

# **RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA AMONIA (NH<sub>3</sub>) DAN METANA (CH<sub>4</sub>) PADA TEMPAT PEMBUANGAN SAMPAH SEMENTARA**

## **DESIGN OF AMMONIA (NH<sub>3</sub>) AND METHