 18,55%. Selain itu, terdapat sampah kayu/ranting sebesar 13,27%, sampah kertas/karton sebesar 11,04%, dan sampah logam sebesar 2,86%. Jenis sampah lainnya meliputi sampah kain sebesar 2,54%, sampah kaca sebesar 1,96%, sampah karet/kulit sebesar 1,68%, dan jenis sampah lainnya sebesar 6,55%.

Di Yogyakarta, pengelolaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) menghadapi tantangan serius dalam mengatasi volume sampah yang terus meningkat. Menurut data yang diberikan oleh Bappeda Provinsi DIY, volume produksi sampah di Yogyakarta mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun 2019 yang sekitar 644,69 ton/hari menjadi sekitar 1.231,55 ton/hari pada tahun 2023. Namun, peningkatan volume produksi sampah ini tidak sejalan dengan peningkatan dalam pengelolaan persampahan regional, yang hanya mencapai sekitar 740 ton/hari.

Dari segi komposisi sampah, sisa makanan menjadi yang paling dominan dengan persentase sebesar 56,13%. Jenis sampah lainnya meliputi plastik sebesar 23,84%, kertas sebesar 14,28%, dan logam serta jenis sampah lainnya mencapai 5,75%. Situasi ini menunjukkan perlunya

perhatian serius terhadap manajemen sampah di Yogyakarta agar dapat mengurangi volume sampah yang dihasilkan, terutama dalam mengelola sisa makanan yang menjadi penyumbang terbesar. Upaya-upaya perbaikan dalam pengelolaan sampah menjadi sangat penting untuk menjaga kebersihan lingkungan dan kesehatan masyarakat di kota ini.

Sebagian besar pengelolaan sampah TPA di Indonesia menggunakan metode pembuangan terbuka dan pengisian lahan, namun terdapat juga metode lain seperti pembuatan kompos, pembakaran, pemilahan, dan daur ulang, meskipun penggunaannya belum begitu luas. Metode pembuangan terbuka adalah metode yang paling sederhana, di mana sampah dibuang di TPA tanpa perlakuan lebih lanjut, sementara metode pengisian lahan melibatkan penyebaran dan pemadatan sampah dengan alat berat serta penutupan dengan lapisan tanah. Kedua metode ini memiliki dampak lingkungan yang negatif karena berpotensi mencemari air tanah dan udara.

Sektor sampah merupakan salah satu sumber yang dapat menimbulkan pencemaran udara. Sampah yang tertimbun dalam waktu lama akan mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas yang menyebar di udara. Gas yang paling banyak dihasilkan dari proses degradasi sampah yaitu gas metana (CH_4). Selain itu, sampah yang membusuk akan menimbulkan bau. Bau tersebut berasal dari gas amonia (NH_3) dan gas hidrogen sulfida (H_2S). Pencemaran akibat gas-gas tersebut akan menyebabkan kualitas udara menurun.[2]

Pemilihan gas-gas meliputi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), amonia (NH_3), metana (CH_4), nitrogen dioksida (NO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S) untuk dideteksi di area pembuangan atau pengolahan sampah didasarkan pada karakteristik dan dampak potensial masing-masing gas terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Gas-gas ini dihasilkan dari berbagai proses, termasuk pembakaran tidak sempurna, pembusukan bahan organik, dan aktivitas industri, serta memiliki dampak serius seperti iritasi saluran pernapasan, keracunan, dan gangguan kesehatan kronis.

Gas metana (CH_4) adalah gas yang tidak berbau, tidak berwarna dan mudah terbakar sehingga bisa menimbulkan ledakan dan kebakaran jika berada di udara dengan konsentrasi 5-15%. Gas CH_4 termasuk dalam gas rumah kaca yang 21 kali lebih kuat dari gas karbon monoksida, sebagai penyebab pemanasan global karena mampu menyerap dan meneruskan radiasi sinar matahari namun memantulkan kembali radiasi gelombang panjang yang dipancarkan dari permukaan bumi sehingga mengakibatkan kenaikan suhu bumi. Peningkatan konsentrasi gas CH_4 di atmosfer sebanyak 70% berasal dari kegiatan manusia terutama dari proses penanganan sampah.

Dampak kesehatan yang ditimbulkan dari gas metana antara lain nafas cepat, nadi meningkat, koordinasi otot menurun, mual, muntah, kehilangan kesadaran, gagal nafas hingga menyebabkan kematian.[3]

Amonia (NH_3) berasal dari produk manusia dan alami, gas ini merupakan gas tidak berwarna yang memiliki bau tajam. Gas NH_3 di lingkungan berasal dari hasil pembusukan sampah. Gas NH_3 dapat menimbulkan efek akut dan kronik pada kesehatan manusia. Dalam konsentrasi 5 ppm, senyawa ini dapat tercium dengan mudah. Udara yang tercemar Gas NH_3 dapat menyebabkan iritasi mata serta saluran pernafasan. Gas NH_3 , bisa masuk melalui inhalasi dalam kadar 2500-6500 ppm dan menyebabkan sesak nafas, nyeri dada, sembab paru, batuk darah, bronchitis dan pneumonia.[4]

Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas yang berasal dari pembusukan sampah organik dan memiliki bau seperti telur busuk. Selain itu, gas ini memiliki ciri antara lain tidak berwarna, sangat beracun dan mudah terbakar. Gas H_2S ini digolongkan ke dalam asphyxiant walaupun gas H_2S bersifat iritan bagi paru. Efek utama dari gas H_2S yaitu melumpuhkan pusat pernafasan dan apabila tubuh terpapar H_2S dalam dosis rendah dalam jangka panjang akan mengakibatkan iritasi saluran pernafasan hingga gangguan kronik di saluran nafas. Pada konsentrasi 15 mg/m³, gas H_2S dapat menimbulkan gangguan pernafasan dan dapat menyebabkan kerusakan mata, lebih lanjut juga dapat menimbulkan gangguan pada saraf perifer.[5]

Pada bentuk padat dan cair, karbon dioksida (CO_2) bersifat sangat mudah menguap sehingga dapat melepaskan gas dengan segera. Kadar gas CO_2 normal dalam tubuh adalah 23-29 mmol per liter darah. Pada konsentrasi 2-10% dapat menimbulkan rasa asam, dyspnea, sakit kepala, vertigo, mual, kesulitan bernafas, lemah, mengantuk, mental confusion, peningkatan tekanan darah, peningkatan denyut jantung dan peningkatan laju pernafasan. Paparan 10% karbon dioksida selama beberapa menit dapat menyebabkan gangguan penglihatan, tinnitus, tremor, keringat berlebih, gelisah, parestesi, ketidaknyamanan secara umum, hilang kesadaran, dan koma. Pada konsentrasi 25-30 % dapat menyebabkan koma dan konvulsi dalam satu menit. Takikardia dan aritmia juga mungkin terjadi. Pada konsentrasi 50% dapat menimbulkan gejala hipokalsemia termasuk spasme karpopedal.[6]

Gas nitrogen dioksida (NO_2) merupakan polutan udara ambien bersama unsur nitrogen monoksida (NO) yang biasanya dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar mesin kendaraan, pembakaran sampah. Baku mutu udara ambien yang ditetapkan pemerintah

Indonesia untuk NO₂ diatur oleh Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang mana berdasarkan peraturan tersebut kadar NO₂ di udara untuk pengukuran dalam 1 jam sebesar 200 µg/m³, pengukuran 24 jam sebesar 65 µg/m³, dan untuk pengukuran 1 tahun sebesar 50 µg/m³. Apabila melebihi dari batas tersebut maka akan terkena resiko seperti batuk kering, batuk berdahak, mengi, dan sesak napas.[2]

Menurut National Institutes of Health, batasan paparan gas udara untuk beberapa jenis gas adalah sebagai berikut: 50 ppm untuk gas CO₂, 25 ppm untuk gas CO, 25 ppm untuk NH₃, 1 ppm untuk H₂S, 1000 ppm untuk CH₄, dan 1 ppm untuk NO₂. Jika kadar gas-gas ini melebihi batas yang telah ditetapkan, dapat berpotensi merusak kesehatan manusia. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan sistem pemantauan yang efektif guna mengawasi tingkat konsentrasi gas-gas ini di udara, terutama di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau Tempat Pemrosesan Sampah (TPS). Pemantauan tersebut harus dilakukan secara teratur guna menjaga kualitas udara dan mencegah potensi dampak negatifnya terhadap kesehatan masyarakat.[7]

Dari data yang didapatkan maka kami akan membuat alat pendeteksi gas berbahaya untuk ditempatkan pada area pembuangan atau pengolahan sampah. Alat tersebut akan mendeteksi gas berbahaya seperti gas CO, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dan NO₂. Dengan alat ini, pengelola sampah dapat mengetahui apakah di tempat pembuangan atau pengolahan sampah tersebut terdapat gas berbahaya seperti gas CO, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dan NO₂ atau tidak sehingga jika gas berbahaya tersebut terdeteksi oleh alat ini maka pengelola dapat mengambil tindakan untuk gas berbahaya tersebut.

Survei dilakukan dengan memberi beberapa pertanyaan kepada pengelola di beberapa tempat pembuangan sampah. Beberapa pertanyaan yang ditanyakan kepada pengelola tempat pembuangan sampah serta jawaban atau tanggapan dari pengelola tempat pembuangan sampah dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Hasil Survei Bersama Pengelola Tempat Pembuangan Sampah

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
Sampah yang dikumpulkan di tempat ini berasal darimana saja?	Dari 3 wilayah yaitu Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman dan Kota Jogja.
Apakah disini terdapat limbah elektronik	Ada kemungkinan terbawa ketika melakukan

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
seperti baterai?	pengangkutan sampah.
Untuk limbah kimia apakah ditampung disini?	Tidak ditampung di TPA ini.
Apakah sampah dipisah sesuai dengan jenisnya?	Sampah di TPA ini masih dicampur.
Menurut anda sebagai pengelola sampah disini apakah mungkin ditemukan gas berbahaya di tpa/tps ini?	Di TPA ini ditemukan gas metana.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengukur gas berbahaya dari hasil pengolahan sampah?
2. Bagaimana cara memonitoring gas berbahaya dari hasil pengolahan sampah?
3. Bagaimana performa alat monitoring gas berbahaya yang telah dirancang?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan beberapa cara mengukur gas berbahaya dari hasil pengolahan sampah.
2. Mendapatkan beberapa cara memonitoring gas berbahaya dari hasil pengolahan sampah.
3. Mengetahui performa dari alat monitoring yang telah dirancang.

1.4 Batasan Masalah

1. Projek ini harus terselesaikan sebelum bulan Juli 2024.
2. Gas berbahaya yang ditemukan tidak diketahui asalnya.
3. Gas yang dideteksi hanya CO, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dan NO₂.
4. Penempatan alat di sekitar area pembuangan atau pengolahan sampah.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

1. Alat bisa memonitoring secara real time.
2. Alat bersifat portable (tidak permanen).
3. Sistem monitoring menggunakan IoT.
4. Konsumsi energi harus kecil karena portable.
5. Terdapat sistem peringatan jika terdeteksi gas berbahaya melebihi batas aman.
6. Alat hanya dapat mendeteksi gas berbahaya, tidak dapat menghilangkan gas berbahaya.

1.6 Standar Keteknikan dan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3)

- ISO 16000-6:2011 - *Ambient Air - Determination of Volatile Organic Compounds in Indoor and Test Chamber Air by Active Sampling on Tenax TA Sorbent, Thermal Desorption and Gas Chromatography Using MS or MS-FID*: Standar ini memberikan panduan untuk penentuan senyawa organik volatil (VOC) di udara dalam dan di sekitar bangunan atau area tertutup.
- OSHA 1910.1200 - *Hazard Communication Standard*: Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja ini memberikan pedoman mengenai identifikasi, pengelolaan, dan komunikasi risiko bahan kimia di tempat kerja, termasuk gas berbahaya.
- EN 13725:2003 - *Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*: Standar ini menyediakan metode untuk menentukan konsentrasi bau (odor) di udara, yang dapat menjadi indikator adanya gas berbahaya atau bau yang merugikan kesehatan di area pengolahan sampah.
- IEC 60079-29-2:2015 - *Explosive atmospheres - Part 29-2: Gas detectors - Selection, installation, use and maintenance of detectors for flammable gases and oxygen*: Memberikan pedoman terkait pemilihan, pemasangan, penggunaan, dan pemeliharaan detektor gas untuk gas yang mudah terbakar dan oksigen di atmosfer yang berpotensi meledak.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Studi Literatur dan Observasi

Dalam menyelesaikan masalah yang telah dikemukakan, diperlukan sebuah studi literatur dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan. Penggunaan studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan data dan mencari metode yang terbaik dalam pemilihan solusi untuk memecah masalah yang telah dikemukakan. Beberapa studi literatur yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 2.1 Hasil Studi Literatur Solusi Sejenis

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<i>Fixed Monitoring System</i> Untuk Pemantauan Gas yang Dihasilkan Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah.[8]	Solusi yang ditawarkan peneliti berupa perangkat yang dapat memantau gas di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.	Hasil dari penelitian ini adalah alat yang dapat mengukur gas CH ₄ , O ₂ , CO ₂ , BAL, CO dan H ₂ S. Alat ini menggunakan gas analyser GA2000Plus untuk mendeteksi gas. Proses pengunduhan data menggunakan kabel data serial RS232C yang menghubungkan gas analyser GA2000Plus dengan perangkat laptop. Data hasil pembacaan gas akan tertampil pada aplikasi <i>hyperterminal</i> . Keuntungan dari alat ini adalah dapat memudahkan kegiatan penelitian tentang kinerja TPA melalui pemantauan gas metana yang dihasilkan oleh TPA, sistem dapat bekerja secara kontinu dengan setting parameter interval waktu pengukuran dan lama waktu pemompaan saat pengambilan sampling gas yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dan berat alat tergolong ringan yaitu dibawah 20 kg. Untuk kekurangan dari alat ini adalah diperlukan listrik PLN sebagai sumber energi dari alat ini, di dalam

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		<p>ruangan dirasa kurang memberikan hasil secara riil dan di dalam modul download data disajikan terlalu banyak menu pilihan untuk konversi data ke dalam format tabel.</p>
<p>Sistem Pemantau Gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Berbasis Internet of Things.[9]</p>	<p>Pada jurnal ini peneliti mengusulkan solusi mengenai sebuah sistem pemantau gas berbahaya di tempat pembuangan sampah akhir.</p>	<p>Hasil yang didapatkan pada jurnal ini adalah sistem pemantau gas berbahaya telah Internet of Things (IoT) menggunakan modul Wi-Fi ESP8266 untuk mengirimkan hasil pemantauan konsentrasi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) serta suhu dan kelembaban ke server ThingSpeak. Pengguna dapat memperoleh dan mengakses data lingkungan ini melalui media sosial Twitter dan situs web dari mana saja. Pengiriman data tercepat diperoleh dengan interval waktu 16 detik untuk setiap pengiriman paket data saat terdapat koneksi Internet.</p>
<p>Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya CO, CO₂, dan CH₄ Di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler.[6]</p>	<p>Solusi pada jurnal ini adalah sebuah alat yang dapat memonitoring kadar udara dan gas berbahaya di dalam ruang.</p>	<p>Hasil yang didapatkan pada jurnal ini adalah alat ini menggunakan sensor gas MQ 135 dengan tipe berbeda berdasarkan sensitivitas dari ketiga gas tersebut. Pengendali utama alat dengan mikrokontroler ATMEGA 8535 yang digunakan memonitor kadar gas yaitu output tampilan LCD, indikator LED dan blower sebagai netralisir udara bersih dari polutan gas berbahaya. Dari hasil pengujian alat dengan menggunakan sensor MQ 135 terhadap kandungan gas CO, CO₂ dan CH₄. Sensor CO dengan maksimum range 2000 ppm, CO₂ dengan maksimum range 10000 ppm, dan CH₄ dengan maksimum range</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		<p>20000 ppm. Jika terdapat kadar gas berbahaya maka secara otomatis LED merah, buzzer, dan blower akan aktif. Blower akan membuang udara tercemar keluar simulasi ruangan sampai udara bersih kembali.</p>
<p>Larik Sensor Gas Berbasis IoT untuk Monitoring dan Kontrol Gas Berbahaya.[3]</p>	<p>Solusi yang digunakan adalah membuat alat untuk memonitoring gas berbahaya dalam ruangan berbasis IoT.</p>	<p>Hasil dari penelitian ini adalah sebuah alat yang memonitoring gas berbahaya dalam ruangan dan mengetahui jumlah sensor yang dibutuhkan berdasarkan volume ruangan. Gas berbahaya yang dideteksi meliputi gas metana (CH₄), butana (C₄H₁₀) dan karbon monoksida (CO). Alat ini menggunakan satu larik sensor gas yaitu sensor MQ-2, MQ-6 dan MQ-7. Setiap sensor mendeteksi gas yang berbeda-beda, sensor MQ-2 untuk deteksi gas metana, sensor MQ-6 untuk deteksi gas butana dan sensor MQ-7 untuk deteksi gas karbon Monoksida. Dalam melakukan pemrosesan informasi menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Hasil dari pendeteksian sensor dapat disimpan dan diakses dengan menggunakan platform Thingspeak. Jika pembacaan sensor gas melebihi nilai threshold, yaitu > 200</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
		ppm, maka exhaust fan menyala sampai kadar gas didalam ruangan berkurang ≤ 200 ppm. Alat ini dapat mendeteksi kadar gas berbahaya dalam ruangan dengan baik.

Dari seluruh alat yang terdapat pada studi literatur tersebut beberapa menggunakan sensor MQ untuk mendeteksi gas berbahaya. Contohnya pada studi literatur yang berjudul “Larik Sensor Gas Berbasis IoT untuk Monitoring dan Kontrol Gas Berbahaya.” menggunakan sensor MQ-2 untuk mendeteksi gas metana, sensor MQ-6 untuk mendeteksi gas butana dan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas karbon monoksida. Dari beberapa studi literatur tersebut dapat diberi kesimpulan bahwa sensor MQ sangat efektif untuk mendeteksi gas karena sudah terbukti kinerja alatnya pada beberapa studi literatur.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang dimaksud dengan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Setiap sampah yang dihasilkan proses pertamanya yaitu memasuki Tempat Penampungan Sementara (TPS). TPS merupakan tempat penampungan sebelum sampah diangkut ke tempat pendauran ulang, pengolahan, Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST), Tempat Pengolahan Sampah *Reduce, Reuse, Recycle* (TPS 3R), dan terakhir ke TPA.[10]

Proses selanjutnya sampah akan dikelola di TPS 3R. TPS 3R memiliki konsep dengan tujuan *Reduce* (mengurangi), *Reuse* (menggunakan kembali) dan *Recycle* (daur ulang). TPS 3 R kemudian juga bertujuan untuk melayani suatu kelompok masyarakat, termasuk di kawasan masyarakat berpenghasilan rendah yang terdiri dari minimal 400 rumah atau kepala keluarga. Tujuan utama pengolahan sampah di TPS 3R adalah untuk mengurangi kuantitas dan/atau

memperbaiki karakteristik sampah sebelum nantinya diolah lebih lanjut di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. TPS 3R diatur dalam Permen No. 2 tahun 2013 pasal 29 ayat 2 dan ayat 3.

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) merupakan tempat dilakukannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, pendauran ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah. TPST punya sistem proses sampah yang lebih kompleks dibandingkan dengan TPS 3R (Tempat Pemrosesan Sampah *Reduce-Reuse-Recycle*), sebab TPST mengelola sampah sampai pada pemrosesan akhir sampah sehingga aman saat dikembalikan ke lingkungan. TPST dijelaskan dalam Permen No. 2 tahun 2013 pasal 32.

Proses terakhir, sampah akan dipindahkan ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). TPA menjadi tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Perbedaan antara TPST dengan TPA adalah dalam kebijakan sistem pengelolaan sampahnya. TPST melakukan berbagai kegiatan pengolahan sampah seperti kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, pendauran ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah. Sementara TPA melakukan pengurusan sampah dengan metode *landfill* yang dikembangkan menjadi *controlled landfill* dan *sanitary landfill*.

Isolasi sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) memiliki pentingnya yang vital dalam mencegah berbagai permasalahan. Pertama, isolasi TPA mencegah pertumbuhan penyebab penyakit, mengingat sampah dapat menjadi tempat berkembang biak bagi vektor penyakit seperti tikus, lalat, kecoa, dan nyamuk. Selain itu, isolasi juga berperan dalam menghindari pencemaran udara, khususnya terkait dengan gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari reaksi pembusukan anaerobik sampah organik. Gas metana ini memiliki potensi ledakan jika terkena percikan api atau petir, dan juga merupakan penyumbang signifikan terhadap perubahan iklim yang ekstrem. Terakhir, isolasi TPA juga mengurangi risiko pencemaran lindi, yaitu air yang muncul dari proses dekomposisi sampah dan dapat meresap serta mencemari air tanah. Timbulnya lindi dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk curah hujan, aliran permukaan, infiltrasi, temperatur, komposisi sampah, dan kondisi tumpukan sampah di TPA.

2.2.2 Gas Metana (CH_4)

Sampah yang tertimbun dalam jangka waktu tertentu akan mengalami dekomposisi dan menghasilkan beberapa gas yang menyebar di udara, beberapa gas yang dihasilkan dari proses degradasi sampah organik diantaranya yang paling banyak dihasilkan yaitu gas metana (CH_4) dan

karbon dioksida (CO₂). Gas metana yang dilepaskan ke udara begitu saja memiliki emisi gas rumah kaca sebesar 21 kali lebih buruk dari CO₂. Efek akut dari terpapar oleh gas metana adalah kekurangan oksigen, yaitu < 16%. Masalah kesehatan akan timbul jika terhirup gas metana dalam konsentrasi tinggi. Gejala-gejala yang timbul adalah kekurangan oksigen, nafas menjadi cepat, denyut nadi meningkat, koordinasi otot menurun, emosi meningkat, mual, muntah, kehilangan kesadaran, gagal nafas, dan kematian. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-2.[6]

2.2.3 Gas Amonia (NH₃)

Sistem *landfill* dilakukan dengan sampah yang dibuang ke TPA akan ditutup menggunakan tanah secara berkala untuk menimbun sampah. Sampah yang tertutup tanah akan memiliki kadar oksigen rendah sehingga mengalami proses dekomposisi sampah secara anaerob dan menghasilkan gas salah satunya yaitu gas amonia. Amonia memiliki karakteristik tidak berwarna namun memiliki bau yang menyengat, bersifat korosif dan sangat toksik bahkan dalam konsentrasi rendah. Gas amonia dapat tercium pada kadar 0,003 ppm. Toksisitas kronis amonia pada kadar > 35 ppm dapat menyebabkan kerusakan ginjal, kerusakan paru-paru, mereduksi pertumbuhan dan malfungsi otak serta penurunan nilai darah. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-135.[11]

2.2.4 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan senyawa molekul kembar yang berupa gas, tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar, dipakai dalam pembuatan berbagai macam senyawa organik dan anorganik. Gas ini sangat toksik terhadap manusia. Setelah udara dihirup, karbon monoksida berikatan dengan molekul hemoglobin pada sel darah merah, menggantikan oksigen. Karbon monoksida mengikat hemoglobin dua ratus kali lebih efektif daripada oksigen. Hal ini mencegah butir darah merah membawa oksigen ke jaringan tubuh. Oleh karena itu, karbon monoksida merupakan racun yang bekerja dengan cepat. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-7. [6]

2.2.5 Karbon Dioksida (CO₂)

Pada bentuk padat dan cair, karbon dioksida bersifat sangat mudah menguap sehingga dapat melepaskan gas dengan segera. Pada konsentrasi 2-10% dapat menimbulkan rasa asam, dyspnea, sakit kepala, vertigo, mual, kesulitan bernafas, lemah, mengantuk, mental confusion, peningkatan tekanan darah, peningkatan denyut jantung, peningkatan laju pernafasan. Paparan 10% karbon dioksida selama beberapa menit dapat menyebabkan gangguan penglihatan, tinnitus, tremor, keringat berlebih, gelisah, parestesi, ketidaknyamanan secara umum, hilang kesadaran, dan koma. Pada konsentrasi 25-30% dapat menyebabkan koma dan konvulsi dalam satu menit. Takikardia dan aritmia juga mungkin terjadi. Pada konsentrasi 50% dapat menimbulkan gejala hipokalsemia termasuk spasme karpopedal. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-135. [6]

2.2.6 Hidrogen Sulfida (H₂S)

Sampah merupakan salah satu sumber pencemaran udara. Polutan pencemar udara yang berasal dari sektor sampah salah satunya yaitu hidrogen sulfida (H₂S). Gas tersebut berasal dari proses dekomposisi sampah. Gas H₂S tersebut jika menyebar ke udara akan menurunkan kualitas udara di lingkungan sekitarnya. H₂S bersifat racun bagi tubuh dan juga memiliki bau busuk sehingga secara estetika tidak dapat diterima. Jadi, penumpukan sampah yang membusuk tidak dapat dibenarkan. Terdapat dampak kronis berupa batuk, infeksi pada saluran pernapasan dan sakit kepala pada paparan H₂S dengan konsentrasi 2.3 µg/m³, 24 µg/m³ dan 152 µg/m³ maksimum selama 24 jam. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-136. [12]

2.2.7 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Proses dekomposisi sampah organik di TPA berpotensi menyebabkan pencemaran udara. Proses dekomposisi sampah di TPA menghasilkan gas yang disebut dengan landfill gas (LFG). Sedangkan Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas berwarna yang variasi warnanya dari kuning ke coklat. NO₂ penting untuk diperhatikan karena berkontribusi besar sebagai perkursor untuk sejumlah polutan udara sekunder yang berbahaya, termasuk asam nitrat, bagian nitrat aerosol anorganik sekunder dan oksidan foto, termasuk ozon. Selain itu konsentrasi NO₂ yang tinggi juga dapat menyebabkan penyakit kardiovaskular pada manusia. Untuk mendeteksi serta mengukur gas, digunakan sensor MQ-135. [13]

2.2.8 *Internet of Things*

Internet of Things atau yang biasa disebut dengan IoT adalah sebuah metode jaringan yang menghubungkan berbagai objek yang memiliki identitas pengenal serta alamat IP, sehingga dapat saling berkomunikasi ataupun bertukar informasi mengenai dirinya maupun lingkungan disekitarnya. Internet of things ini merupakan hasil perkembangan teknologi yang menjanjikan karena mampu mengoptimalkan kehidupan dengan metode yang cerdas serta dapat bekerjasama dalam internet. cara kerja dari IoT adalah setiap benda harus memiliki sebuah alamat *Internet Protocol* (IP). Alamat *Internet Protocol* (IP) adalah sebuah identitas dalam jaringan yang membuat benda tersebut bisa diperintahkan dari benda lain dalam jaringan yang sama. Selanjutnya, alamat *Internet Protocol* (IP) dalam benda-benda tersebut akan dikoneksikan ke jaringan internet.[14]

Konsep *Internet of Things* (IoT) melibatkan koneksi perangkat fisik ke internet dengan tujuan mengumpulkan data, berkomunikasi, dan melakukan tindakan. Dalam konteks monitoring gas berbahaya di area pembuangan atau pengolahan sampah, IoT digunakan dengan sensor gas untuk mengukur konsentrasi gas, mengirim data melalui internet ke cloud untuk analisis dan notifikasi. Hal ini memungkinkan pemantauan jarak jauh yang meningkatkan keamanan, efisiensi, dan respons terhadap situasi berbahaya. Perlu ditekankan bahwa implementasi yang cermat dan perawatan sensor sangat penting dalam pengelolaan gas berbahaya di lingkungan tersebut.

2.2.9 Persamaan Mendapatkan Nilai Gas Satuan PPM

Sensor gas MQ sering digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas dan mengukur konsentrasinya dalam satuan PPM (parts per million). Proses pengukuran ini melibatkan beberapa langkah dan rumus. Pertama-tama, pembacaan analog VRL diperoleh menggunakan fungsi *analogRead*, yang mengukur tegangan keluaran sensor dengan nilai maksimum 5.0V. Pembacaan ini dinyatakan dalam bentuk digital dengan skala 0 hingga 1024, yang kemudian dikonversi kembali ke bentuk tegangan menggunakan rumus:

$$VRL = analog\ Read \times \left(\frac{5.0}{1024}\right)$$

$$Rs = \left(\frac{5.0}{VRL} - 1\right) \times RL \quad (2.1)$$

$$ratio = \frac{R_s}{R_o}$$

$$ppm = round(10^{\frac{\log_{10}(ratio)-b}{m}})$$

Keterangan :

- VRL = tegangan yang terbaca dari sensor gas.
- R_s = resistansi sensor.
- R_L = resistansi beban (load resistance) yang digunakan.
- R_o = resistansi sensor gas dalam kondisi referensi (kalibrasi).
- ratio = rasio antara R_s dan R_o untuk sensor gas.
- ppm = konsentrasi gas dalam satuan ppm (parts per million).
- b dan m = koefisien untuk gas berdasarkan kurva karakteristik sensor.

2.3 Analisis Stakeholder

Stakeholder pertama adalah konsumen, *stakeholder* ini merupakan tujuan utama dari proyek ini karena permasalahan yang diselesaikan berasal dari konsumen. Selain itu, konsumen adalah pengguna dari alat yang diciptakan sebagai solusi dari permasalahan yang mereka alami. Dalam proyek tugas akhir ini yang bertindak sebagai konsumen adalah pengelola tempat pembuangan atau pengolahan sampah. *Stakeholder* kedua adalah dosen pembimbing, yang berperan sebagai perwakilan dari jurusan Teknik Elektro. Dosen pembimbing memonitor serta memberikan saran kepada anggota kelompok tugas akhir, dan memiliki pengaruh signifikan dalam proyek ini. Dosen pembimbing memiliki kemampuan untuk memberikan arahan dan solusi berdasarkan pengetahuan serta pengalaman yang dimilikinya, yang sangat berperan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang muncul selama proyek tugas akhir ini. *Stakeholder* ketiga adalah anggota kelompok tugas akhir, yang merupakan *stakeholder* utama dalam proyek ini. Mereka terlibat dari tahap awal hingga akhir proyek. Anggota kelompok memiliki peran penting dalam proses perancangan dan pembuatan alat sebagai solusi berdasarkan permasalahan yang terdapat dalam judul proyek tugas akhir. Mereka juga bertanggung jawab atas pemilihan semua komponen yang akan digunakan.

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

2.4.1 Aspek Lingkungan

Penempatan alat harus strategis yaitu ditempatkan dekat dengan sampah agar alat dapat dengan mudah mendeteksi keberadaan gas berbahaya yang mungkin terdapat pada sampah. Dalam rangka optimalisasi penempatan alat, diperlukan suatu media yang dapat mendukung posisi strategis alat, seperti penggunaan tiang sebagai sarana penempatan di dekat area sampah. Media ini diharapkan dapat memberikan kestabilan dan ketinggian yang tepat untuk memastikan alat dapat berfungsi secara efektif dalam mendeteksi adanya gas berbahaya pada sampah.

2.4.2 Aspek Ekonomi

Aspek Ekonomi dalam hal ini mencakup beberapa pertimbangan penting. Pertama, diperlukan investasi yang signifikan untuk biaya operasional sistem monitoring. Kedua, penting untuk memahami secara menyeluruh biaya risiko dan manfaat ekonomi yang terkait dengan penggunaan sistem ini. Tidak memiliki sistem monitoring yang memadai dapat mengakibatkan biaya jauh lebih besar karena dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Sebaliknya, pencegahan emisi gas berbahaya dapat mengurangi biaya jangka panjang, dan ini merupakan langkah awal untuk menghindari risiko paparan gas berbahaya yang dapat mengancam kesehatan.

Aspek ekonomi mencakup biaya implementasi yang dimana untuk perancangan dan implementasi sistem pendeteksi gas berbahaya memerlukan investasi dalam hal perangkat lunak dan perangkat keras. Aspek ekonomi yang dimaksud adalah anggaran yang perlu dipertimbangkan dengan baik.

2.4.3 Aspek Sosial

Aspek sosial menjadi relevan di sekitar area pembuangan atau pengolahan sampah yang memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Sehingga perancangan alat yang akan dibuat menggunakan komponen notifikasi pada perangkat pengguna dan lampu pada alat sebagai peringatan pendeteksi gas berbahaya yang melebihi batas aman. Komponen peringatan diatur sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kondisi sosial di sekitar tempat pembuangan sampah, dengan tujuan agar tidak mengganggu masyarakat setempat.

2.4.4 Aspek Kesehatan

Gas berbahaya yang ditimbulkan dari sampah dapat berdampak kepada kesehatan pengelola maupun masyarakat disekitar tempat pembuangan sampah. Oleh karena itu, kami menggunakan komponen peringatan seperti *buzzer* yang dapat mengeluarkan suara. Hal ini bertujuan agar orang di sekitar alat segera menjauh ketika gas berbahaya terdeteksi.

2.4.5 Aspek Hukum

- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah: Undang-Undang ini mengatur tentang pengelolaan sampah secara umum, termasuk di dalamnya pengelolaan gas berbahaya yang dihasilkan dari proses pembuangan sampah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3): Peraturan Pemerintah ini memberikan ketentuan lebih rinci mengenai pengelolaan sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), yang melibatkan juga gas berbahaya yang dapat dihasilkan di TPS/TPA.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/MenLHK/SETJEN/SET.1/PLB.3/11/2017 tentang Standar Baku Mutu Udara Ambien: Peraturan ini menetapkan standar baku mutu udara ambien, yang mencakup parameter-parameter tertentu termasuk gas berbahaya. Pengukuran dan pemantauan gas berbahaya di sekitar TPA/TPS harus mematuhi standar ini.

2.5 Spesifikasi Sistem

1. Dapat mendeteksi gas berbahaya yang meliputi gas metana, gas hidrogen sulfida, gas amonia, gas nitrogen dioksida, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida
2. Mendeteksi gas berbahaya apabila berada diatas nilai ambang batas
3. Dapat memberikan peringatan kepada *stakeholder* atau masyarakat terkait gas berbahaya apabila melebihi nilai ambang batas tertentu
4. Dapat mengirimkan data secara *real-time*
5. Terdapat media interface antara sistem dengan user

BAB 3. USULAN SOLUSI

Untuk merancang sistem monitoring gas berbahaya di tempat pembuangan atau pengolahan sampah perlu memperhatikan beberapa aspek seperti aspek kesehatan, ekonomi, sosial dan lingkungan. Aspek lingkungan perlu diperhatikan karena emisi gas berbahaya perlu dimonitor dengan cermat karena hal ini membantu mengukur emisi gas berbahaya ke atmosfer. Aspek ekonomi perlu untuk memahami secara menyeluruh biaya risiko dan manfaat ekonomi yang terkait dengan penggunaan sistem ini. Aspek sosial perlu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang potensi bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh gas-gas berbahaya dan bagaimana cara melindungi diri mereka. Aspek yang paling penting adalah aspek kesehatan karena Paparan akut dan kronis terhadap gas-gas berbahaya dapat memiliki dampak kesehatan yang serius, termasuk iritasi saluran pernapasan, keracunan, dan masalah pernapasan kronis.

3.1 Usulan Solusi 1

Untuk usulan solusi pertama adalah sistem monitoring gas berbahaya. Alat ini menggunakan baterai, sensor MQ, mikrokontroler ATMEGA8535, modul wifi ESP8266, *buzzer*, LED dan LCD. Metode yang digunakan untuk mendeteksi adanya gas berbahaya meliputi gas CO, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dan NO₂. Pengendali utama alat dengan mikrokontroler ATMEGA 8535 yang digunakan memonitor kadar gas yaitu output tampilan LCD. Ketika kadar gas sudah melampaui ambang batas maka *buzzer* dan LED akan menyala. Kadar gas berbahaya akan terlihat pada LCD.

3.1.1 Desain Sistem 1

Pada sistem 1 ini menggunakan sensor gas, mikrokontroler, modul wifi, LED hijau, LED merah, *buzzer* dan LCD. Sensor gas merupakan perangkat teknologi yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas-gas yang memiliki potensi bahaya dalam suatu lingkungan. Perangkat ini sangat penting untuk memonitor keberadaan gas-gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H₂S), atau gas lainnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia atau menyebabkan risiko kebakaran atau ledakan.

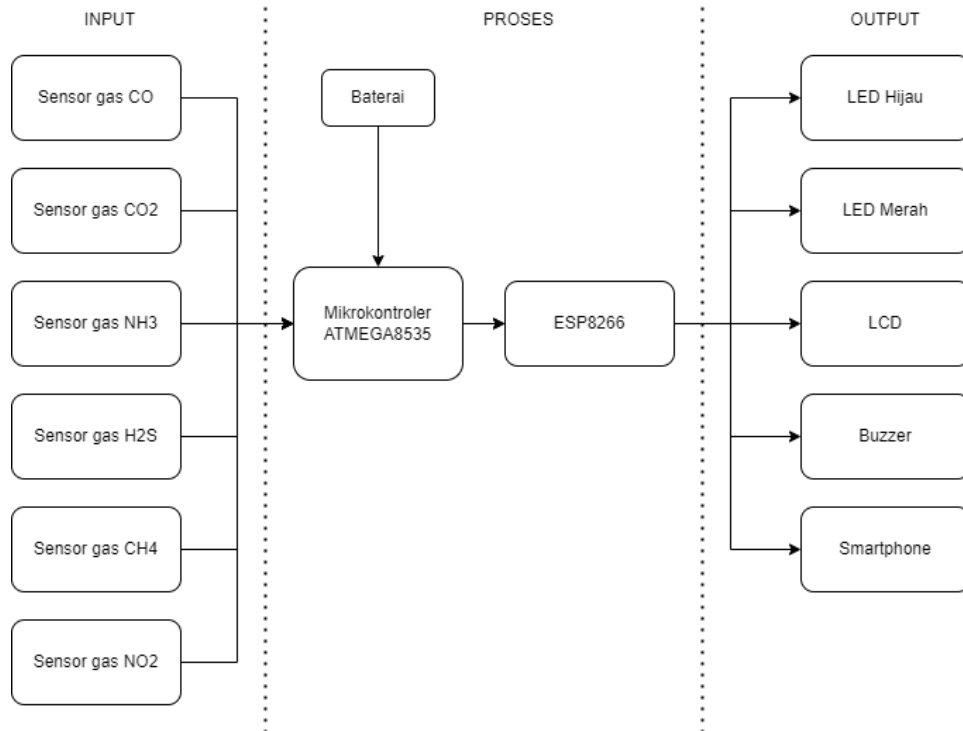
Mikrokontroler merupakan suatu bentuk mikroprosesor yang terintegrasi dan dirancang untuk memfasilitasi kendali dan pengolahan data dalam suatu sistem tertentu. Fungsi utamanya mencakup menjalankan program terprogram, mengontrol perangkat keras (*hardware*), dan

berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya melalui berbagai port *input/output*. Keunggulan mikrokontroler terletak pada kemampuannya untuk diintegrasikan dalam perangkat elektronik dan sistem tertentu, seringkali dalam peran yang spesifik. Dengan fitur-fitur seperti memori *onboard*, modul komunikasi, dan berbagai periferal terkait, mikrokontroler dapat diatur untuk memenuhi berbagai kebutuhan aplikasi, mulai dari sistem kendali sederhana hingga tugas-tugas yang lebih kompleks. Penggunaan mikrokontroler melibatkan pengembangan perangkat lunak (*software*) yang dirancang untuk mengatur perilaku dan fungsi dari sistem tertentu.

Modul Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) adalah komponen atau perangkat keras yang digunakan untuk memungkinkan perangkat elektronik seperti komputer, *smartphone*, atau perangkat lainnya untuk terhubung ke jaringan nirkabel. Fungsi utama modul Wi-Fi adalah untuk menyediakan konektivitas nirkabel, memungkinkan pertukaran data antar perangkat melalui gelombang radio.

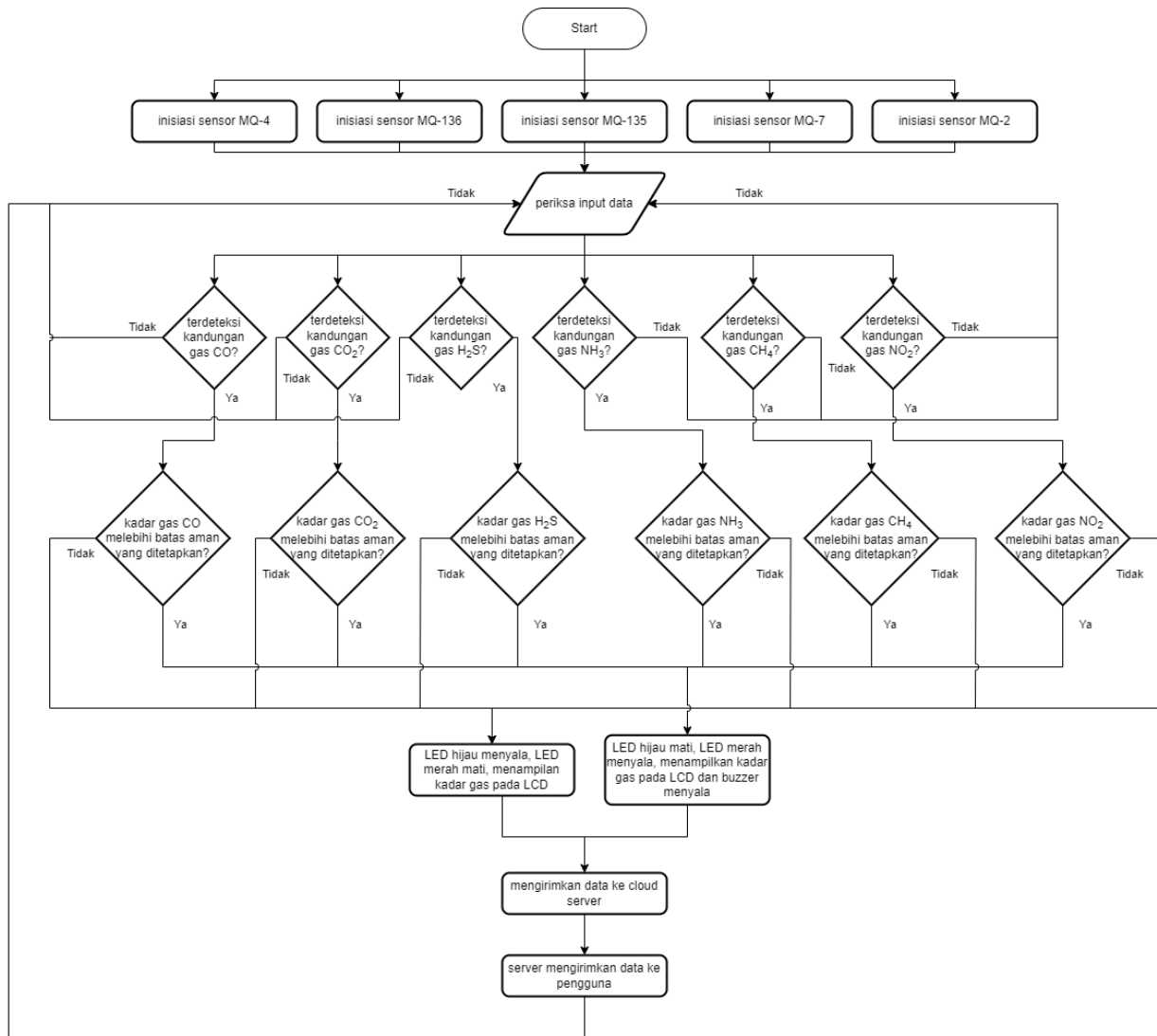
LED hijau akan digunakan untuk indikator gas berbahaya yang masih pada batas aman. LED merah digunakan sebagai indikator gas berbahaya yang sudah melebihi batas aman. Buzzer digunakan sebagai indikator ketika gas berbahaya sudah melebihi batas aman sehingga buzzer akan menyala ketika sensor gas mendeteksi gas berbahaya melebihi batas aman. LCD digunakan untuk memberikan informasi kadar gas yang terdeteksi oleh sensor gas.

Gambar 3.1 merupakan diagram blok untuk desain sistem usulan 1 yang dimana terdapat 3 bagian yaitu *input*, proses dan *output*. Pada bagian *input* terdapat sensor gas yang akan mendeteksi gas berbahaya yang kemudian data hasil pendeteksi gas berbahaya akan dikirimkan ke bagian proses. Pada bagian proses terdapat baterai sebagai sumber tenaga pada alat ini, mikrokontroler ATMEGA8535 sebagai komponen untuk memproses data dan modul wifi ESP3266 sebagai komponen yang akan mengirimkan data ke *smarthphone* pengguna. Pada bagian *output* terdapat LED merah yang akan menyala jika sensor gas mendeteksi gas berbahaya melebihi batas aman, LED hijau yang akan menyala jika sensor gas mendeteksi gas berbahaya masih pada batas aman, LCD yang akan menampilkan kadar gas yang terdeteksi oleh sensor gas, buzzer yang akan menyala ketika sensor gas mendeteksi gas berbahaya melebihi batas aman dan *smartphone* pengguna untuk menampilkan informasi kadar gas pada smartphone pengguna dan menampilkan notifikasi peringatan jika kadar gas berbahaya melebihi batas aman.



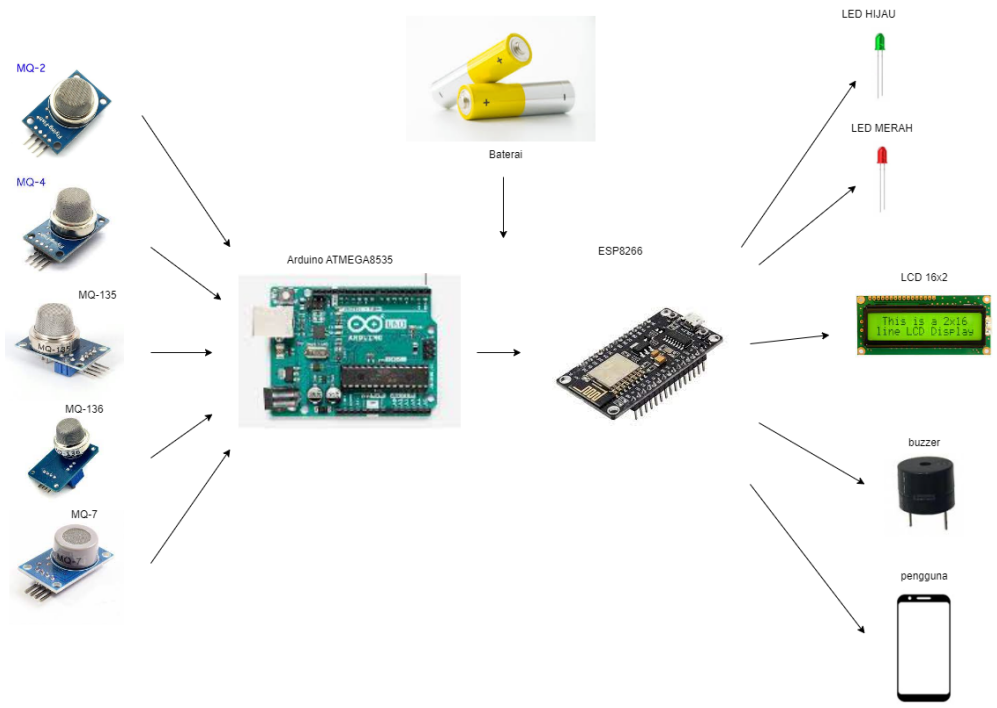
Gambar 3.1 Diagram Blok Alat Usulan 1

Gambar 3.2 merupakan diagram alir proses cara kerja pada sistem desain usulan 1. Diagram alir ini dimulai dari menginisiasi setiap sensor gas yang kemudian memeriksa input data. Setelah memeriksa input data maka sistem akan mengolah data yang jika terdeteksi gas berbahaya maka lanjut ke tahap selanjutnya dan jika tidak terdeteksi gas berbahaya maka akan kembali memeriksa input data. Ketika terdeteksi gas berbahaya maka sistem akan mengolah datanya kembali yang jika kadar gas tersebut melebihi batas aman maka LED hijau mati, LED merah menyala dan LCD akan menampilkan kadar gas yang selanjutnya sistem akan mengirimkan data ke cloud server dan server akan mengirimkan data ke *smartphone* pengguna, kemudian sistem akan kembali memeriksa input data terbaru. Pada kondisi terdeteksi kadar gas tidak melebihi batas aman maka LED hijau menyala, LED merah mati dan LCD akan menampilkan kadar gas yang selanjutnya sistem akan mengirimkan data ke *cloud server* dan server akan mengirimkan data ke *smartphone* pengguna, kemudian sistem akan kembali memeriksa input data terbaru. Sistem ini tidak akan mati dikarenakan alat ini merupakan alat peringatan gas berbahaya sehingga jika alat ini mati dikhawatirkan akan adanya gas berbahaya yang melebihi batas aman dan tidak terdeteksi.



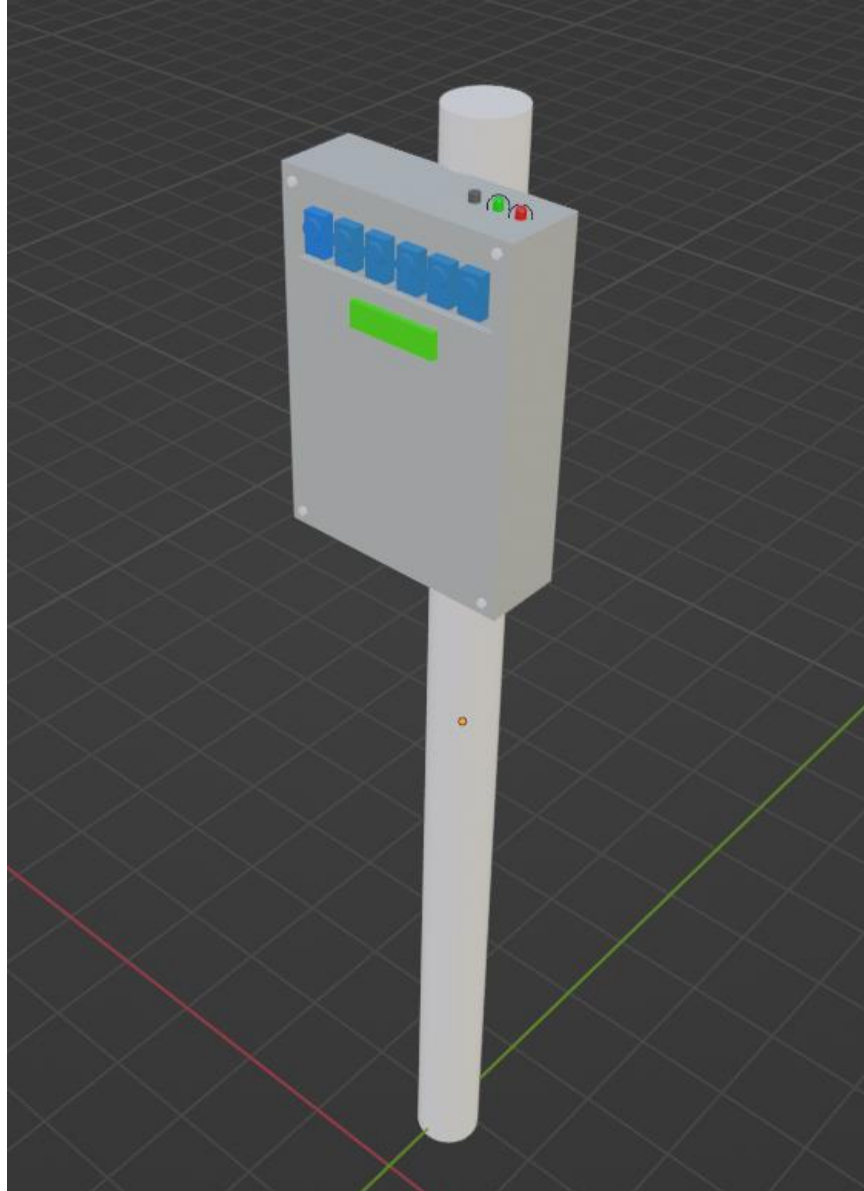
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Cara Kerja Sistem Usulan 1

Gambar 3.3 merupakan skema rangkaian sistem desain 1. Sensor gas akan terhubung ke arduino ATMEGA8535 untuk memberikan data hasil deteksi gas berbahaya. Baterai akan terhubung ke arduino ATMEGA8535 untuk memberikan sumber daya. Arduino ATMEGA8535 akan terhubung dengan ESP3266 untuk memancarkan wifi ke perangkat pengguna. Komponen LED hijau, LED merah, LCD dan *buzzer* akan terhubung dengan arduino ATMEGA8535 sebagai output sistem.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Usulan 1

Gambar 3.4 merupakan rencana tampilan alat usulan 1 yang digambarkan secara 3 Dimensi. Alat ini akan dipasang pada tiang setinggi 1,5 meter dari tanah agar dapat mendeteksi gas berbahaya dengan baik. Dengan menggunakan tiang untuk alat ini sehingga alat dapat ditempatkan dimana saja baik ditempatkan di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Dikarenakan peletakan alat sangat fleksibel maka alat ini akan ditempatkan dekat dengan sampah sehingga dapat mendeteksi gas berbahaya dengan baik. Peletakan LED merah, LED hijau, *Buzzer*, LCD, dan semua sensor gas diletakan diluar kotak. Sensor gas diletakan didepan kotak agar dapat mendeteksi gas berbahaya dengan baik.



Gambar 3.4 Tampilan 3D Alat Usulan 1

Tabel 3.1 adalah tabel kebutuhan perangkat keras untuk sistem desain 1. Sistem ini menggunakan sensor gas seperti sensor MQ-4, sensor MQ-136, sensor MQ-135, sensor MQ-7 dan sensor MQ-2.

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras pada usulan 1

No	Nama Alat	Keterangan
1	MQ-4	MQ-4 adalah sensor gas yang sensitif terhadap bau metana dan CNG. Gas metana adalah gas yang mudah meledak. Ini memungkinkan Anda memilih MQ4 untuk mendeteksi keberadaan gas metana di udara. Kami menggunakan sensor ini karena dapat mendeteksi gas metana.
2	MQ-136	MQ-136 adalah sensor gas yang sensitif terhadap gas hidrogen dan gas sulfida. Maka dari itu kami menggunakan sensor MQ-136 ini untuk mendeteksi gas hidrogen sulfida.
3	MQ-135	MQ-135 adalah sensor gas yang sensitif terhadap benzena, alkohol, dan asap rokok. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan alkohol atau asap rokok di sekitar kita. Sensor ini dapat mendeteksi gas amonia dan gas nitrogen dioksida. Oleh karena itu kami menggunakan sensor ini untuk mendeteksi gas amonia dan gas nitrogen dioksida.
4	MQ-7	MQ-7 adalah sensor gas yang sensitif terhadap karbon monoksida. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengukur kadar CO di udara. Oleh karena itu kami menggunakan sensor ini untuk mendeteksi karbon monoksida.
5	MQ-2	MQ-2 adalah sensor gas yang sensitif terhadap bau metana, butana, LPG dan asap rokok. Sensor ini biasanya digunakan untuk mendeteksi kebocoran LPG, keberadaan perokok atau lainnya. Namun semua bergantung sensitivitasnya. Sensor ini juga dapat mendeteksi karbon dioksida. Oleh karena itu kami menggunakan sensor ini untuk mendeteksi gas karbon dioksida.
6	ESP8266	NodeMCU dapat dianalogikan sebagai board arduino-nya ESP8266. Program ESP8266 sedikit susah karena diperlukan beberapa teknik wiring serta tambahan modul USB to serial untuk mengunduh program. Namun NodeMCU telah me-package ESP8266 ke dalam sebuah board yang kompak dengan berbagai fitur layaknya mikrokontroler kapabilitas akses terhadap Wifi juga chip komunikasi USB to serial. Sehingga untuk memprogramnya hanya diperlukan ekstensi kabel data USB persis yang digunakan charging smarphone.

No	Nama Alat	Keterangan
7	ATMEGA 8535	Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega8535 telah dilengkapi dengan ADC internal, EEPROM internal, Timer/Counter, PWM, analog comparator, dll. Sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini memungkinkan kita belajar mikrokontroler keluarga AVR dengan lebih mudah dan efisien, serta dapat mengembangkan kreativitas penggunaan mikrokontroler ATmega8535. Kami menggunakan mikrokontroler ATmega8535 ini untuk pengontrol sistem pada semua perangkat, selain itu Mikrokontroler juga berfungsi sebagai pengolah data analog dari sensor menjadi data digital untuk mengaktifkan LCD, LED dan buzzer.
8	Baterai	Baterai adalah sebuah perangkat yang menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik saat diperlukan. Fungsi utama baterai adalah menyediakan sumber daya listrik portabel untuk berbagai perangkat elektronik. Sumber tenaga menggunakan dua buah baterai DC 3,7 Volt untuk mengoperasikan alat ini.

3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Pada anggaran desain sistem pertama terdapat kebutuhan untuk pengadaan perangkat seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan sistem pada usulan 1

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Sistem Minimum ATMega8535	Pcs	Rp 70.000,-	1	Rp 70.000,-
2	IC ATMEGA8535	Pcs	Rp 85.000,-	1	Rp 85.000,-
3	ESP8266	Pcs	Rp 15.000,-	1	Rp 15.000,-
4	MQ-2	Pcs	Rp 22.000,-	1	Rp 22.000,-
5	MQ-7	Pcs	Rp 18.000,-	1	Rp 18.000,-

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
6	MQ-4	Pcs	Rp 15.000,-	1	Rp 15.000,-
7	MQ-135	Pcs	Rp 16.000,-	1	Rp 16.000,-
8	MQ-136	Pcs	Rp 320.000,-	1	Rp 320.000,-
9	LED	Pcs	Rp 600,-	2	Rp 1.200,-
10	LCD	Pcs	Rp 60.000,-	1	Rp 60.000,-
11	Buzzer 5 V	Pcs	Rp 1.500,-	1	Rp 1.500,-
12	Baterai 1500 mAh	Pcs	Rp 25.000,-	2	Rp 25.000,-
13	Tiang 2 meter	Pcs	Rp 45.000,-	1	Rp 45.000,-
Total Belanja					Rp 632.200,-

3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Pada usulan solusi pertama ini terdapat beberapa risiko. Berikut adalah analisis risiko teknis untuk usulan solusi pertama.

- Ketergantungan pada baterai, di mana baterai harus segera diganti dengan yang baru sebelum habis.
- Letak alat yang dekat dengan sampah sehingga alat menjadi lebih cepat kotor.
- Alat yang ditempatkan di luar ruangan pada tiang dapat lebih rentan terhadap pengaruh cuaca, seperti hujan, panas berlebih, atau suhu ekstrem, yang dapat merusak atau memengaruhi kinerjanya.

Berikut adalah analisis risiko non teknis untuk usulan solusi pertama.

- Harga komponen yang lebih mahal sehingga harus mengeluarkan biaya yang lebih banyak untuk membuat alat ini.

3.1.4 Pengukuran Performa

Berikut adalah pengukuran performa yang didasarkan dari spesifikasi sistem yang sudah diberikan.

A. Pengujian akurasi sensor gas:

1. Memastikan bahwa lingkungan pengujian mencerminkan kondisi nyata dimana sensor akan digunakan.
2. Gunakan alat ukur gas atau standar referensi yang telah dikalibrasi dengan akurat sebagai pembanding. Pastikan bahwa alat ini memiliki sertifikasi dan kalibrasi yang sesuai dengan standar industri.
3. Tempatkan sensor dan alat referensi pada posisi yang ditentukan dalam skenario pengujian. Paparkan sensor pada konsentrasi gas yang telah ditetapkan secara bertahap dan rekam responsnya.
4. Perbandingkan hasil pengukuran sensor dengan nilai yang dihasilkan oleh alat ukur gas referensi. Lakukan analisis statistik untuk menentukan tingkat akurasi, presisi, dan kesalahan sensor.

B. Pengujian kecepatan respon *output*:

1. Siapkan gas berbahaya yang akan digunakan untuk pengujian. Pastikan gas tersebut sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.
2. Lakukan pengujian dengan mendekatkan gas berbahaya ke sensor alat. Hal ini bertujuan untuk menginduksi respons sensor dan menghasilkan output mengenai kadar gas yang terdeteksi.
3. Menghitung waktu yang dibutuhkan oleh alat untuk menghasilkan output sejak mendeteksi keberadaan gas berbahaya hingga lampu indikator pada alat menyala.

C. Pengujian sinkronisasi tampilan *output* pada LCD dan perangkat pengguna:

1. Pastikan perangkat pengguna terhubung secara tepat dengan alat yang akan diuji.
2. Sebelum melakukan pengujian, pastikan perangkat pengguna telah menerima informasi mengenai deteksi kadar gas dari alat.
3. Siapkan dan atur gas berbahaya sesuai dengan standar keselamatan untuk keperluan pengujian.
4. Lakukan pengujian dengan mendekatkan gas berbahaya ke sensor alat untuk memastikan respons yang akurat.
5. Amati kadar gas yang ditampilkan pada layar LCD alat dan perangkat pengguna.
6. Evaluasi hasil pengukuran dengan membandingkan output pada kedua tampilan. Pastikan adanya konsistensi antara keduanya.

D. Pengujian fungsi komponen peringatan:

1. Lakukan pengujian dengan mensimulasikan situasi gas berbahaya yang melebihi ambang batas. Pastikan bahwa sensor gas dapat mendeteksi peningkatan konsentrasi gas sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan.
2. Setelah sensor mendeteksi konsentrasi gas yang melebihi ambang batas, pastikan bahwa komponen peringatan, seperti *buzzer*, diaktifkan secara tepat waktu. Selain itu, verifikasi bahwa notifikasi dapat dikirim dengan benar ke smartphone pengguna.
3. Jika terdapat layar LCD pada sistem, pastikan bahwa informasi mengenai konsentrasi gas yang berbahaya dapat ditampilkan dengan jelas dan akurat pada layar tersebut.
4. Periksa notifikasi pada *smartphone* pengguna untuk memastikan bahwa informasi yang diterima sesuai dengan kondisi yang diuji. Pastikan notifikasi memberikan informasi yang jelas dan dapat dimengerti oleh pengguna.

3.2 Usulan Solusi 2

Untuk usulan solusi kedua adalah sistem monitoring gas berbahaya. Alat ini menggunakan , sensor MQ, mikrokontroler NodeMCU ESP32, *buzzer*, dan LCD. Metode yang digunakan untuk mendeteksi adanya gas berbahaya meliputi gas CO, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dan NO₂. Pengendali utama alat dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang digunakan memonitor kadar gas yaitu output tampilan LCD dan *buzzer*.

3.2.1 Desain Sistem 2

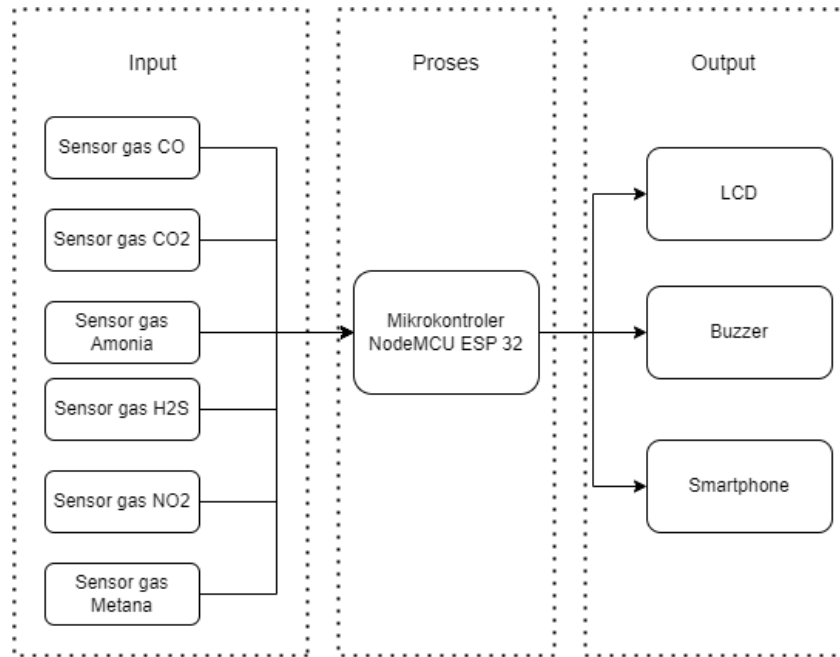
Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 3.3, terkait dengan kebutuhan komponen yang diusulkan serta keterangan mengenai komponen yang akan digunakan dalam desain sistem 2.

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras

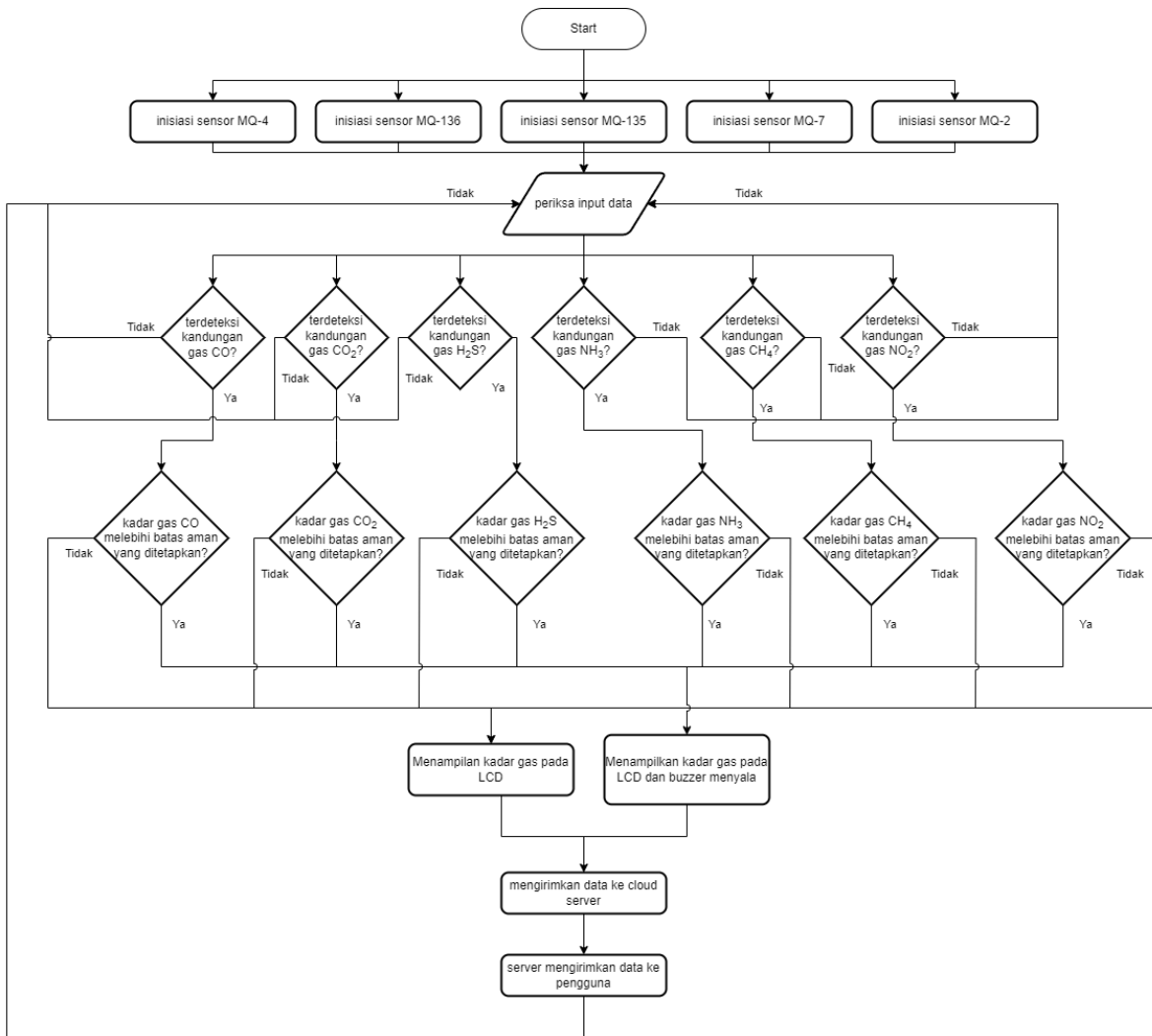
No	Nama Alat	Keterangan
1	NodeMCU ESP32	Mikrokontroller ini mempunyai fitur yang cukup lengkap dan mudah digunakan. Salah satu fitur yang paling menonjol adalah modul Wi-Fi.

No	Nama Alat	Keterangan
2	MQ-2	Sensor gas yang sensitif gas karbon dioksida
3	MQ-7	Sensor gas yang sensitif terhadap karbon monoksida. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengukur kadar CO di udara.
4	MQ-4	Sensor gas yang sensitif terhadap bau metana dan CNG. Gas metana adalah gas yang mudah meledak. Ini memungkinkan Anda memilih MQ4 untuk mendeteksi keberadaan gas metana di udara.
5	MQ-135	Sensor yang sensitif terhadap gas amonia dan gas nitrogen dioksida
6	MQ-136	MQ136 adalah sensor gas yang sensitif terhadap gas hidrogen dan gas sulfida.
7	Buzzer	Sebagai komponen yang menghasilkan output berupa bunyi beep. Kegunaan buzzer yang paling umum yaitu sebagai alarm, indikator suara
8	LCD	Alat yang berfungsi untuk menampilkan suatu ukuran besaran atau angka, sehingga dapat dilihat dan ketahui melalui tampilan layar kristalnya.

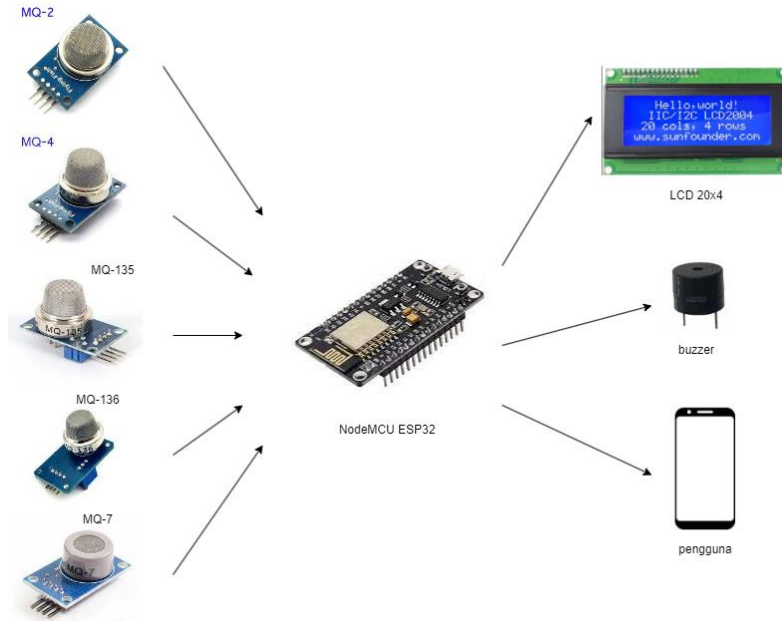
Dengan fokus utama pada implementasi sistem monitoring berbasis IoT dan tentu saja dengan biaya produk yang terjangkau, alat ini beroperasi secara sederhana menggunakan NodeMCU ESP32 untuk membaca data dari sensor gas secara berkala. Data yang terkumpul kemudian diolah guna menentukan apakah konsentrasi gas berada dalam batas aman atau tidak. Jika konsentrasi gas melebihi ambang batas yang telah ditentukan, NodeMCU dapat mengaktifkan buzzer sebagai peringatan. Selain itu, data sensor juga ditampilkan pada layar LCD untuk pemantauan langsung oleh pengguna. Tak hanya itu, data yang terkumpul dapat pula dikirim ke server atau penyimpanan awan melalui koneksi WiFi, memungkinkan pemantauan jarak jauh atau analisis lebih lanjut. Penting untuk mencatat bahwa kalibrasi sensor gas perlu diperhatikan guna memastikan akurasi pembacaan. Sistem ini membantu dalam memantau kualitas udara dan memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya gas berbahaya. Pada Gambar 3.5, terdapat perencanaan alat yang akan dibuat, sementara Gambar 3.6 menggambarkan proses kerja dari alat monitoring gas berbahaya. Skema rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.5 Diagram Blok Alat Usulan Solusi 2

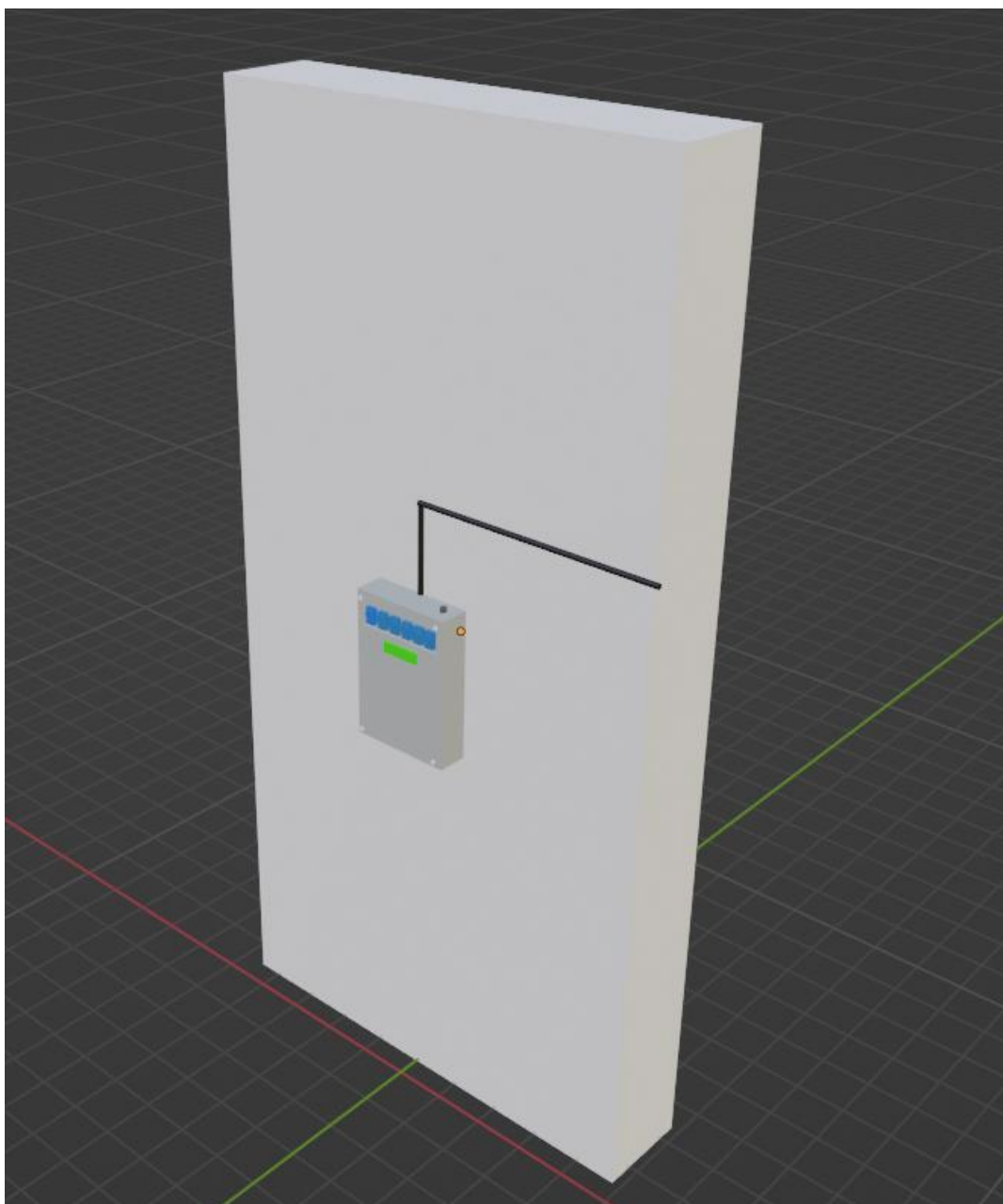


Gambar 3.6. Diagram Alir Proses Cara Kerja Sistem Usulan 2



Gambar 3.7. Skema Rangkaian Usulan 2

Dalam solusi kedua yang diusulkan, alat akan ditempatkan pada dinding tembok dengan menggunakan daya dari PLN. Pemasangan alat ini direncanakan setinggi 1,5 meter dari permukaan lantai, sehingga pengguna dapat dengan mudah melihat kadar gas yang ditampilkan pada layar LCD. Tampilan 3D dari alat dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tampilan 3D Alat Usulan 2

3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2

Pada anggaran desain kedua terdapat kebutuhan untuk pengadaan perangkat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembangan sistem

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	NodeMCU ESP32	Pcs	Rp 80.000,	1	Rp 80.000,
2	MQ-2	Pcs	Rp 22.000,	1	Rp 22.000,
3	MQ-7	Pcs	Rp 18.000,	1	Rp 18.000,
4	MQ-4	Pcs	Rp 15.000,	1	Rp 15.000,
5	MQ-135	Pcs	Rp 16.000,	1	Rp 16.000,
6	MQ-136	Pcs	Rp 320.000,	1	Rp 320.000,
7	Buzzer	Pcs	Rp 4200,	1	Rp 4.200,
8	LCD	Pcs	Rp 60.000,	1	Rp 60.000,
Total Belanja					Rp 573.000,

3.2.3 Analisis Risiko Desain

Pada usulan solusi pertama ini terdapat beberapa risiko. Berikut adalah analisis risiko untuk usulan solusi pertama.

- Konsumsi energi dari PLN, maka alat akan rentan terhadap gangguan atau pemadaman listrik yang mungkin terjadi
- Penempatan alat sensor yang menempel pada tembok dapat mempengaruhi efektivitas sensor, terutama dalam hal tingkat ketinggian pemasangan dan jarak dari sumber gas.
- Tidak terdapat LED pada output sistem sehingga ketika kadar gas berbahaya melebihi batas aman, pengguna hanya dapat mendengar suara buzzer saja. Dan tidak ada LED yang menginformasikan terdeteksinya gas berbahaya yang masih pada batas aman.

3.2.4 Pengukuran Performa

A. Pengujian akurasi sensor gas :

1. Memastikan bahwa lingkungan pengujian mencerminkan kondisi nyata dimana sensor akan digunakan.

2. Gunakan alat ukur gas atau standar referensi yang telah dikalibrasi dengan akurat sebagai pembanding. Pastikan bahwa alat ini memiliki sertifikasi dan kalibrasi yang sesuai dengan standar industri.
3. Tempatkan sensor dan alat referensi pada posisi yang ditentukan dalam skenario pengujian. Paparkan sensor pada konsentrasi gas yang telah ditetapkan secara bertahap dan rekam responsnya.
4. Perbandingkan hasil pengukuran sensor dengan nilai yang dihasilkan oleh alat ukur gas referensi. Lakukan analisis statistik untuk menentukan tingkat akurasi, presisi, dan kesalahan sensor.

B. Pengujian kecepatan respon output :

1. Siapkan gas berbahaya yang akan digunakan untuk pengujian. Pastikan gas tersebut sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.
2. Lakukan pengujian dengan mendekatkan gas berbahaya ke sensor alat. Hal ini bertujuan untuk menginduksi respons sensor dan menghasilkan output mengenai kadar gas yang terdeteksi.
3. Menghitung waktu yang dibutuhkan oleh alat untuk menghasilkan output sejak mendeteksi keberadaan gas berbahaya hingga lampu indikator pada alat menyala.

C. Pengujian sinkronisasi tampilan output pada LCD dan perangkat pengguna:

1. Pastikan perangkat pengguna terhubung secara tepat dengan alat yang akan diuji.
2. Sebelum melakukan pengujian, pastikan perangkat pengguna telah menerima informasi mengenai deteksi kadar gas dari alat.
3. Siapkan dan atur gas berbahaya sesuai dengan standar keselamatan untuk keperluan pengujian.
4. Lakukan pengujian dengan mendekatkan gas berbahaya ke sensor alat untuk memastikan respons yang akurat.
5. Amati hasil deteksi kadar gas yang ditampilkan pada layar LCD alat dan perangkat pengguna.
6. Evaluasi hasil pengukuran dengan membandingkan output pada kedua tampilan. Pastikan adanya konsistensi antara keduanya.

D. Pengujian fungsi komponen peringatan:

1. Lakukan pengujian dengan mensimulasikan situasi gas berbahaya yang melebihi ambang batas. Pastikan bahwa sensor gas dapat mendeteksi peningkatan konsentrasi gas sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan.
2. Setelah sensor mendeteksi konsentrasi gas yang melebihi ambang batas, pastikan bahwa komponen peringatan, seperti buzzer, diaktifkan secara tepat waktu. Selain itu, verifikasi bahwa notifikasi dapat dikirim dengan benar ke smartphone pengguna.
3. Jika terdapat layar LCD pada sistem, pastikan bahwa informasi mengenai konsentrasi gas yang berbahaya dapat ditampilkan dengan jelas dan akurat pada layar tersebut.
4. Periksa smartphone penerima notifikasi untuk memastikan bahwa informasi yang diterima sesuai dengan kondisi yang diuji. Pastikan notifikasi memberikan informasi yang jelas dan dapat dimengerti oleh pengguna.

3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Pemilihan usulan solusi desain terbaik dilakukan dengan menggunakan decision matrix analysis. Analisis ini dipilih karena dapat membandingkan solusi secara virtual dengan mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi. Tabel 3.5 menjelaskan faktor-faktor yang menjelaskan keunggulan dan resiko dari setiap usulan solusi. Tabel 3.6 menunjukkan decision matrix analysis dari kedua usulan solusi yang ditawarkan penulis.

Tabel 3.5 Faktor Bobot Usulan Solusi

Faktor	Point dan Keterangan		
	1	2	3
Kesulitan pembuatan Sistem	Penentuan nilai batas sulit pada sensor memerlukan kalibrasi, dan pemasangan alat cukup rumit.	Penentuan nilai batas sulit pada sensor memerlukan kalibrasi, dan pemasangan alat cukup mudah.	Penentuan Nilai Batas mudah pada Sensor dan Tidak Memerlukan Kalibrasi. Pemasangan alat cukup mudah
Perawatan	Memerlukan pengecekan rutin kondisi sistem setiap minggu sekali	Memerlukan pengecekan rutin kondisi sistem setiap bulan sekali	Tidak perlu memerlukan pengecekan rutin cukup setiap tahun sekali
Keamanan	Kemungkinan terjadinya kejadian kerusakan atau pencurian yang tinggi	Kemungkinan terjadinya kerusakan dan pencurian dianggap rendah.	Tidak terjadinya kerusakan dan pencurian namun tidak menutup kemungkinan bakal terjadi kerusakan dan pencurian
Biaya	Rp 1.000.000 hingga Rp 2.000.000	Rp 500.000 hingga Rp 999.999	Rp 0 hingga Rp 499.999

Tabel 3.6 Decision Matrix Analysis

Faktor	Usulan Solusi	
	Usulan 1	Usulan 2
Kesulitan pembuatan Sistem	2	1
Perawatan	2	2
Keamanan	2	2
Biaya	2	2
Total Point	8	7

Berdasarkan Tabel 3.6 Usulan Solusi 1 dan Usulan Solusi 2 memiliki beberapa perbedaan mendasar yang mempengaruhi pemilihan solusi yang optimal. Pada faktor kesulitan pembuatan sistem, Usulan Solusi 1 mendapatkan skor 2, yang menunjukkan bahwa penentuan nilai batas pada sensor memerlukan kalibrasi dan pemasangan alat cukup mudah. Sebaliknya, Usulan Solusi 2 hanya mendapatkan skor 1, yang berarti proses kalibrasi dan pemasangan alat lebih rumit dan memakan waktu. Dari segi perawatan, kedua usulan memiliki skor yang sama, yaitu 2, yang menunjukkan bahwa kedua solusi memerlukan pengecekan rutin kondisi sistem setiap bulan sekali.

Dalam hal keamanan, baik Usulan Solusi 1 maupun Usulan Solusi 2 memiliki skor yang sama, yaitu 2, yang menunjukkan bahwa kemungkinan terjadi kerusakan dan pencurian dianggap rendah. Begitu pula dengan faktor biaya, kedua usulan mendapatkan skor 2, yang berarti biaya pembuatan sistem berkisar antara Rp 500.000 hingga Rp 999.999.

Alasan utama memilih Usulan Solusi 1 adalah karena kemudahan dalam pembuatan sistem. Dengan skor total 8, lebih tinggi dibandingkan Usulan Solusi 2 yang memiliki skor total 7, Usulan Solusi 1 menawarkan keseimbangan terbaik antara kesulitan pembuatan, perawatan, keamanan, dan biaya. Kesulitan pembuatan yang lebih rendah berarti Usulan Solusi 1 lebih mudah diterapkan, menghemat waktu dan sumber daya dalam pengembangan. Selain itu, kemudahan implementasi ini akan mempermudah proses instalasi dan operasional, serta meminimalkan risiko kesalahan selama pemasangan. Oleh karena itu, Usulan Solusi 1 adalah pilihan yang lebih efisien dan efektif untuk diterapkan.

3.4 Gantt Chart

Tampilan gantt chart pada Tabel 3.7 tersebut akan menunjukkan suatu perencanaan dan manajemen waktu. Tujuan dari tampilan ini adalah melakukan visualisasi beberapa hal, berbagai tugas yang harus dikerjakan, penanggung jawab atas keberlangsungan kegiatan, dan lamanya waktu yang diperlukan.

Tabel 3.7 *Gantt chart* pelaksanaan *Capstone Project* sistem monitoring gas berbahaya

No.	Kegiatan/Capaian	2023				2024								
		Bulan ke -												
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Sosialisasi Capstone Desain 2023/2024	F,Z												
2	Mendaftar Judul Capstone Desain	F,Z												
3	Identifikasi Masalah	F,Z												
4	Mencari Studi Literatur	F,Z	F,Z											
5	Merancang Usulan Solusi		F,Z	F,Z	F,Z									
6	Melakukan Observasi di TPST Piyungan				F,Z									
7	Pengumpulan Proposal Tugas Akhir 1				F,Z									
8	Pembelian Alat dan Bahan				F,Z	F,Z								
9	Perancangan Alat					F,Z	F,Z	F,Z	F,Z					
10	Pemasangan Alat							F,Z	F,Z					
11	Pengujian Kinerja Alat							F,Z	F,Z					

No.	Kegiatan/Capaian	2023				2024								
		Bulan ke -												
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Pengumpulan Laporan Akhir										F,Z			
13	Expo (Ujian Akhir)											F,Z		

Ket. : PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) F : Ferdi, Z : Zaki

3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Pada Tabel 3.8 merupakan rincian aktivitas dan pelaksanaan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir 1 berdasarkan timeline pada Gantt Chart beserta peran dari masing-masing anggota.

Tabel 3.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Selasa, 5 September 2023, 3 jam	Sosialisasi Capstone Desain 2023/2024	Ferdi Zaki
2	Rabu, 6 September 2023, 1 Hari	Mendaftar Judul Capstone Desain	Ferdi Zaki
3	Jum'at, 15 September 2023, 2 jam	Identifikasi Masalah	Ferdi Zaki
4	Selasa, 26 September 2023, 2 jam	Mencari Studi Literatur	Ferdi Zaki
5	Selasa, 3 Oktober 2023, 2 jam	Mencari Studi Literatur	Ferdi Zaki
6	Jum'at, 13 Oktober 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
7	Selasa, 17 Oktober 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
8	Selasa, 7 November 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
9	Selasa, 14 November 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
10	Selasa, 21 November 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
11	Selasa, 28 November 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
12	Kamis, 30 November 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
13	Sabtu, 2 Desember 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi	Ferdi Zaki
14	Senin, 4 Desember 2023, 1 jam	Membuat Surat Izin Kampus untuk Keperluan Survei di TPA	Ferdi Zaki
15	Jum'at, 8 Desember 2023, 2 jam	Merancang Usulan Solusi dan Finalisasi Laporan Proposal Tugas Akhir 1	Ferdi Zaki
16	Senin, 11 Desember 2023, 2 jam	Menuju ke Dewan Lingkungan Hidup untuk Meminta Surat Izin Observasi	Ferdi Zaki
17	Sabtu, 16 Desember 2023, 2 jam	Melakukan Observasi di TPST Piyungan	Ferdi Zaki
18	Selasa, 19 Desember 2023, 2 jam	Melakukan Simulasi Seminar Proposal	Ferdi Zaki
19	Jum'at, 22 Desember 2023, 1 jam	Melakukan Seminar Proposal	Ferdi Zaki

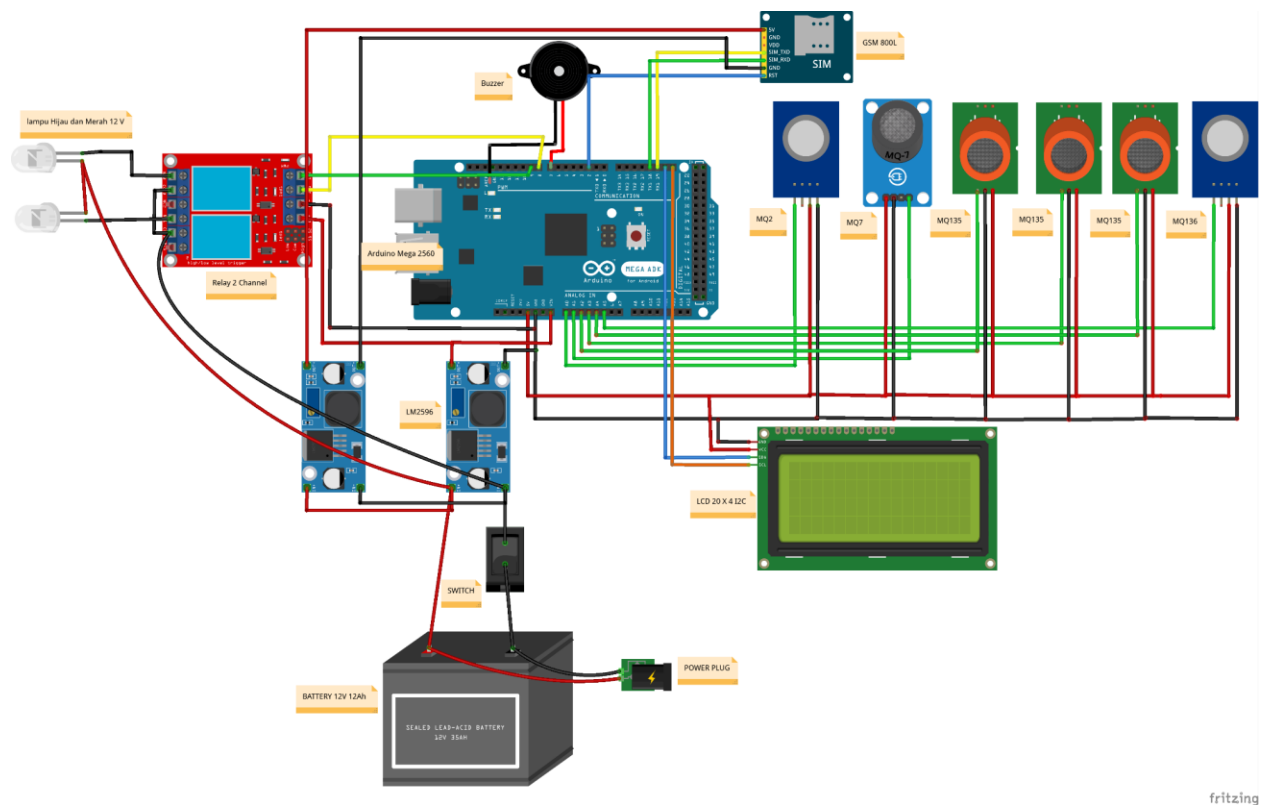
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

4.1 Hasil Rancangan Sistem

Implementasi desain sistem dilakukan melalui empat tahap yang saling berkesinambungan. Tahap pertama adalah merancang rangkaian listrik dengan memilih dan menghubungkan komponen elektronik sesuai kebutuhan. Tahap kedua adalah pembuatan desain 3D untuk memastikan kesesuaian dan efisiensi ruang serta estetika produk. Tahap ketiga adalah pengembangan perangkat lunak atau antarmuka pengguna untuk memastikan kemudahan penggunaan sistem. Tahap keempat adalah dokumentasi dan presentasi hasil akhir, termasuk foto produk jadi dan penjelasan rinci proses perancangan.

4.1.1 Rangkaian Elektronik

Pada tahap pertama merupakan tahap pembelian sensor dan komponen pendukung serta pemeriksaan fungsionalitas terhadap sensor. Pembelian komponen dilakukan secara *offline* di Yogyakarta dan *online* seperti Tokopedia dan shopee. Melakukan pemeriksaan komponen dilakukan satu persatu seperti kalibrasi sensor MQ, kalibrasi LCD 20x4 I2C dan LM2596. Pemeriksaan dilakukan menggunakan board Arduino mega 2560 yang dirangkai sesuai Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema Rangkaian Elektronik

Implementasi sistem ini menggabungkan berbagai komponen yang saling terintegrasi untuk menciptakan sebuah sistem kontrol yang komprehensif. Pada intinya, sistem dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560, yang berperan sebagai otak utama untuk menjalankan program yang mengatur operasi seluruh perangkat terhubung. Mikrokontroler ini menerima daya dari sumber utama, yaitu baterai pack berkapasitas 12V 12Ah, yang tegangannya diturunkan secara stabil menjadi 5V menggunakan modul buck converter LM2596. Penurunan tegangan ini penting untuk menyediakan daya yang sesuai bagi Arduino dan komponen lainnya.

Untuk konektivitas dan kontrol, sistem ini dilengkapi dengan beberapa modul sensor gas (MQ-2, MQ-7, MQ-135, MQ-136) yang masing-masing terhubung ke Arduino untuk mendeteksi berbagai jenis gas meliputi metana, amonia, nitrogen dioksida, karbon dioksida, karbon monoksida dan hidrogen sulfida. Modul GSM 800L digunakan untuk komunikasi jarak jauh, memungkinkan sistem mengirim dan menerima data melalui jaringan seluler. Selain itu, ada juga

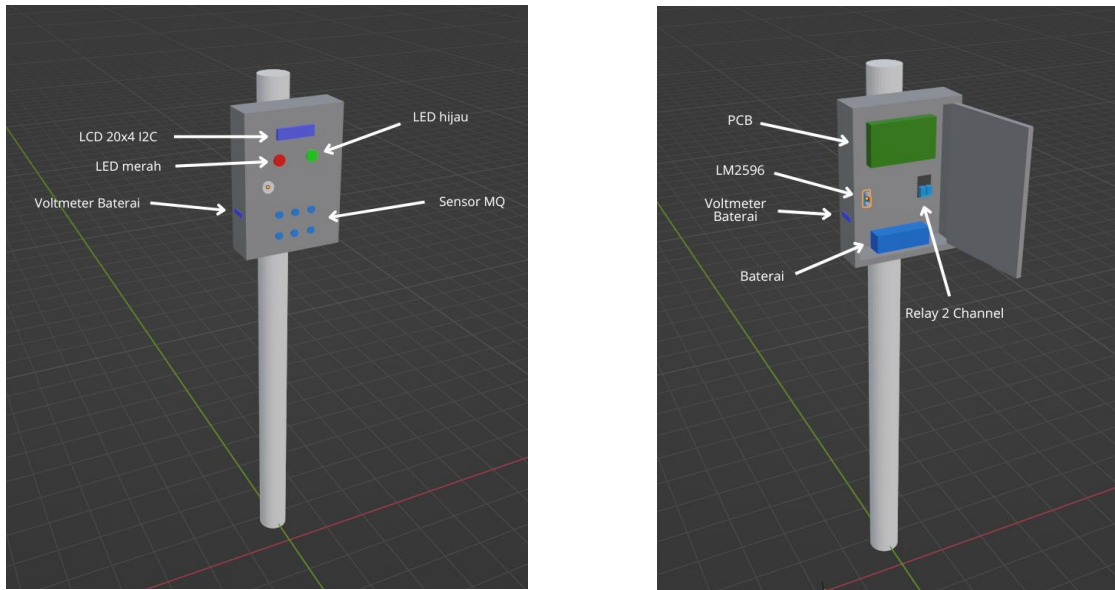
relay 2 channel yang mengontrol lampu hijau dan merah 12V, serta *buzzer* untuk memberikan indikasi suara.

Antarmuka pengguna dibangun menggunakan layar LCD 20x4 I2C, yang menampilkan informasi sistem dengan jelas. Setiap komponen dalam sistem ini terhubung dengan pin yang ditentukan pada Arduino, memastikan komunikasi dan kontrol yang efisien sesuai dengan desain sistem yang telah dirancang. Dengan integrasi yang baik antara hardware dan software, sistem ini dapat memberikan kinerja yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang dituju, baik dalam lingkungan pemantauan gas, komunikasi jarak jauh, atau aplikasi lain yang memerlukan pengawasan dan kontrol yang cermat.

4.1.2 Desain 3D

Pada tahap desain 3D menggunakan Aplikasi Blender, proses pembuatan desain menjadi lebih mudah dan efisien. Blender adalah Aplikasi yang memungkinkan desainer untuk membuat, mengedit, dan menyempurnakan model 3D dengan berbagai fitur yang intuitif. Gambar 4.2 merupakan contoh desain 3D yang telah diubah dan disesuaikan dengan alat aslinya, menunjukkan tingkat akurasi dan detail yang tinggi.

Perbedaan signifikan pada desain 3D saat ini dibandingkan dengan versi sebelumnya terletak pada beberapa aspek. Pertama, penempatan lampu kini berada di depan pintu casing, memberikan pencahayaan yang lebih baik dan meningkatkan estetika keseluruhan desain. Kedua, penambahan voltmeter di sebelah kanan casing memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi baterai secara langsung, yang merupakan peningkatan fungsionalitas penting. Perubahan ini tidak hanya meningkatkan tampilan *visual* dari desain, tetapi juga menambah nilai praktis dan kehandalan alat yang digambarkan. Dengan demikian, penggunaan Blender dalam desain 3D tidak hanya mempermudah proses kreatif, tetapi juga menghasilkan produk akhir yang lebih berkualitas dan fungsional. Gambar 4.2 merupakan bentuk hasil perancangan dari desain 3D.



Gambar 4.2 Desain 3D

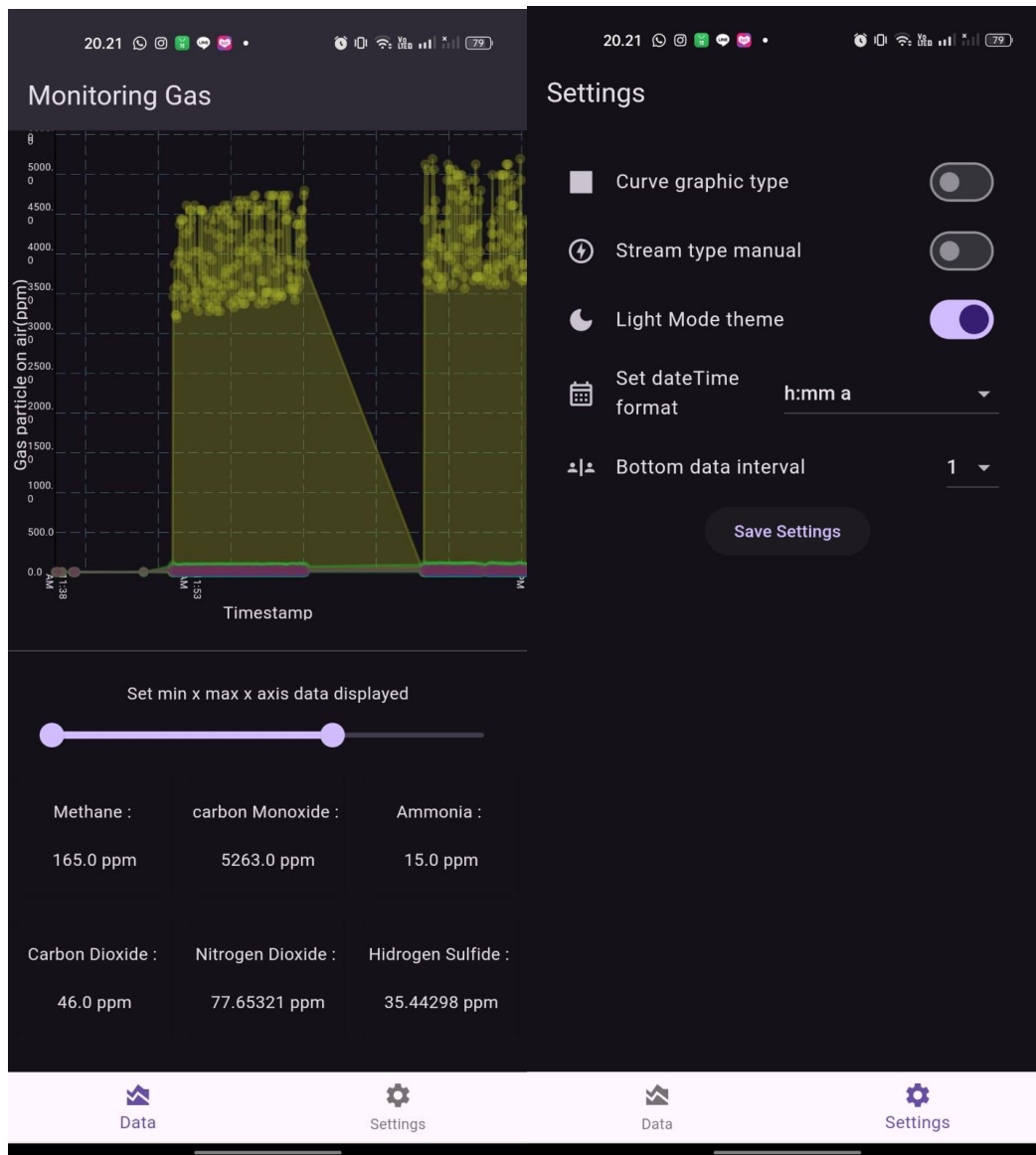
4.1.3 Software atau interface

Pada bagian perangkat lunak atau antarmuka, Aplikasi dibuat untuk memonitor hasil pembacaan sensor gas. Pembuatan Aplikasi ini menggunakan “Android Studio”, yang memungkinkan pengembangan antarmuka pengguna yang responsif dan intuitif. Aplikasi ini terhubung ke server Firebase, yang berfungsi sebagai basis data *real-time* untuk mengirimkan dan menyimpan setiap data gas yang diterima dari sensor. Data ini kemudian ditampilkan dalam Aplikasi dengan cara yang mudah dipahami oleh pengguna.

Aplikasi ini memiliki dua menu utama: menu Data dan menu Pengaturan. Pada menu Data, terdapat tampilan grafik yang menunjukkan tren pembacaan sensor gas dari waktu ke waktu. Selain itu, ada indikator yang memperlihatkan status dari enam jenis gas yang dipantau, memberikan informasi *visual* yang cepat mengenai kondisi masing-masing gas.

Pada menu Pengaturan, pengguna dapat melakukan berbagai penyesuaian untuk mengoptimalkan penggunaan aplikasi sesuai kebutuhan mereka. Pengaturan yang tersedia meliputi jenis grafik kurva yang diinginkan, tipe aliran data manual, tema mode terang, format tanggal dan waktu, serta interval data di bagian bawah layar. Setiap perubahan pengaturan ini harus disimpan dengan memilih opsi "Save Settings" untuk memastikan konfigurasi baru diterapkan.

Dalam fitur ini, Aplikasi tidak hanya menyediakan pemantauan yang akurat dan *real-time*, tetapi juga memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk menyesuaikan tampilan dan fungsionalitas sesuai dengan preferensi mereka. Penggunaan Firebase sebagai server memastikan bahwa data yang ditampilkan selalu *up-to-date* dan dapat diandalkan, sementara Android Studio menyediakan *platform* yang kuat untuk pengembangan antarmuka pengguna yang efisien dan *user-friendly*. Untuk tampilan Aplikasi terdapat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tampilan *Software*

4.1.4 Foto hasil akhir perancangan

Perancangan ini mencakup integrasi semua komponen dengan tepat, memastikan bahwa sistem bekerja secara optimal untuk sistem monitoring gas yang dapat mengukur gas dengan tingkat akurasi tinggi. Hasil akhir ini tidak hanya mencerminkan kemampuan teknis sistem, tetapi juga estetika dan keteraturan dalam penataan perangkat keras, yang menunjukkan tingkat profesionalisme dalam proses perancangan dan implementasi. Hasil akhir perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Foto Hasil Akhir Perancangan

4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

Pengujian sistem perlu dilakukan untuk memastikan keberhasilannya. Pengujian ini dilakukan secara eksperimen dan terdiri dari dua jenis utama yaitu pengujian keseluruhan sistem dan pengujian pembacaan nilai gas oleh sistem. Tujuan pengujian adalah untuk memastikan sistem bekerja sesuai spesifikasi yang dirancang dan untuk menemukan potensi kesalahan dalam pengukuran.

Pengujian akan dilakukan dengan mengubah jarak pengukuran dari sumber gas dan pengukuran di tempat yang berbeda. Secara khusus, pengujian akan dilakukan beberapa kali pada jarak yang berbeda. Setiap pengujian akan diulang beberapa kali untuk memastikan data yang diperoleh konsisten dan akurat.

Langkah pengujian sebagai berikut yaitu pertama, sistem dan gas detector ditempatkan pada jarak yang telah ditentukan atau ditempatkan di ruang yang sama. Selama pengujian, data gas akan ditampilkan melalui LCD yang terintegrasi dengan sistem. Pada saat yang sama, “Gas Detector” digunakan sebagai alat pembanding untuk mengukur gas secara nyata. Penggunaan alat pembanding bertujuan menyediakan data acuan yang bisa dibandingkan dengan data yang ditampilkan oleh sistem.

Setelah data dari setiap percobaan diambil, hasilnya akan dianalisis untuk menentukan tingkat kesalahan atau error antara data dari sistem dan data dari “Gas Detector”. Error dihitung untuk mengetahui akurasi sistem dalam mengukur gas. Analisis ini meliputi perhitungan rata-rata error dan penyimpangan standar untuk setiap gas yang diuji.

Pengujian ini diharapkan memberikan gambaran yang jelas tentang performa sistem dalam kondisi nyata. Dengan demikian, hasil pengujian akan menjadi dasar untuk memperbaiki atau menyempurnakan sistem jika diperlukan. Akhirnya, validasi keberhasilan sistem akan tercapai jika data menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dan konsistensi yang baik dalam berbagai kondisi.

4.2.1 Pengujian Akurasi Sensor Gas

Sebelum memulai pengujian akurasi sensor gas, langkah kalibrasi dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan bahwa sensor dapat mengukur konsentrasi gas dengan tingkat akurasi yang diharapkan. Kalibrasi merupakan proses penting yang bertujuan untuk menyesuaikan sensor agar hasil pengukurannya akurat dan dapat diandalkan dalam aplikasi nyata. Langkah pertama dalam proses kalibrasi adalah menetapkan nilai konstanta untuk Persamaan 2.1, yang merupakan persamaan dasar untuk mengubah sinyal sensor menjadi nilai konsentrasi gas dalam satuan PPM (*parts per million*).

Setelah konstanta ditetapkan, hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai aktual yang diperoleh dari alat pembanding, yaitu “Wohler KM410”. Alat ini dipilih karena dikenal memiliki tingkat akurasi tinggi dan digunakan secara luas dalam industri untuk mengukur konsentrasi gas. Proses ini melibatkan pembacaan berulang kali, di mana data dari sensor dan alat pembanding dicatat dan dianalisis untuk menentukan tingkat kesesuaian antara keduanya. Jika hasil pembacaan sensor belum sesuai atau belum mendekati nilai aktual dari “Wohler KM410”, maka nilai resistansi awal (R_0) pada sensor akan disesuaikan. Proses penyesuaian ini dilakukan

secara bertahap hingga pembacaan sensor mendekati atau sama dengan hasil yang diberikan oleh alat pembanding.

Apabila pembacaan sensor telah mendekati nilai aktual dan hasilnya konsisten, proses kalibrasi dianggap berhasil dan pengujian akurasi sensor dapat dilanjutkan. Pengujian akurasi bertujuan untuk mengonfirmasi bahwa sensor tetap memberikan pembacaan yang tepat di berbagai kondisi lingkungan dan konsentrasi gas yang berbeda. Dengan demikian, sensor yang telah terkalibrasi dengan baik akan siap digunakan dalam pengujian akurasi gas sensor Metode yang digunakan adalah dengan mencatat gas yang terbaca oleh sensor. Dimana sensor akan membaca nilai gas awal yang berupa data analog diubah menjadi digital lalu diolah menjadi bentuk akhir gas dalam satuan ppm.

Kemudian, bandingkan hasilnya dengan gas yang diukur menggunakan alat pembanding yang akurat, seperti gas detector atau gas analyzer. Tujuan pengujian ini untuk memastikan pembacaan gas oleh sensor akurat. Rumus perhitungan akurasi gas dilakukan sesuai dengan Persamaan (4.1) sebagai berikut:

$$\text{akurasi gas} = 100\% - \text{Error gas} \quad (4.1)$$

Error pembacaan gas berdasarkan percobaan dengan instalasi pilot. Pada setiap percobaan, nilai gas yang terbaca oleh sistem akan dibandingkan dengan nilai aktual alat pembanding. Nilai gas aktual didapatkan dari tampilan layar “Wohler KM410”. Jika *error* gas mendekati 0% maka akurasi mendekati 100%. Nilai error akan dihitung menggunakan persamaan (4.2) sebagai berikut

$$\text{error} = \left| \frac{\text{Measured Value} - \text{True Value}}{\text{True Value}} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

4.2.2 Pengujian Kecepatan Respon *Output*

Pengujian kecepatan respon *output* dilakukan dengan membandingkan selisih waktu antara pembacaan gas yang melebihi ambang batas (threshold) dengan kecepatan respons output, yang melibatkan LED merah menyala, buzzer berbunyi, dan notifikasi SMS (*Short Message Service*) ke perangkat pengguna. Langkah pertama adalah mempersiapkan sistem dengan memastikan semua komponen terhubung dan berfungsi dengan baik, serta melakukan kalibrasi sensor jika diperlukan.

Selanjutnya, berikan perubahan input berupa peningkatan konsentrasi gas, dan mulai pengukuran waktu segera setelah pembacaan gas melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Catat waktu yang diperlukan bagi sistem untuk memberikan respons output, yaitu menyalakan LED merah, membunyikan *buzzer*, dan mengirim notifikasi SMS ke perangkat pengguna. Monitor dan catat setiap *output* yang dihasilkan oleh sistem selama perubahan input terjadi, menggunakan alat pengukuran yang tepat untuk mendapatkan data akurat. Untuk mengukur seberapa cepat kecepatan respon, memerlukan perhitungan untuk mendapatkan selisih waktu antara saat pembacaan sensor gas melebihi ambang batas (*threshold*) dan saat *output* seperti LED merah, *buzzer*, dan notifikasi SMS aktif. Alat untuk mengukur waktu respon menggunakan *stopwatch*. Untuk pengujian kecepatan respon *output* menggunakan persamaan 4.2.

$$T_{response} = T_{output} - T_{threshold} \quad (4.2)$$

Keterangan :

- $T_{response}$ = waktu respon sistem.
- T_{output} = waktu saat *output* (LED merah menyala, buzzer berbunyi, notifikasi SMS dikirim) aktif.
- $T_{threshold}$ = waktu saat pembacaan sensor gas melebihi ambang batas (threshold).

Berikut adalah algoritma yang digunakan untuk menyalakan buzzer dan LED merah ketika salah satu gas dari CO, CO₂, H₂S, NO₂, CH₄, atau NH₃ melebihi threshold yang telah ditentukan. Tabel 4.1 merupakan ketentuan threshold berdasarkan National Institutes of Health adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Ketentuan Threshold Setiap Gas

Jenis Gas	Threshold (PPM)
CO	25
CO ₂	50
H ₂ S	1
NO ₂	1
CH ₄	1000

Jenis Gas	<i>Threshold</i> (PPM)
NH ₃	25

4.2.3 Pengujian Sinkronisasi Tampilan Output pada LCD dan Perangkat Pengguna

Pada sub bab ini, dilakukan pengujian secara mendetail untuk mengevaluasi tingkat sinkronisasi antara tampilan output yang ditampilkan pada LCD dan antarmuka pengguna. Metode yang digunakan adalah membandingkan data keluaran yang terbaca dari LCD dengan data yang ditampilkan pada antarmuka. Dengan memperhatikan perbedaan absolut antara kedua nilai tersebut, diidentifikasi potensi kesalahan atau ketidaksesuaian yang mungkin terjadi dalam representasi informasi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa informasi yang disajikan kepada pengguna melalui kedua media tersebut akurat dan konsisten, serta meminimalkan kemungkinan terjadinya kesalahan interpretasi atau pengambilan keputusan yang salah.

4.2.4 Pengujian Fungsi Komponen Peringatan

Pengujian fungsi komponen peringatan dilakukan untuk menjamin kinerja optimal dari setiap komponen, yakni LED merah, buzzer, dan notifikasi SMS ke perangkat pengguna. Setiap komponen dites secara terpisah dan dalam kondisi yang berbeda-beda untuk memastikan responsibilitas dan ketepatan waktu dalam memberikan peringatan. LED merah diuji untuk mengetahui kejelasan dan konsistensi sinyal visualnya, sedangkan buzzer diuji untuk tingkat kebisingan yang sesuai serta kemampuan untuk menarik perhatian pengguna. Sementara itu, notifikasi SMS dievaluasi untuk kecepatan pengiriman dan kehandalan dalam menyampaikan pesan peringatan kepada perangkat pengguna. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik dan dapat memberikan peringatan yang efektif dalam situasi yang memerlukan respons cepat dan akurat. Pengujian ini dilakukan apabila gas yang terdeteksi oleh alat melebihi nilai threshold atau ambang batas. Kemudian komponen peringatan akan berfungsi sesuai dengan nilai gas yang terbaca oleh alat. Untuk nilai ambang batas setiap gas terdapat pada Tabel 4.1.

BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Tugas Akhir ini dapat membandingkan hasil pembacaan sistem dengan alat yang sudah terkalibrasi. Perbandingan hasil pembacaan dilakukan dengan mendeteksi gas yang sama di tempat yang sama dengan meletakkan kedua alat bersebelahan dan melihat hasil pembacaan. Ketika sudah terlihat hasil pembacaan maka nilai hasil pembacaan alat kami akan disesuaikan dengan nilai hasil pembacaan alat yang sudah terkalibrasi dengan mengubah beberapa bagian pada kode program.

Pada bagian ini terdapat analisis hasil dan dampak implementasi sistem. Analisis hasil menjelaskan tentang analisis hasil implementasi sistem yang dibuat dibandingkan dengan kriteria (indikator kinerja) hasil pengujian yang telah ditentukan. Dampak implementasi sistem menjelaskan tentang dampak implementasi sistem dari berbagai bidang seperti teknologi, sosial, ekonomi, politik, budaya, agama, lingkungan, dan lainnya.

5.1. Analisis Hasil

5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

Pada subbab ini yang diuji adalah akurasi sensor gas, kecepatan respons output, sinkronisasi tampilan output pada LCD dengan tampilan output pada perangkat pengguna, serta fungsi komponen peringatan. Kemudian, pada analisis hasil, terdapat pemenuhan spesifikasi yang menjelaskan kesesuaian antara usulan spesifikasi sistem dan realisasinya. Selanjutnya, dalam analisis hasil, terdapat pengalaman pengguna yang menjelaskan hasil dan kendala saat menggunakan sistem yang diimplementasikan beserta perbaikannya. Terakhir, terdapat kesesuaian perencanaan dalam manajemen tim dan realisasinya yang menjelaskan kesesuaian perencanaan manajemen kerja tim terkait pengerjaan usulan rancangan sistem beserta realisasinya.

A. Pengujian Akurasi Gas Sensor

Pengukuran data gas CO dilakukan menggunakan sensor MQ-7 sebanyak 5 kali untuk setiap jarak pengambilan gas yang berbeda dari sumber gas. Jarak pengambilan gas adalah 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, dan 30 cm dari sumbernya. Sebelumnya, sistem dan alat pembanding diukur terlebih dahulu di dekat sumber gas. Sumber gas CO dihasilkan dari asap yang keluar dari knalpot motor Honda PCX. Metode ini memungkinkan kami untuk mengumpulkan data gas yang bervariasi, sehingga memberikan gambaran menyeluruh tentang performa sistem dalam berbagai kondisi. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1. Hasil Pengukuran Gas CO

NO	Sistem (PPM)	Nilai Aktual (PPM)	Error	Akurasi
Percobaan 1 jarak dari sumber gas 10 cm				
1	232	237	2,11%	97,89%
2	232	237	2,11%	97,89%
3	232	237	2,11%	97,89%
4	234	239	2,09%	97,91%
5	234	239	2,09%	97,91%
6	233	238	2,10%	97,90%
7	233	238	2,10%	97,90%
8	231	236	2,12%	97,88%
9	233	237	1,69%	98,31%
10	233	237	1,69%	98,31%
Rata-Rata			2,02%	97,98%
Percobaan 2 dari jarak sumber gas 15 cm				
1	173	178	2,81%	97,19%
2	174	178	2,25%	97,75%
3	174	177	1,69%	98,31%
4	173	177	2,26%	97,74%
5	174	177	1,69%	98,31%
6	174	178	2,25%	97,75%
7	175	179	2,23%	97,77%
8	173	177	2,26%	97,74%
9	174	177	1,69%	98,31%
10	173	177	2,26%	97,74%
Rata-Rata			2,14%	97,86%
Percobaan 3 dari jarak sumber gas 20 cm				
1	146	150	2,67%	97,33%
2	145	150	3,33%	96,67%
3	146	150	2,67%	97,33%
4	147	151	2,65%	97,35%
5	147	151	2,65%	97,35%
6	143	147	2,72%	97,28%
7	143	146	2,05%	97,95%
8	143	146	2,05%	97,95%
9	141	145	2,76%	97,24%
10	142	145	2,07%	97,93%
Rata-Rata			2,56%	97,44%
Percobaan 4 dari jarak sumber gas 25 cm				

NO	Sistem (PPM)	Nilai Aktual (PPM)	Error	Akurasi
1	118	121	2,48%	97,52%
2	118	121	2,48%	97,52%
3	116	120	3,33%	96,67%
4	117	120	2,50%	97,50%
5	117	120	2,50%	97,50%
6	119	122	2,46%	97,54%
7	119	122	2,46%	97,54%
8	118	121	2,48%	97,52%
9	118	121	2,48%	97,52%
10	117	121	3,31%	96,69%
Rata-Rata			2,65%	97,35%
Percobaan 5 dari jarak sumber gas 30 cm				
1	97	99	2,02%	97,98%
2	97	101	3,96%	96,04%
3	97	100	3,00%	97,00%
4	97	100	3,00%	97,00%
5	97	100	3,00%	97,00%
6	94	97	3,09%	96,91%
7	95	97	2,06%	97,94%
8	96	99	3,03%	96,97%
9	96	99	3,03%	96,97%
10	97	100	3,00%	97,00%
Rata-Rata			2,92%	97,08%

Tabel 5.2 Perbandingan Rata-Rata Error dan Akurasi Gas CO

Percobaan Ke-	Rata- Rata Error	Rata-Rata Akurasi
Pengukuran Gas CO oleh sensor MQ-7		
1	2,02%	97,98%
2	2,14%	97,86%
3	2,56%	97,44%
4	2,65%	97,35%
5	2,92%	97,08%
Rata-Rata	2,46%	97,54%

Setelah tim melakukan pengujian akurasi sensor gas didapatkan nilai error dan akurasi dari perhitungan yang telah dilakukan. Tabel 5.1 merupakan hasil dari pengukuran gas CO dengan menggunakan sensor MQ-7 dengan memvariasikan jarak pengukuran dari sumber gas. Dengan

pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Perhitungan *error* dan akurasi diambil dari pembacaan “Wohler KM410” dan dengan pembacaan sistem pada *serial monitor*, dengan hasil dari “Wohler KM410” atau alat pembanding sebagai nilai aktual.

Nilai *Error* yang dihasilkan didapatkan dari persamaan 4.2 yang dimana dari 5 percobaan untuk gas CO pada setiap pembacaan gas dijumlahkan untuk mendapatkan nilai rata-rata *error* dengan tujuan mengetahui hasil *error* yang baik. Berdasarkan tabel 5.2 setiap gas menunjukkan nilai *error* yang cukup baik. Dapat dilihat nilai *error* terendah 1,69% pada pengukuran jarak 10 cm dari sumber gas. Sedangkan nilai *error* tertinggi 3,96% pada pengukuran jarak 30 cm dari sumber gas. Dari keseluruhan nilai *error* yang dihasilkan gas menunjukkan nilai yang aman yaitu kurang dari 5%.

Untuk mendukung hasil pengukuran, diperlukan perhitungan akurasi. Akurasi ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.1. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa akurasi gas terendah terjadi pada jarak 30 cm dari sumber gas, yaitu sebesar 96,04%. Meskipun terdapat variasi jarak pada pengukuran, Gambar 5.1 menunjukkan *error* dan akurasi pengukuran gas CO yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan.

Terlihat bahwa rata-rata *error* meningkat seiring dengan bertambahnya percobaan, sementara rata-rata akurasi mengalami penurunan meskipun tidak terlalu signifikan. Pada jarak yang lebih dekat percobaan 1 dan 2, rata-rata *error* lebih rendah dan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh percobaan 4 dan 5.

Meskipun terdapat variasi dalam rata-rata *error* dan akurasi, perubahan dari satu percobaan ke percobaan lainnya relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran gas CO cukup konsisten meskipun jarak dari sumber gas divariasikan. Penurunan akurasi dan peningkatan *error* dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti distribusi gas yang tidak merata, gangguan lingkungan seperti faktor angin yang dapat menyebabkan distribusi gas yang terukur tidak merata.

Pengukuran data gas CO₂ dilakukan menggunakan sensor MQ-135 sebanyak 4 kali di lokasi pengukuran yang berbeda. Pengambilan data gas CO₂ dilakukan di luar ruangan dan di dalam ruangan, masing-masing dilakukan 2 kali. Sistem dan alat pembanding ditempatkan di lokasi yang sama. Metode ini memungkinkan kami untuk mengumpulkan data gas yang bervariasi, sehingga memberikan gambaran menyeluruh tentang performa sistem dalam berbagai kondisi. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut:

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Gas CO2

NO	Sistem (PPM)	Nilai Aktual (PPM)	Error	Akurasi
Percobaan 1 di luar ruangan				
1	710	723	1,80%	98,20%
2	706	725	2,62%	97,38%
3	705	725	2,76%	97,24%
4	704	725	2,90%	97,10%
5	705	725	2,76%	97,24%
6	704	725	2,90%	97,10%
7	704	725	2,90%	97,10%
8	704	725	2,90%	97,10%
9	705	725	2,76%	97,24%
10	705	724	2,62%	97,38%
Rata-Rata			2,69%	97,31%
Percobaan 2 di luar ruangan				
1	725	745	2,68%	97,32%
2	723	743	2,69%	97,31%
3	722	743	2,83%	97,17%
4	722	744	2,96%	97,04%
5	723	744	2,82%	97,18%
6	722	743	2,83%	97,17%
7	721	742	2,83%	97,17%
8	720	742	2,96%	97,04%
9	719	742	3,10%	96,90%
10	722	744	2,96%	97,04%
Rata-Rata			2,87%	97,13%
Percobaan 3 di dalam ruangan				
1	547	563	2,84%	97,16%
2	545	561	2,85%	97,15%
3	545	562	3,02%	96,98%
4	546	562	2,85%	97,15%
5	545	561	2,85%	97,15%
6	545	560	2,68%	97,32%
7	544	560	2,86%	97,14%
8	545	560	2,68%	97,32%
9	544	560	2,86%	97,14%
10	547	561	2,50%	97,50%
Rata-Rata			2,80%	97,20%
Percobaan 4 di dalam ruangan				

NO	Sistem (PPM)	Nilai Aktual (PPM)	Error	Akurasi
1	537	549	2,19%	97,81%
2	536	549	2,37%	97,63%
3	536	551	2,72%	97,28%
4	535	550	2,73%	97,27%
5	534	550	2,91%	97,09%
6	534	551	3,09%	96,91%
7	536	552	2,90%	97,10%
8	534	550	2,91%	97,09%
9	534	550	2,91%	97,09%
10	535	550	2,73%	97,27%
Rata-Rata			2,74%	97,26%

Tabel 5.4 Perbandingan Rata-Rata Error dan Akurasi Gas CO₂

Pengukuran Gas CO ₂ oleh MQ-135		
Percobaan Ke-	Rata-Rata Error	Rata-Rata Akurasi
1	2,69%	97,31%
2	2,87%	97,13%
3	2,80%	97,20%
4	2,74%	97,26%
Rata-Rata	2,77%	97,23%

Selanjutnya pada pengujian akurasi dan *error* untuk gas CO dengan menggunakan sensor MQ-135. Tabel 5.3 merupakan hasil pengukuran dari 4 kali percobaan, tempat pengujian didalam ruangan dan diluar ruangan dengan masing-masing 2 kali percobaan. Perhitungan *error* dan akurasi diambil dari pembacaan “Wohler KM410” dan dengan pembacaan pada *serial monitor*, dengan hasil dari “Wohler KM410” atau alat pembanding sebagai nilai aktual.

Berdasarkan Tabel 5.4 setiap gas menunjukkan nilai *error* yang cukup baik. Nilai terendah *error* yang didapat yaitu 1,80% pada percobaan di luar ruangan. Sedangkan nilai *error* tertinggi yaitu 3,10% yaitu saat percobaan di luar ruangan. Dari keseluruhan pengujian nilai *error* gas CO₂ menunjukkan nilai yang aman yaitu kurang dari 5%. Untuk akurasi tertinggi yang didapat sebesar 98,20% pada pengujian di luar ruangan.

Pengujian gas CO₂ dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda yaitu luar ruangan (percobaan 1 dan 2) dan dalam ruangan (percobaan 3 dan 4). Pada percobaan di luar ruangan, rata-rata *error* sebesar 2,69% dan 2,87%, dengan akurasi masing-masing 97,31% dan 97,13%.

Percobaan di dalam ruangan menunjukkan rata-rata *error* sebesar 2,80% dan 2,74%, dengan akurasi 97,20% dan 97,26%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran di luar ruangan cenderung memiliki fluktuasi yang lebih besar dalam *error* dan akurasi dibandingkan dengan pengukuran di dalam ruangan. Variabilitas di luar ruangan kemungkinan disebabkan oleh faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan seperti angin, perubahan suhu, dan kelembaban, yang mempengaruhi distribusi gas CO₂. Sebaliknya, pengukuran di dalam ruangan memberikan hasil yang lebih stabil dan konsisten, karena kondisi lingkungan yang lebih terkontrol.

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, akurasi pada sensor gas CO dan CO₂ menunjukkan angka yang baik yang menunjukkan nilai masih batas aman. Selain itu, hal ini menandakan bahwa sensor gas CO dan CO₂ memiliki kinerja yang bisa diandalkan dengan tingkat kesalahan yang kecil.

Untuk pengujian gas CH₄ dengan sensor MQ-2, gas H₂S dengan sensor MQ-136, serta gas NH₃ dan NO₂ dengan sensor MQ-135, dilakukan dengan menempatkan alat di lokasi yang berbeda untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi dan mengukur gas-gas tersebut. Jika terdapat kenaikan pembacaan gas oleh sensor di lokasi yang berbeda, dapat dikatakan bahwa sensor tersebut berfungsi dengan baik, meskipun mungkin tidak akurat.

Kami melakukan pengujian sensor gas NO₂ di tumpukan sampah yang berlokasi di depan kos Khalisno. Untuk kondisi tumpukan sampah dapat dilihat pada Gambar 5.1. Tumpukan sampah ini diduga terdapat gas NO₂ yang cocok untuk menguji sensor gas NO₂. Data hasil pengujian pada tumpukan sampah ini dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor di dalam ruangan. Di dalam ruangan ini kami asumsikan sebagai ruangan yang bebas dari gas NO₂. Pengambilan sampel data diambil selama 10 detik sehingga menghasilkan 10 data pengujian NO₂. Hasil pengujian sensor gas NO₂ dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Pengujian Sensor Gas NO₂

No	Dalam Ruangan	Tumpukan Sampah 1
	Gas NO ₂ (PPM)	Gas NO ₂ (PPM)
1	0.35	0.56
2	0.26	0.39

No	Dalam Ruangan	Tumpukan Sampah 1
	Gas NO ₂ (PPM)	Gas NO ₂ (PPM)
3	0.39	0.49
4	0.37	0.51
5	0.17	0.32
6	0.26	0.39
7	0.28	0.31
8	0.25	0.37
9	0.27	0.39
10	0.31	0.40



Gambar 5.1 Lokasi Pengujian Sensor Gas NO₂

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar gas NO₂ di dalam ruangan berkisar antara 0,17 hingga 0,39 PPM, dengan rata-rata 0,291 PPM, menandakan bahwa ruangan tersebut relatif bebas dari NO₂ meskipun ada sedikit kadar gas gas yang mungkin berasal dari faktor lingkungan. Sementara itu, di tumpukan sampah, kadar gas NO₂ terdeteksi lebih tinggi, yaitu berkisar antara 0,31 hingga 0,56 PPM dengan rata-rata 0,413 PPM. Kadar gas NO₂ di tumpukan sampah lebih tinggi sekitar 42% dibandingkan dengan di dalam ruangan, yang menandakan adanya emisi NO₂ yang signifikan dari tumpukan sampah tersebut. Pembacaan tertinggi tercatat pada pengukuran

pertama di tumpukan sampah dengan nilai 0,56 PPM, menunjukkan adanya kemungkinan puncak emisi gas saat pengukuran awal.

Pengujian ini menunjukkan bahwa sensor NO₂ memiliki konsistensi yang baik dalam mendeteksi perubahan kadar gas, baik di dalam ruangan maupun di area tumpukan sampah. Fluktuasi kecil dalam hasil pembacaan dapat mencerminkan perubahan kondisi lingkungan atau gangguan pengukuran sensor. Secara keseluruhan, sensor menunjukkan efektivitas yang baik dalam mendeteksi variasi kadar gas di lingkungan yang berbeda.

Kami melakukan pengujian sensor gas H₂S di tumpukan sampah yang berlokasi di Jalan Candi Winangun Yogyakarta. Untuk kondisi lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.2 Tumpukan sampah ini diduga terdapat gas H₂S yang cocok untuk menguji sensor gas H₂S. Data hasil pengujian pada tumpukan sampah ini dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor di dalam ruangan. Di dalam ruangan ini kami asumsikan sebagai ruangan yang bebas dari gas H₂S. Pengambilan sampel data diambil selama 10 detik sehingga menghasilkan 10 data pengujian H₂S. Hasil pengujian sensor gas H₂S dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Pengujian Sensor Gas H₂S

No	Dalam Ruangan	Tumpukan Sampah 2
	Gas H ₂ S (PPM)	Gas H ₂ S (PPM)
1	0.00	0.16
2	0.00	0.21
3	0.01	0.18
4	0.00	0.15
5	0.00	0.19
6	0.01	0.19
7	0.00	0.20
8	0.00	0.22
9	0.01	0.18
10	0.00	0.20



Gambar 5.2 Lokasi Pengujian Sensor Gas H₂S

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar gas H₂S di dalam ruangan adalah nol atau mendekati nol, dengan nilai berkisar antara 0,00 hingga 0,01 PPM. Hal ini menunjukkan bahwa ruangan tersebut dapat dianggap bebas dari gas H₂S, sesuai dengan asumsi awal. Sebaliknya, pengukuran di tumpukan sampah menunjukkan kadar gas H₂S yang lebih tinggi, dengan nilai yang berkisar antara 0,15 hingga 0,22 PPM. Nilai rata-rata kadar gas H₂S di tumpukan sampah adalah 0,18 PPM, sementara di dalam ruangan hanya 0,20 PPM.

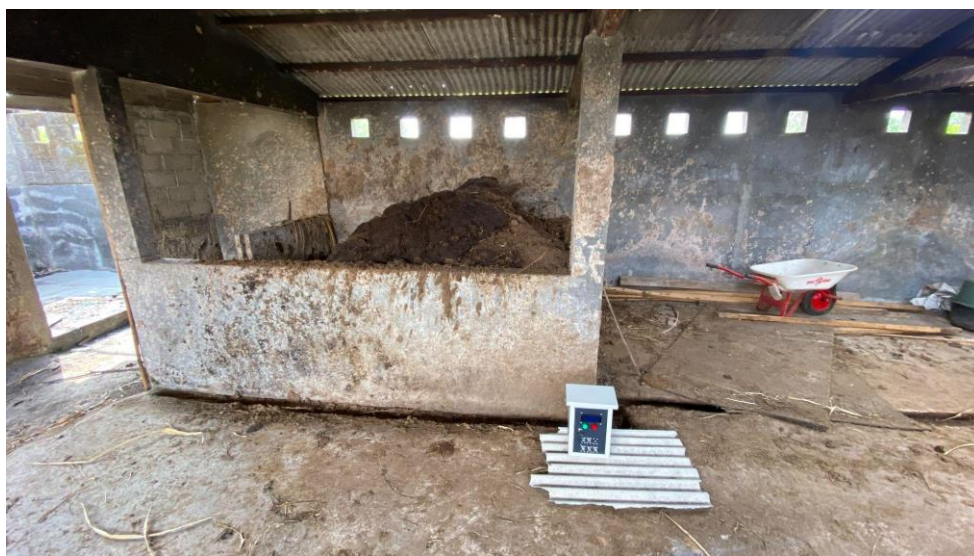
Perbedaan signifikan antara kadar gas H₂S di dalam ruangan dan di tumpukan sampah menunjukkan bahwa sensor H₂S mampu mendeteksi keberadaan gas dengan baik dan akurat di lingkungan yang terkontaminasi. Kadar gas tertinggi di tumpukan sampah tercatat pada pengukuran kedelapan dengan nilai 0,22 PPM, menunjukkan adanya fluktuasi kadar gas yang mungkin disebabkan oleh pergerakan atau penguraian bahan organik di lokasi tersebut. Sensor menunjukkan konsistensi dalam pembacaan, yang mencerminkan kinerja dan keandalannya dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

Kami melakukan pengujian sensor gas CH₄ dan NH₃ di kandang sapi yang berlokasi di dekat Jalan Degolan Yogyakarta. Untuk kondisi lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3. Pada kandang sapi ini diduga terdapat gas CH₄ dan NH₃ yang cocok untuk menguji sensor gas CH₄ dan NH₃. Data hasil pengujian pada tumpukan sampah ini dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor di dalam ruangan. Di dalam ruangan ini kami asumsikan sebagai ruangan yang

bebas dari gas CH₄ dan NH₃. Pengambilan sampel data diambil selama 10 detik sehingga menghasilkan 10 data pengujian gas CH₄ dan NH₃. Hasil pengujian sensor gas CH₄ dan NH₃ dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Pengujian Sensor Gas NH₃ dan Gas CH₄

No	Dalam Ruangan		Kandang Sapi	
	Gas NH ₃ (PPM)	Gas CH ₄ (PPM)	Gas NH ₃ (PPM)	Gas CH ₄ (PPM)
1	5	9	29	119
2	5	10	30	132
3	4	10	28	127
4	6	11	28	121
5	5	10	31	114
6	5	9	30	109
7	5	10	28	128
8	6	9	28	115
9	5	11	32	130
10	5	10	0.20	127



Gambar 5.3 Lokasi Pengujian Gas NH₃ dan Gas CH₄

Terakhir pengujian gas CH₄ dan NH₃, menghasilkan data yang menunjukkan bahwa kadar gas NH₃ di dalam ruangan berkisar antara 4 hingga 6 PPM, dengan rata-rata 5,0 PPM, sementara kadar gas CH₄ berkisar antara 9 hingga 11 PPM, dengan rata-rata 10,0 PPM. Kadar gas yang relatif rendah di dalam ruangan ini mengindikasikan bahwa kondisi ruangan mendekati bebas gas, sesuai dengan asumsi awal. Sebaliknya, di kandang sapi, kadar gas NH₃ berkisar antara 28 hingga 32 PPM, dengan rata-rata 28,7 PPM. Kadar gas CH₄ di kandang sapi tercatat berkisar antara 109 hingga 132 PPM, dengan rata-rata 122,2 PPM. Kadar gas yang lebih tinggi di kandang sapi menunjukkan adanya emisi dari aktivitas biologis dan penguraian kotoran ternak.

Perbandingan ini menunjukkan bahwa sensor efektif dalam mendeteksi variasi kadar gas di lingkungan yang berbeda, meskipun ada beberapa anomali data yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut untuk memastikan keakuratan pembacaan. Dengan hasil ini, sensor gas CH₄ dan NH₃ dinilai konsisten dan dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas udara di lingkungan berisiko tinggi emisi gas berbahaya. Hasil ini juga menekankan pentingnya pemantauan dan manajemen emisi gas di area peternakan untuk menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan.

B. Pengujian Kecepatan Respon Output

Pengujian ini dilakukan dengan menghitung waktu yang diperlukan dari saat sensor gas mendeteksi adanya keberadaan gas hingga komponen output, seperti lampu merah, *buzzer*, dan notifikasi SMS mulai beroperasi. Proses ini melibatkan pemantauan respons waktu sensor dalam mendeteksi gas dan menyalurkan sinyal ke komponen *output*, yang kemudian memberikan peringatan *visual* dan audio. Dengan demikian, kita dapat mengevaluasi efisiensi dan kecepatan sistem dalam merespons deteksi gas berbahaya. Hasil pengujian kecepatan respon output dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kecepatan Respon Output

NO	Kecepatan Respon		
	Lampu	Buzzer	Notifikasi SMS
1	0,9 detik	1 detik	3 detik
2	1 detik	0,9 detik	3 detik
3	1,2 detik	1 detik	3 detik
4	1 detik	1 detik	4 detik
5	1,1 detik	0,9 detik	3 detik
6	1 detik	1,1 detik	3 detik
7	0,8 detik	1,1 detik	3 detik
8	1 detik	1 detik	3 detik
9	1 detik	0,9 detik	3 detik
10	0,8 detik	0,9 detik	3 detik
11	1 detik	1 detik	3 detik
12	1,1 detik	1 detik	3 detik
13	0,9 detik	1 detik	4 detik
14	0,9 detik	1 detik	3 detik
15	0,9 detik	1 detik	4 detik
16	1 detik	0,9 detik	3 detik
17	0,9 detik	0,9 detik	3 detik
18	1 detik	1 detik	3 detik
19	1 detik	1,1 detik	3 detik
20	1 detik	1,1 detik	3 detik

Hasil pengujian kecepatan respons output menunjukkan bahwa rata-rata waktu respons untuk lampu dan buzzer adalah 1 detik, sedangkan untuk notifikasi SMS adalah 3 detik. Perbedaan waktu respons ini terutama disebabkan oleh pengaturan penundaan (delay) sebesar 1 detik dalam kode program setiap kali memberikan perintah. Penundaan ini dirancang untuk memberikan waktu bagi sistem agar dapat memproses perintah dengan tepat dan menghindari kesalahan dalam

eksekusi. Namun, dalam praktiknya, beberapa hasil pengujian tidak menunjukkan nilai yang bulat atau konsisten.

Ketidakkonsistenan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk metode pengukuran yang digunakan. Dalam pengujian kecepatan respons output, kami menggunakan stopwatch pada smartphone untuk mengukur waktu respons secara manual. Meskipun metode ini cukup praktis, ketidakakuratan dapat terjadi saat menekan tombol berhenti pada stopwatch, terutama jika pengukuran dilakukan dalam rentang waktu yang sangat singkat seperti 1 detik. Variasi kecil dalam waktu reaksi manusia saat menekan tombol dapat mempengaruhi hasil pengukuran, yang menyebabkan beberapa hasil tidak tepat mencapai 1 detik. Selain itu, latensi jaringan dapat mempengaruhi waktu respons notifikasi SMS, terutama jika sinyal jaringan tidak stabil.

Meskipun demikian, hasil pengujian ini tetap memberikan gambaran yang cukup akurat mengenai kecepatan respons sistem dalam situasi nyata. Rata-rata waktu respons yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem ini mampu merespons dengan cepat, memenuhi kebutuhan untuk mendeteksi dan memberikan peringatan dengan segera dalam berbagai kondisi.

C. Pengujian Sinkronisasi Tampilan Output pada LCD dan Perangkat Pengguna

Kami melakukan pengujian ini dengan memantau tampilan data pada LCD serta perangkat pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat selisih waktu 5 detik antara LCD yang menampilkan data kadar gas dengan perangkat pengguna yang menampilkan data yang sama. Penyebab dari selisih waktu ini adalah keterbatasan GSM dalam mengirimkan data, yang memungkinkan pengiriman data hanya setiap 5 detik.

D. Pengujian Fungsi Komponen Peringatan

Pada pengujian ini, kami mengamati kinerja *buzzer*, lampu merah dan perangkat pengguna secara seksama. Proses pengujian dimulai dengan sensor yang mendeteksi keberadaan gas di lingkungan sekitar. Setelah sensor mendeteksi gas, kami memperhatikan reaksi *buzzer* dan lampu merah apakah aktif sesuai yang diharapkan sebagai tanda peringatan. Selain itu, kami juga memeriksa informasi yang ditampilkan pada perangkat pengguna, memastikan bahwa semua data yang relevan mengenai deteksi gas ditampilkan secara akurat, serta memastikan bahwa SMS peringatan muncul ketika kadar gas melebihi batas aman. Pengujian ini bertujuan untuk

mengevaluasi keandalan dan efektivitas sistem dalam memberikan peringatan dini dan informasi yang dibutuhkan kepada pengguna. Tabel 5.9 menunjukkan hasil pengujian fungsi komponen peringatan.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Fungsi Komponen Peringatan

NO	Kadar Gas	Buzzer	Lampu Merah	Lampu Hijau	Notifikasi SMS
1	CO = 21 PPM CO ₂ = 42 PPM NH ₃ = 7 PPM CH ₄ = 463 PPM NO ₂ = 0.01 PPM H ₂ S = 0.02 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
2	CO = 19 PPM CO ₂ = 43 PPM NH ₃ = 6 PPM CH ₄ = 501 PPM NO ₂ = 0.02 PPM H ₂ S = 0.02 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
3	CO = 18 PPM CO ₂ = 48 PPM NH ₃ = 15 PPM CH ₄ = 659 PPM NO ₂ = 0.1 PPM H ₂ S = 0.09 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
4	CO = 15 PPM CO ₂ = 41 PPM NH ₃ = 16 PPM CH ₄ = 663 PPM NO ₂ = 0.3 PPM H ₂ S = 0.1 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
5	CO = 23 PPM CO ₂ = 47 PPM NH ₃ = 3 PPM CH ₄ = 457 PPM NO ₂ = 0.1 PPM H ₂ S = 0.05 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
6	CO = 13 PPM CO ₂ = 41 PPM NH ₃ = 7 PPM CH ₄ = 392 PPM NO ₂ = 0.8 PPM H ₂ S = 0.2 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
7	CO = 21 PPM CO ₂ = 45 PPM NH ₃ = 17 PPM CH ₄ = 743 PPM NO ₂ = 0.1 PPM H ₂ S = 0.2 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
8	CO = 7 PPM CO ₂ = 48 PPM NH ₃ = 13 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS

NO	Kadar Gas	Buzzer	Lampu Merah	Lampu Hijau	Notifikasi SMS
	CH ₄ = 673 PPM NO ₂ = 0.2 PPM H ₂ S = 0.07 PPM				
9	CO = 40 PPM CO ₂ = 49 PPM NH ₃ = 16 PPM CH ₄ = 523 PPM NO ₂ = 0.32 PPM H ₂ S = 0.71 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
10	CO = 12 PPM CO ₂ = 98 PPM NH ₃ = 32 PPM CH ₄ = 699 PPM NO ₂ = 0.71 PPM H ₂ S = 0.12 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
11	CO = 9 PPM CO ₂ = 102 PPM NH ₃ = 12 PPM CH ₄ = 493 PPM NO ₂ = 2.13 PPM H ₂ S = 0.17 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
12	CO = 24 PPM CO ₂ = 49 PPM NH ₃ = 9 PPM CH ₄ = 823 PPM NO ₂ = 0.11 PPM H ₂ S = 0.24 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
13	CO = 8 PPM CO ₂ = 40 PPM NH ₃ = 9 PPM CH ₄ = 1329 PPM NO ₂ = 0.76 PPM H ₂ S = 0.21 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
14	CO = 22 PPM CO ₂ = 44 PPM NH ₃ = 35 PPM CH ₄ = 663 PPM NO ₂ = 0.21 PPM H ₂ S = 0.52 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya
15	CO = 18 PPM CO ₂ = 49 PPM NH ₃ = 12 PPM CH ₄ = 853 PPM NO ₂ = 0.38 PPM H ₂ S = 2.08 PPM	Berbunyi	Hidup	Mati	Mengirimkan SMS peringatan dan jenis gas berbahaya

NO	Kadar Gas	Buzzer	Lampu Merah	Lampu Hijau	Notifikasi SMS
16	CO = 4 PPM CO ₂ = 47 PPM NH ₃ = 9 PPM CH ₄ = 782 PPM NO ₂ = 0.21 PPM H ₂ S = 0.82 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
17	CO = 8 PPM CO ₂ = 47 PPM NH ₃ = 18 PPM CH ₄ = 861 PPM NO ₂ = 0.12 PPM H ₂ S = 0.36 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
18	CO = 8 PPM CO ₂ = 38 PPM NH ₃ = 19 PPM CH ₄ = 578 PPM NO ₂ = 0.11 PPM H ₂ S = 0.77 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
19	CO = 7 PPM CO ₂ = 49 PPM NH ₃ = 21PPM CH ₄ = 489 PPM NO ₂ = 0.52 PPM H ₂ S = 0.73 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS
20	CO = 11 PPM CO ₂ = 45 PPM NH ₃ = 18 PPM CH ₄ = 743 PPM NO ₂ = 0.82 PPM H ₂ S = 0.47 PPM	Diam	Mati	Hidup	Tidak mengirimkan SMS

Hasil pengujian fungsi komponen peringatan menunjukkan bahwa *buzzer* dan lampu indikator sebagai komponen peringatan dapat berfungsi dengan baik saat kadar gas melebihi batas aman. Selain itu, pengujian juga menunjukkan bahwa SMS peringatan yang dikirimkan ke perangkat pengguna dapat muncul dengan tepat waktu ketika kadar gas melebihi batas aman. Dengan demikian, ketiga sistem peringatan ini terbukti efektif dalam memberikan peringatan yang diperlukan kepada pengguna saat situasi darurat terjadi.

Tahap pengujian dilakukan dengan membandingkan performa antara sistem dan detektor gas Wohler KM410. Keduanya mengukur gas yang ada di udara, dan hasil pembacaannya akan ditampilkan pada layar LCD dan satuannya dalam bentuk PPM. Dengan membandingkan kedua alat ini, kita dapat mengevaluasi keakuratan dan keandalan dalam pengukuran gas.

Tabel 5.10 Perbandingan performa antara sistem yang dibuat dengan sistem lain

No	Fitur/Komponen	Sistem yang dibuat	Wohler KM410
1	Prinsip Kerja	Mengukur gas yang terbaca oleh sistem	Mengukur gas yang terbaca oleh alat
2	Akurasi	Akurat	Sangat akurat
3	Jenis Gas	CO,CO ₂ ,NH ₃ ,CH ₄ ,NO ₂ dan H ₂ S	CO dan CO ₂
4	Ketahanan Sistem	Ketahanan tergantung pada kualitas komponen yang digunakan dan lingkungan operasional	Dibuat dengan standar industri, tahan lama
5	Kemampuan	Dapat memonitor beberapa jenis gas secara bersamaan dan memberikan peringatan real-time	Terbatas hanya pada jenis gas tertentu dengan performa tinggi
6	Kecepatan Respon	Respon cepat dengan pemrosesan data real-time	Respon sangat cepat, hasil langsung ditampilkan
7	Keandalan	Keandalan bervariasi tergantung pada perawatan sistem	Sangat andal, sesuai standar industri
8	Harga	Rp 1.551.000,00	Rp 18.750.000,00

Berdasarkan Tabel 5.10 perbandingan antara sistem yang dibuat dengan “Wohler KM410”, terdapat beberapa perbedaan signifikan dalam fitur dan komponen. Pada prinsip kerja, kedua sistem mampu mengukur gas yang terbaca oleh alat, namun pada akurasi, sistem yang dibuat hanya akurat sedangkan “Wohler KM410” sangat akurat. Jenis gas yang dapat dideteksi oleh sistem yang dibuat mencakup CO, CO₂, NH₃, CH₄, NO₂, dan H₂S, sedangkan “Wohler KM410” hanya mampu mendeteksi CO dan CO₂. Ketahanan sistem yang dibuat sangat bergantung pada kualitas komponen yang digunakan serta lingkungan operasional, berbeda dengan “Wohler KM410” yang dibuat dengan standar industri sehingga tahan lama.

Kemampuan sistem yang dibuat mencakup pemantauan beberapa jenis gas secara bersamaan dan memberikan peringatan *real-time*, sementara “Wohler KM410” terbatas hanya pada jenis gas tertentu dengan performa tinggi. Kecepatan respon sistem yang dibuat adalah cepat dengan pemrosesan data *real-time*, sedangkan “Wohler KM410” memiliki respon sangat cepat

dengan hasil langsung ditampilkan. Keandalan sistem yang dibuat bervariasi tergantung pada perawatan, berbeda dengan “Wohler KM410” yang sangat andal dan sesuai standar industri. Terakhir, terdapat perbedaan yang signifikan dalam hal harga, dimana biaya yang dikeluarkan untuk membuat sistem adalah Rp 1.551.000,00, sedangkan “Wohler KM410” memiliki harga Rp 18.750.000,00.

5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Tabel 5.9 merangkum perbandingan antara spesifikasi sistem yang diusulkan dengan hasil realisasi dari perancangan sistem. Tabel 5.9 bertujuan untuk memberikan hasil pengujian yang mengenai sejauh mana spesifikasi awal yang direncanakan dapat terpenuhi dalam implementasi nyata. Melalui Tabel 5.11, dapat dilihat beberapa perbedaan dan penyesuaian yang terjadi selama proses pengembangan untuk memastikan alat tetap berfungsi optimal dan memenuhi tujuan proyek Tugas Akhir.

Tabel 5.11 Perbandingan Usulan dan Hasil Perancangan Sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dapat mendeteksi gas berbahaya yang meliputi gas metana, gas hidrogen sulfida, gas amonia, gas nitrogen dioksida, gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida	Bisa	Memenuhi Spesifikasi
2	Mendeteksi gas berbahaya apabila berada diatas nilai ambang batas	Bisa	Memenuhi Spesifikasi
3	Dapat memberikan peringatan kepada <i>stakeholder</i> atau masyarakat terkait gas berbahaya apabila melebihi nilai ambang batas tertentu	Bisa	Memenuhi Spesifikasi
4	Dapat mengirimkan data secara <i>real-time</i>	Bisa	Memenuhi Spesifikasi
5	Terdapat media interface antara sistem dengan user	Ada	Memenuhi Spesifikasi

Sistem monitoring gas berbahaya di area pembuangan atau pengolahan sampah dirancang untuk mendeteksi adanya gas berbahaya di area tersebut. Sistem ini menggunakan enam sensor gas yang mampu mendeteksi gas CO, CO₂, CH₄, NH₃, NO₂, dan H₂S. Meskipun sensor gas CH₄,

NH₃, NO₂, dan H₂S menghasilkan pembacaan gas yang tidak akurat karena belum terkalibrasi, semua sensor dalam sistem ini tetap mampu mendeteksi keberadaan gas-gas tersebut di atas ambang batas yang ditetapkan.

Ketika sensor mendeteksi adanya gas berbahaya yang melebihi batas aman, komponen peringatan seperti *buzzer* akan berfungsi untuk memberi tahu masyarakat sekitar dan para stakeholder bahwa terdapat gas berbahaya. Selain itu, sistem ini akan mengirimkan SMS peringatan ke nomor pengguna yang terdaftar. Sistem ini juga dilengkapi dengan kemampuan mengirimkan data secara *real-time* menggunakan teknologi GSM, memungkinkan pemantauan jarak jauh. Pengguna sistem ini dapat memonitoring kondisi gas melalui aplikasi yang telah disediakan, sehingga mereka dapat mengawasi situasi dari mana saja dan mengambil tindakan cepat jika diperlukan. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan keamanan di area pembuangan atau pengolahan sampah tetapi juga memberikan ketenangan bagi para pengguna dengan memastikan bahwa mereka selalu mendapatkan informasi terbaru dan akurat tentang kondisi gas berbahaya.

5.1.3 Pengalaman Pengguna

Pengguna dapat menggunakan alat kami yang ditempatkan pada tempat pembuangan atau pengolahan sampah. Ada beberapa fitur utama, seperti sistem peringatan yang memberi peringatan kepada pengguna ketika sensor mendeteksi gas melebihi batas aman, dan komponen indikator yang memberikan informasi mengenai gas yang diukur. Pengguna dapat memantau gas di tempat pembuangan sampah dari jarak jauh menggunakan *smartphone*. Tabel 5.12 merupakan Tabel pengalaman pengguna yang berisi capaian yang sudah kami dapatkan dan perbaikan yang harus dilakukan.

Tabel 5.12 Pengalaman Pengguna

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Sistem peringatan	Buzzer yang berbunyi dan SMS yang akan memberi peringatan kepada pengguna	Mengganti buzzer dengan komponen yang dapat berbunyi dengan keras

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
2	Dapat memantau data melalui perangkat pengguna	Mengirimkan data ke perangkat pengguna	Mengurangi delay pengiriman data dipersingkat
3	Indikator	Lampu, LCD dan voltmeter baterai	Mendesain tampilan LCD untuk lebih efektif

5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Bagian ini berperan penting dalam pengembangan usulan untuk perancangan sistem. Kesesuaian perencanaan menjadi faktor kunci dalam mencapai tujuan dan hasil yang diharapkan. Secara umum, bagian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian antara perencanaan manajemen kerja tim dan pelaksanaannya. Dengan demikian, tim dapat merancang langkah-langkah yang jelas untuk melaksanakan usulan. Rencana kegiatan ini disusun sesuai dengan *gant chart* dalam pengerjaan “Laporan Tugas Akhir”. Secara keseluruhan, kesesuaian antara perencanaan manajemen kerja tim dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Selain manajemen kesesuaian *timeline*, dapat dinilai pengeluaran kesesuaian harga dari berbagai jenis keluaran yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir.

Tabel 5.13 Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian serta pembuatan alat dan bahan	Januari – Maret	Februari – Maret
2	Perancangan dan pembangunan sistem	Februari – April	April - Juni
3	Pengujian dan validasi	Mei	Juni
4	Expo dan pengumpulan Laporan Akhir	Juli	Juli

Berdasarkan Tabel 5.13 terdapat perbedaan yang diusulkan saat pembuatan proposal Tugas Akhir seperti tahap perancangan dan pembangunan sistem. Semua kegiatan pelaksanaan Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik selama pengerjaan Tugas Akhir.

Tabel 5.14 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
1	LCD 20x4 I2C	-	-	1 pcs	Rp 70.000,00
2	Arduino MEGA 2560	-	-	1 pcs	Rp 255.000,00
3	ATMega8535	1 pcs	Rp 70.000,00	-	-
4	Sensor MQ-2	1 pcs	Rp 17.500,00	1 pcs	Rp 17.500,00
5	Sensor MQ-4	1 pcs	Rp 15.000,00	-	-
6	Sensor MQ-7	1 pcs	Rp 18.000,00	1 pcs	Rp 24.000,00
7	Sensor MQ-135	1 pcs	Rp 16.000,00	3 pcs	Rp 66.000,00
8	Sensor MQ-136	1 pcs	Rp 336.000,00	1 pcs	Rp 336.000,00
9	Box panel	-	-	1 pcs	Rp 170.000,00
10	Lampu LED Merah	1 pcs	Rp 600,00	1 pcs	Rp 4.500,00
11	Lampu LED Hijau	1 pcs	Rp 600,00	1 pcs	Rp 4.500,00
12	Voltmeter Baterai	-	-	1 pcs	Rp 80.000,00
13	PCB Single Layer	-	-	2 pcs	Rp 30.000,00
14	GSM	-	-	1 pcs	Rp 286.000,00
15	ST60	-	-	1 pcs	Rp 7.500,00
16	Relay 2 channel	-	-	1 pcs	Rp 15.000,00
17	LM2596	-	-	1 pcs	Rp 10.000,00
18	Switching	-	-	1 pcs	Rp 5.000,00
19	Tiang 2 meter	1 pcs	Rp 45.000,00	1 pcs	Rp 200.000,00
Jumlah					Rp 1.551.000,00

Selama pembuatan alat Tugas Akhir, tim membuat sistem monitoring gas berbahaya. Pada Tabel 5.14 terdapat banyak tambahan komponen yang berbeda jauh dari komponen yang diusulkan dalam proposal Tugas Akhir. Setelah menyelesaikan alat dan siap untuk dikalibrasi serta pengambilan data, terdapat masalah pada sulitnya menemukan alat pembanding. Perubahan ini menyebabkan pembengkakan biaya pada RAB akhir, yang tidak sesuai dengan RAB yang ditetapkan dalam proposal Tugas Akhir. Tabel 5.14 dan Tabel 3.2 menunjukkan perbedaan harga yang signifikan antara usulan di Proposal Tugas Akhir dan RAB yang terealisasi, dikarenakan

tambahan komponen dan perbedaan harga saat pembelian. Total biaya yang telah dikeluarkan tim untuk membuat sistem dalam Tugas Akhir sebesar Rp 1.551.000,00.

Tabel 5.15 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Sabtu, 24 Februari 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online	Ferdi, Zaki
2	Selasa, 27 Februari 2024 (3 jam)	Kuliah Perdana Tugas Akhir 2	Ferdi, Zaki
3	Kamis, 7 Maret 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
4	Jumat, 15 Maret 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
5	Kamis, 28 Maret 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
6	Sabtu, 6 April 2024 (1 jam)	Memeriksa sensor gas	Ferdi, Zaki
7	Senin, 29 April 2024 (3 jam)	Membuat desain UI	Ferdi, Zaki
8	Jumat, 3 Mei 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
9	Selasa, 7 Mei 2024 (1 jam)	Merangkai PCB	Ferdi, Zaki
10	Senin, 6 Mei 2024 (1 jam)	Seminar Kemajuan	Ferdi, Zaki
11	Senin, 6 Mei 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online dan memeriksa GSM	Ferdi, Zaki
12	Kamis, 16 Mei 2024 (1 jam)	Memeriksa sensor gas	Ferdi, Zaki
13	Sabtu, 18 Mei 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
14	Senin, 20 Mei 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online	Ferdi, Zaki
15	Jumat, 31 Mei 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
16	Senin, 3 Juni 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online	Ferdi, Zaki
17	Sabtu, 8 Juni 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
	Kamis, 13 Juni 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
18	Kamis, 13 Juni 2024 (3 jam)	Merangkai PCB	Ferdi, Zaki
19	Jumat, 14 Juni 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online	Ferdi, Zaki
20	Kamis, 20 Juni 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
21	Jumat, 21 Juni 2024 (1 jam)	Membeli komponen di toko online	Ferdi, Zaki
22	Sabtu, 22 Juni 2024 (1 jam)	Membeli box panel	Ferdi, Zaki
23	Kamis, 27 Juni 2024 (3 jam)	Membuat laporan	Ferdi, Zaki
24	Jumat, 28 Juni 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
25	Selasa, 2 Juli 2024 (3 jam)	Membandingkan sistem dengan alat pembanding	Ferdi, Zaki
26	Selasa, 2 Juli 2024 (3 jam)	Membuat laporan	Ferdi, Zaki
27	Rabu, 3 Juli 2024 (3 jam)	Mengambil data	Ferdi, Zaki
28	Kamis, 4 Juli 2024 (3 jam)	Memasang sistem ke box panel	Ferdi, Zaki
29	Kamis, 4 Juli 2024 (2 jam)	Bimbingan	Ferdi, Zaki
30	Kamis, 4 Juli 2024 (3 jam)	Membuat laporan	Ferdi, Zaki
31	Jumat, 5 Juli 2024 (3 jam)	Membuat laporan	Ferdi, Zaki
32	Sabtu, 6 Juli 2024 (3 jam)	Membuat laporan	Ferdi, Zaki

5.2 Dampak Implementasi Sistem

Adapun implementasi dari sistem Monitoring Gas Berbahaya di Area Pembuangan atau Pengolahan sampah yang memberikan berbagai dampak yang signifikan dalam berbagai bidang sebagai berikut:

A. Aspek Lingkungan

Implementasi sistem ini dapat mengurangi polusi udara di sekitar area pembuangan atau pengolahan sampah dengan mendeteksi dan memperingatkan keberadaan gas berbahaya. Dengan adanya peringatan dini, langkah-langkah mitigasi dapat segera diambil untuk mencegah penyebaran gas berbahaya ke lingkungan sekitar. Hal ini berkontribusi pada pelestarian kualitas udara dan kesehatan ekosistem setempat.

B. Aspek Ekonomi

Penerapan sistem ini dapat mengurangi biaya yang terkait dengan penanganan insiden kesehatan dan kecelakaan akibat paparan gas berbahaya. Dengan deteksi dini dan peringatan yang cepat, risiko kerugian ekonomi akibat gangguan operasional atau kerusakan peralatan dapat diminimalisir. Selain itu, peningkatan keselamatan kerja dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional di area pembuangan atau pengolahan sampah.

C. Aspek Sosial

Dengan informasi real-time mengenai kadar gas di sekitar area pembuangan, pengguna dapat mengontrol sistem dari jarak jauh. Sistem ini dilengkapi dengan peringatan berupa notifikasi pesan, buzzer, dan lampu untuk mendeteksi gas berbahaya yang melebihi batas aman. Hal ini juga memberikan kenyamanan kepada orang-orang di sekitar area pembuangan saat sistem peringatan aktif. Diharapkan orang-orang di sekitar area pembuangan segera menjauhi tempat terpasangnya sistem saat peringatan berbunyi.

D. Aspek Kesehatan

Implementasi sistem ini dapat meningkatkan keselamatan bagi pengguna dan orang-orang di sekitar area pembuangan atau pengolahan sampah. Sistem peringatan ini diharapkan dapat mengurangi dampak kesehatan yang disebabkan oleh paparan gas berbahaya.

E. Aspek Hukum

Implementasi sistem ini membantu memenuhi peraturan dan standar keselamatan kerja yang diberlakukan oleh otoritas terkait. Dengan adanya sistem peringatan yang efektif, perusahaan dapat menunjukkan kepatuhan terhadap regulasi yang mengharuskan pemantauan dan pengendalian emisi gas berbahaya. Hal ini dapat mengurangi risiko denda atau sanksi hukum yang mungkin timbul akibat pelanggaran peraturan keselamatan dan kesehatan kerja.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Sistem monitoring gas berbahaya di area pembuangan atau pengolahan sampah sebagian besar telah dibuat sesuai dengan spesifikasi yang diusulkan. Sistem ini mampu mengukur gas berbahaya dan mengirimkan data secara *real-time*. Terdapat beberapa perbedaan komponen yang digunakan, seperti penggunaan mikroprosesor Arduino Mega 2560 dan modul komunikasi GSM SIM800L. Selain itu, sistem ini memiliki antarmuka pengguna yang memberikan peringatan ketika gas berbahaya melebihi nilai ambang batas tertentu. Proses pembuatan sistem ini mencakup perancangan rangkaian elektronik, desain 3D, pengembangan antarmuka pengguna, dan pembuatan kode program.

Meskipun sistem dapat mengukur dan memantau gas berbahaya secara *real-time* sesuai dengan spesifikasi yang telah diusulkan dengan akurasi yang cukup baik, beberapa gas berbahaya tidak dapat diukur dengan akurat, sehingga tujuan proyek tidak sepenuhnya tercapai. Penyebab tujuan belum tercapai adalah kami tidak menemukan alat pembanding untuk melakukan kalibrasi dan pengujian pada gas berbahaya tertentu. Hal ini menyebabkan alat tidak dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Meskipun ada beberapa perbedaan dalam spesifikasi yang diusulkan, hasil dari proyek ini telah terpenuhi. Sistem pemantauan gas berbahaya di area pembuangan atau pengolahan sampah mampu memonitor gas dan mengirimkan data secara real-time ke aplikasi Android melalui GSM. Data disimpan pada server Firebase dengan tingkat akurasi pembacaan gas sebesar 97,3%. Meskipun beberapa sensor gas belum diuji karena kesulitan dalam menemukan alat pembanding yang sesuai, keberadaan sistem ini diharapkan dapat memudahkan pengguna dalam memonitor gas berbahaya dan mengurangi risiko kesehatan akibat paparan gas berbahaya.

6.2 Saran

Tugas Akhir yang berjudul “Monitoring Gas Berbahaya di Area Pembuangan atau Pengolahan Sampah” menghasilkan saran sebagai berikut:

1. Alat dapat mengisi daya baterai menggunakan panel surya pada siang hari
2. Kalibrasi beberapa sensor gas agar lebih akurat

3. Menambahkan sensor gas agar dapat mendeteksi lebih banyak gas
4. Pemilihan komponen yang tahan air memastikan bahwa perangkat dapat digunakan dengan baik di luar ruangan
5. Menambahkan sistem pendinginan yang cukup untuk mencegah overheat yang dapat menyebabkan penurunan kinerja atau kerusakan hardware

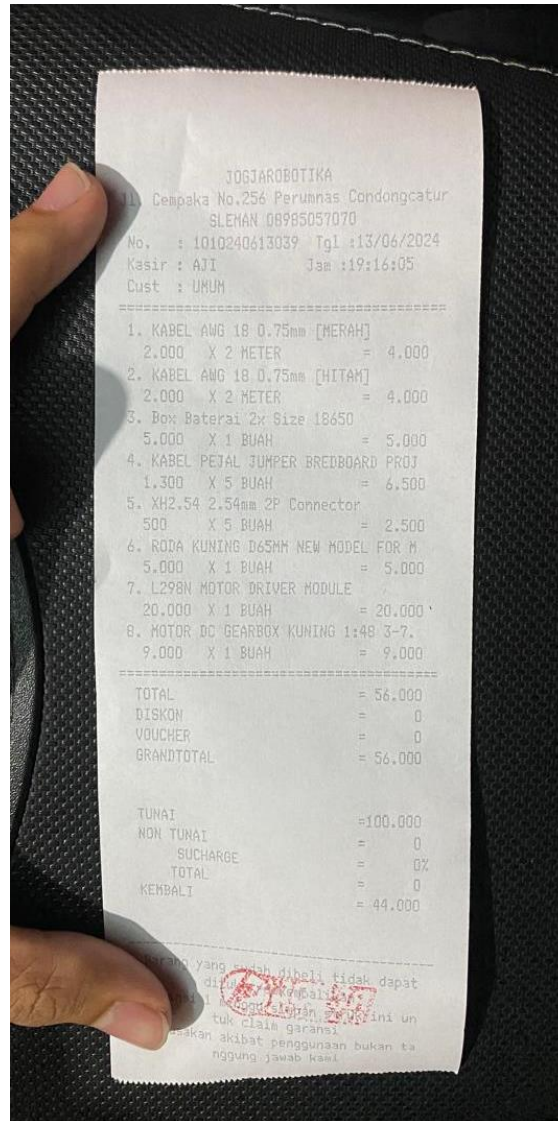
DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. D. Alfi, "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Masyarakat di Perumnas Indarung Sekitar PT. SEMEN PADA Tahun 2021," *Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat*, Universitas Andalas, vol. xiii, pp. 1-76, April 2021.
- [2] A. S. Dian Fitriana, "Kualitas Udara dan Keluhan Sesak Napas Pemulung di Tempat Pembuangan," *Hideria Journal of Public Health Research and Development*, vol. 3, pp. 357-368, 21 Juli 2019, doi: 10.15294/higeia.v3i3.30229.
- [3] I. M. Farhan, "Larik Sensor Gas Berbasis IoT untuk," *Jurnal EL Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 25-30, Juli 2021.
- [4] M. F. Akbar, "Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara Pada Aula Gedung Fasilkom," *Laporan Akhir Program Studi Teknik Komputer Universitas Sriwijaya*, vol. xii, pp. 1-81, September 2021.
- [5] S. A. M. Farisa Hidayatullah, "Gangguan Saluran Pernafasan Akibat Pencemaran Udara di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir (TPA)," *Jurnal Kesehatan 13*, Program Pasca Sarjana Kesehatan Masyarakat, Universitas Ahmad Dahlan, vol. 2, pp. 119-130, 12 September 2020.
- [6] I. C. ., R. A. S. Arief Abdurrachman, "Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Gas CO₂ dan NO₂ Untuk Pengamatan Emisi Dari Pembakaran Sampah Rumah Tangga," *Jurnal e-Proceeding of Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 1342, April 2020.
- [7] H. R. A. K. A. Gary Adamkiewicz, "WHO Guidelines For indoor Air Quality : Selected Pollutants," *Europe: World Health Organization Europe*, 2010, pp. 55-89, 201-248.
- [8] H. D. Wahjono, "Fixed Monitoring System Untuk Pemantauan Gas Yang Dihasilkan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah," *Jurnal Peneliti Bidang Teknologi Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, vol. 7, no. 3, pp. 217-232, November 2011..
- [9] F. Z. Rachman, "Sistem Pemantau Gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 6, no. 3, pp. 100–105, Jul. 2018, doi: 10.14710/jtsiskom.6.3.2018.100-105.

- [10] P. A. Intan Muning Harjanti, "Pengolahan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang, Kota Semarang," *Jurnal Planolog*, vol. 17, no. 2, pp. 185-197, 2 Oktober 2020.
- [11] Y. H. D. N. A. Y. D. Wahyu Sekar Harjanti, "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Gas Amonia (NH₃) Pada Pemulung di TPS Jatibarang, Semarang," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, no. 3, pp. 921-930, Juli 2016.
- [12] Putri, Giannini Ludrya, "Kadar hidrogen sulfida dan keluhan pernapasan pada petugas di pengolahan sampah super depo Sutorejo Surabaya." *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 10, no.2, pp. 211-219, 2018.
- [13] M. A. B. E. S. Nurul Annisa, "Pengukuran dan Pemetaan konsentrasi Gas SO₂ dan NO₂ di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) Studi Kasus: TPA Jatibarang Semarang," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 1-11, 2017.
- [14] A. K. Wilianto, "Sejarah, Cara Kerja dan Manfaat Internet of Things," *Jurnal Matrix*, vol. 8, no. 2, p. Juli, 2018.

LAMPIRAN

1. Bukti Pembayaran Pembelian Komponen



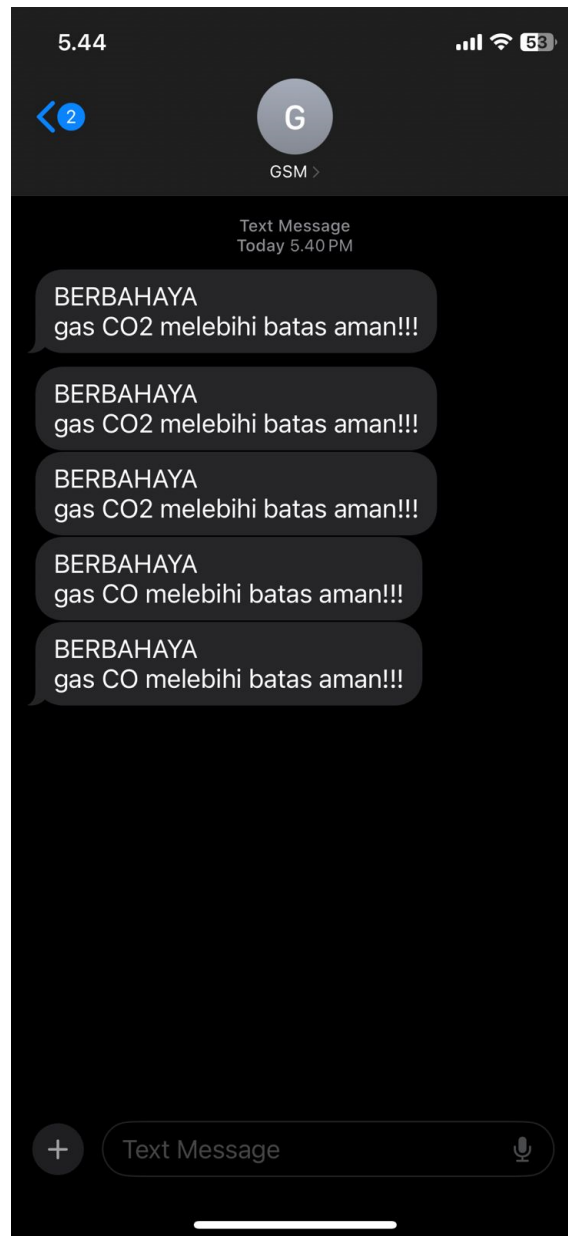
2. Memasang PCB pada Box Panel



3. Mengambil Data



4. SMS Peringatan



5. Datasheet gas detector Wohler KM410

Wöhler KM 410 Indoor Air Quality Meter



Technical data		
CO ₂ -Measurement (NDIR-Sensor)	Range	0...5.000 ppm
	Resolution	1 ppm
	Accuracy	±30 ppm ±5 %
	Warming phase	30 sec.
	Response time	<30 sec.
CO-Measurement	Range	0...1.000 ppm
	Resolution	1 ppm
	Accuracy	±10 ppm or less than 100 ppm ±10 % between 101...500 ppm ±20 % more than 501 ppm
	Response time	<60 sec.
Temperature	Range	-20...60 °C (-5...140 °F)
	Resolution	0,1 °C (0,1 °F)
	Accuracy	±0,5 °C (±0,9 °F)
Relative air humidity	Range	0,1...99,9 % r.H.
	Resolution	0,1 % r.H.
	Accuracy	±3 % at 10...90 % r.H. and 25 °C ±5 % r.H. at other readings and 25 °C
	Response time	<10 sec.
Working temperature	0...50 °C	
Storage temperature	20...60 °C, 10...90 % r.H., non-condensing	
Current supply	4 AA-batteries or mains operation via a 9 V-DC-adaptor (not included in delivery)	
PC	USB-interface	
Memory	6.000 per list of measurement readings CO ₂ , temp., r.H., CO	
Logrates	1s...4h49m59s	
Size	205 x 70 x 56 mm	
Weight	200 g	

WÖHLER

Wöhler Technik GmbH
Headquarters Germany
Wöhler-Platz 1 - 33181 Bad Wünnenberg
www.woehler-international.com

© Wöhler 10/2020 All rights reserved. Subject to changes, including of a technical nature.

6. Kode Program

```

#define TINY_GSM_MODEM_SIM800
#define SerialMon Serial
#define SerialAT Serial1
#define TINY_GSM_RX_BUFFER 1000
#define TINY_GSM_DEBUG SerialMon
#define GSM_BAUD 115200
#define GSM_PIN ""
#define MODEM_RESET 2
#include <TinyGsmClient.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <math.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define RL 10
#define BUZZER 9
#define RELAY_RED 8
#define RELAY_GREEN 7
#define THRESHOLD_CH4 1000
#define THRESHOLD_CO 25
#define THRESHOLD_CO2 50
#define THRESHOLD_NH3 25
#define THRESHOLD_NO2 1
#define THRESHOLD_H2S 1
#define SMS_TARGET "+6285724258626"

// Your GPRS credentials, if any
const char apn[] = "Intenet";
const char gprsUser[] = "";
const char gprsPass[] = "";

// Server details
const char* mqttServer = "server.qumicon.info";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttUser = "mqtt";
const char* mqttPassword = "Mqtt123";
const char* mqttClientId = "firebase_client";
const char* firebaseURL = "https://zaki-monitoring-gas-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/app/";
const char* firebaseSecret = "8xYZJTNOVHC01LmAE72e0ITosybpvllwYeziiJvG";
const char* labelName = "SensorData";
const size_t bufferSize = JSON_OBJECT_SIZE(5) + 100;

TinyGsm modem(SerialAT);

```

```

TinyGsmClient client(modem);
PubSubClient mqtt(client);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
DynamicJsonDocument jsonBuffer(bufferSize);

uint32_t lastReconnectAttempt = 0;
const int interval = 5000;
boolean debug = true;
unsigned long previousMillis = 0;
String replyID = "";
bool smsResponse = false;
String imei = "";
int smsIntervalCount[6];
boolean smsSendLogic[6];
String sensorTipe[6] = {"CH4", "CO", "CO2", "NH3", "NO", "NO2"};
String smsMessage = "bahaya, melebihi batas!";

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int len) {
  SerialMon.print("Message arrived [");
  SerialMon.print(topic);
  SerialMon.print("]: ");
  SerialMon.write(payload, len);
  SerialMon.println();
}

boolean reconnect() {
  String clientId = String(mqttClientId);
  clientId += replyID;
  if (mqtt.connect(clientId.c_str(), mqttUser, mqttPassword)) {
    mqtt.subscribe(("firebase_proxy/api/data/"+String(replyID)).c_str());
  }
  return mqtt.connected();
}

void setup() {
  SerialMon.begin(115200);
  delay(10);
  pinMode(MODEM_RESET, OUTPUT);
  digitalWrite(MODEM_RESET, LOW);delay(100);
  pinMode(MODEM_RESET, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_RED, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_GREEN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER, LOW);

```

```

digitalWrite(RELAY_RED, LOW);
digitalWrite(RELAY_GREEN, LOW);
lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.clear();
SerialMon.println("Wait...");
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Wait..      ");
SerialAT.begin(GSM_BAUD);
delay(6000);
SerialMon.println("Initializing modem..");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Initializing modem..");
modem.restart();
String modemInfo = modem.getModemInfo();
SerialMon.print("Modem Info: ");
SerialMon.println(modemInfo);
lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Modem info:   ");
lcd.setCursor(0,3);lcd.print(modemInfo);
delay(1000);
lcd.clear();
if (GSM_PIN && modem.getSimStatus() != 3) { modem.simUnlock(GSM_PIN); }
SerialMon.print("Waiting for network...");
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Waiting for network.");
if (!modem.waitForNetwork(180000L, true)) {
  SerialMon.println(" fail");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Failed !!   ");
  delay(10000);
  return;
}
SerialMon.println(" success");
if (modem.isNetworkConnected()) {
  SerialMon.println("Network connected");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Network connected. ");
}

if (!modem.isGprsConnected()) {
  Serial.print(F("Connecting to "));
  Serial.println(apn);
  lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Connect to "+String(apn));
  if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
    SerialMon.println(" fail");
    lcd.setCursor(0,3);lcd.print("Failed !!   ");
    delay(10000);
    return;
  }
}

```

```

}
SerialMon.println(" success");
if (modem.isGprsConnected()) {
  SerialMon.println("GPRS connected");
  lcd.setCursor(0,3);lcd.print(String(apn)+" connected. ");
}
delay(1000);
replyID = String(random(0xffff), HEX);
for(int x=0;x<6;x++){smsIntervalCount[x]=18;smsSendLogic[x]=false;}
mqtt.setServer(mqttServer, 1883);
mqtt.setCallback(callback);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Gas Monitoring");
for(int x=0;x<20;x++){
  lcd.setCursor(x,3);lcd.print(".");delay(50);
}
delay(1000);
}

```

```

void checkThreshold(float ppm, float threshold, int sensorNumber) {
  if (ppm > threshold) {
    smsSendLogic[sensorNumber] = true;
  }
  else {
    smsSendLogic[sensorNumber] = false;
  }
}

```

```

void updateAlertStatus() {
  bool alert = false;
  for (int i = 0; i < 6; i++) {
    if (smsSendLogic[i]) {
      alert = true;
      break;
    }
  }
  if (alert) {
    digitalWrite(BUZZER, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_RED, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_GREEN, LOW);
  } else {
    digitalWrite(BUZZER, LOW);
    digitalWrite(RELAY_RED, LOW);
    digitalWrite(RELAY_GREEN, HIGH);
  }
}

```

```

}
}

void loop() {
  if (!modem.waitForNetwork(180000L, true)) {
    SerialMon.println(" fail");
    delay(10000);
    return;
  }
  if (!modem.isGprsConnected()) {
    Serial.print(F("Connecting to "));
    Serial.println(apn);
    if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
      SerialMon.println(" fail");
      delay(10000);
      return;
    }
  }
  if (!mqtt.connected()) {
    SerialMon.println("=== MQTT NOT CONNECTED ===");
    uint32_t t = millis();
    if (t - lastReconnectAttempt > 10000L) {
      lastReconnectAttempt = t;
      if (reconnect()) { lastReconnectAttempt = 0; }
    }
    delay(100);
    return;
  }
  unsigned long now = millis();
  if (now - previousMillis > interval) {
    previousMillis = now;
    for(int x=0;x<6;x++){
      if(smsSendLogic[x]==true){
        smsIntervalCount[x]++;
        if(smsIntervalCount[x]>=20){
          smsResponse = modem.sendSMS(SMS_TARGET, sensorTipe[x] + smsMessage);
          DBG("SMS:", smsResponse ? "OK" : "fail");
          smsIntervalCount[x]=0;
        }
      }
    }
  }

  Serial.println("=====");
  // CH4 Sensor

```

```

float b_CH4 = 1.22610;
float m_CH4 = -0.31518;
float Ro_CH4 = 19.08;
int ppm_CH4;

float VRL_CH4 = analogRead(A0) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_CH4 = ((5.0 / VRL_CH4) - 1) * RL;
float ratio_CH4 = Rs_CH4 / Ro_CH4;
ppm_CH4 = round(pow(10, ((log10(ratio_CH4) - b_CH4) / m_CH4)));

Serial.print("CH4: ");
Serial.print(ppm_CH4);
Serial.print(" ppm, ");
checkThreshold(ppm_CH4, THRESHOLD_CH4, 0);

// CO Sensor
float b_CO = 1.34509;
float m_CO = -0.67575;
float Ro_CO = 110;
int ppm_CO;

float VRL_CO = analogRead(A1) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_CO = ((5.0 / VRL_CO) - 1) * RL;
float ratio_CO = Rs_CO / Ro_CO;
ppm_CO = round(pow(10, ((log10(ratio_CO) - b_CO) / m_CO)));

Serial.print("CO: ");
Serial.print(ppm_CO);
Serial.print(" ppm, ");
checkThreshold(ppm_CO, THRESHOLD_CO, 1);

// CO2 Sensor
float b_CO2 = 0.71722;
float m_CO2 = -0.35021;
float Ro_CO2 = 129;
int ppm_CO2;

float VRL_CO2 = analogRead(A2) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_CO2 = ((5.0 / VRL_CO2) - 1) * RL;
float ratio_CO2 = Rs_CO2 / Ro_CO2;
ppm_CO2 = round(pow(10, ((log10(ratio_CO2) - b_CO2) / m_CO2)));

Serial.print("CO2: ");
Serial.print(ppm_CO2);

```

```

Serial.print(" ppm, ");
checkThreshold(ppm_CO2, THRESHOLD_CO2, 2);

// NH3 Sensor
float b_NH3 = 0.75594;
float m_NH3 = -0.38060;
float Ro_NH3 = 21.33;
int ppm_NH3;

float VRL_NH3 = analogRead(A3) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_NH3 = ((5.0 / VRL_NH3) - 1) * RL;
float ratio_NH3 = Rs_NH3 / Ro_NH3;
ppm_NH3 = round(pow(10, ((log10(ratio_NH3) - b_NH3) / m_NH3)));

Serial.print("NH3: ");
Serial.print(ppm_NH3);
Serial.print(" ppm, ");
checkThreshold(ppm_NH3, THRESHOLD_NH3, 3);

// NO2 Sensor
float b_NO2 = 0.810152;
float m_NO2 = -0.39916;
float Ro_NO2 = 21.33;
float ppm_NO2;

float VRL_NO2 = analogRead(A4) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_NO2 = ((5.0 / VRL_NO2) - 1) * RL;
float ratio_NO2 = Rs_NO2 / Ro_NO2;
ppm_NO2 = pow(10, ((log10(ratio_NO2) - b_NO2) / m_NO2));

Serial.print("NO2: ");
Serial.print(ppm_NO2);
Serial.print(" ppm, ");
checkThreshold(ppm_NO2, THRESHOLD_NO2, 4);

// H2S Sensor
float b_H2S = 0.42059;
float m_H2S = -0.26853;
float Ro_H2S = 22.69;
float ppm_H2S;

float VRL_H2S = analogRead(A5) * (5.0 / 1024.0);
float Rs_H2S = ((5.0 / VRL_H2S) - 1) * RL;
float ratio_H2S = Rs_H2S / Ro_H2S;

```

```
ppm_H2S = pow(10, ((log10(ratio_H2S) - b_H2S) / m_H2S));
```

```
Serial.print("H2S: ");  
Serial.print(ppm_H2S);  
Serial.println(" ppm");  
checkThreshold(ppm_H2S, THRESHOLD_H2S, 5);
```

```
// Update alert status based on thresholds  
updateAlertStatus();
```

```
// Update LCD display  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("CO2: ");  
lcd.print(ppm_CO2);  
lcd.print(" ppm");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("CH4: ");  
lcd.print(ppm_CH4);  
lcd.print(" ppm");
```

```
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("CO : ");  
lcd.print(ppm_CO);  
lcd.print(" ppm");
```

```
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print("NH3: ");  
lcd.print(ppm_NH3);  
lcd.print(" ppm");
```

```
delay(2000);
```

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("NO2: ");  
lcd.print(ppm_NO2);  
lcd.print(" ppm");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("H2S: ");  
lcd.print(ppm_H2S);  
lcd.print(" ppm");
```

```

    if (modem.isNetworkConnected() && modem.isGprsConnected() && mqtt.connected()) {
        sendMqttMessage(ppm_CO2, ppm_CH4, ppm_CO, ppm_NH3, ppm_NO2, ppm_H2S);
    }
}
mqtt.loop();
}

```

```

void sendMqttMessage(int device1, int device2, int device3, int device4, float device5, float
device6) {

```

```

    // Build JSON payload using ArduinoJson
    JsonObject payload = jsonBuffer.to<JsonObject>();
    payload["action"] = "post";
    payload["firebaseUrl"] = firebaseURL;
    payload["firebaseSecret"] = firebaseSecret;
    payload["labelName"] = labelName;
    payload["replydataID"] = replyID;

```

```

    JsonArray data = payload.createNestedArray("data");
    data.add(device1);
    data.add(device2);
    data.add(device3);
    data.add(device4);
    data.add(device5);
    data.add(device6);

```

```

    String jsonString;
    serializeJson(payload, jsonString);

```

```

    mqtt.publish("firebase_proxy/api/data", (const uint8_t*) jsonString.c_str(), jsonString.length());
    Serial.println("MQTT message sent");

```

```

    // Print JSON payload for debugging
    Serial.print("JSON payload: ");
    Serial.println(jsonString);
    Serial.print("JSON Length: ");
    Serial.println(jsonString.length());
}

```

7. Lembar Saran

TABEL PERBAIKAN LAPORAN AKHIR CAPSTONE

MAHASISWA #1 : 20524009 Ferdi Tegar Syahputra
MAHASISWA #2 : 20524167 Muhammad Zakia Rahman
JUDUL/TOPIK : Monitoring Gas Berbahaya di Area Pembuangan atau Pengolahan Sampah

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	laporan belum ada ringkasan konfirmasi: kenapa dipilih gas-gas tersebut?	Pemilihan gas-gas meliputi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO ₂), amonia (NH ₃), metana (CH ₄), nitrogen dioksida (NO ₂), dan hidrogen sulfida (H ₂ S) untuk dideteksi di area pembuangan atau pengolahan sampah didasarkan pada karakteristik dan dampak potensial masing-masing gas terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Gas-gas ini dihasilkan dari berbagai proses, termasuk pembakaran tidak sempurna, pembusukan bahan organik, dan aktivitas industri, serta memiliki dampak serius seperti iritasi saluran pernapasan, keracunan, dan gangguan kesehatan kronis.	7	Approved
2	apa perbedaan usulan solusi 1 dan 2?	Menekankan perbedaan antara usulan solusi 1 dan usulan solusi 2. Perbedaan usulan solusi 1 dan 2 ada pada penempatan alat, penggunaan komponen komunikasi dan penggunaan sumber daya sistem. Perbedaan yang pertama untuk solusi 1 menggunakan tiang untuk menempatkan alat dan untuk solusi 2 alat akan ditempelkan pada dinding. Perbedaan yang kedua untuk solusi 1 menggunakan komponen komunikasi yaitu esp8266 dan untuk solusi 2 menggunakan komponen	41-43	Approved

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
		komunikasi yaitu esp32. Perbedaan yang ketiga untuk solusi 1 menggunakan sumber daya dari baterai dan untuk solusi 2 menggunakan sumber daya dari PLN.		
3	Jelaskan secara runtut langkah kalibrasi jelaskan secara runtut algoritma buzzer dan lampu peringatan, tuliskan threshold yang digunakan	- menambahkan algoritma buzzer, lampu peringatan dan notifikasi SMS serta threshold yang digunakan pada pengujian kecepatan output Kami melakukan pengujian sistem peringatan dengan cara memberikan gas dari uap rokok elektrik sehingga gas karbon dioksida akan terdeteksi melebihi batas aman yaitu 500 ppm untuk karbon dioksida. Hasil dari pengujian itu adalah semua sistem peringatan seperti buzzer, lampu merah dan SMS peringatan sudah berfungsi dengan baik.	54-55	Approved
4	apakah tidak ada tahapan kalibrasi, bagaimana prosedur kalibrasi yang dilakukan?	- menambahkan langkah kalibrasi sebelum melakukan pengujian akurasi gas sensor	53-54	Approved
5	pada tabel 5.1 nilai aktual didapatkan dari mana? Pada tabel 5.3 nilai aktual didapatkan dari mana?	Setelah tim melakukan pengujian akurasi sensor gas didapatkan nilai error dan akurasi dari perhitungan yang telah dilakukan. Tabel 5.1 merupakan hasil dari pengukuran gas CO dengan menggunakan sensor MQ-7 dengan memvariasikan jarak pengukuran dari sumber gas. Dengan pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Perhitungan <i>error</i> dan akurasi diambil dari pembacaan "Wohler KM410" dan dengan pembacaan sistem pada <i>serial monitor</i> , dengan hasil dari "Wohler KM410" atau alat pembanding sebagai nilai aktual. Selanjutnya pada pengujian akurasi dan <i>error</i> untuk gas CO dengan menggunakan sensor MQ-135. Tabel 5.3	60 dan 62	Approved

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
		merupakan hasil pengukuran dari 4 kali percobaan, tempat pengujian didalam ruangan dan diluar ruangan dengan masing-masing 2 kali percobaan. Perhitungan <i>error</i> dan akurasi diambil dari pembacaan "Wohler KM410" dan dengan pembacaan pada <i>serial monitor</i> , dengan hasil dari "Wohler KM410" atau alat pembanding sebagai nilai aktual.		
6	tabel 5.2 redundan dengan tabel 5.1, redundan dengan gambar 5.1 begitu juga tabel 5.3	Telah dilakukan perbaikan sehingga tidak redundan. Kami telah menghapus gambar 5.1 dan 5.2. Kami memilih menampilkan data berupa tabel saja.	59 dan 62	Approved
7	belum dijelaskan standar batas aman atau tidak aman untuk kadar gas?	menambahkan standar batas aman untuk setiap gas. Menurut National Institutes of Health, batasan paparan gas udara untuk beberapa jenis gas adalah sebagai berikut: 50 ppm untuk gas CO ₂ , 25 ppm untuk gas CO, 25 ppm untuk NH ₃ , 1 ppm untuk H ₂ S, 1000 ppm untuk CH ₄ , dan 1 ppm untuk NO ₂ . Jika kadar gas-gas ini melebihi batas yang telah ditetapkan, dapat berpotensi merusak kesehatan manusia. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengembangkan sistem pemantauan yang efektif guna mengawasi tingkat konsentrasi gas-gas ini di udara, terutama di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau Tempat Pemrosesan Sampah (TPS).	9	Approved
8				Not started
9				Not started
10				Not started

Yogyakarta, 2 Agustus 2024

Menyetujui,
Penguji



(Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng)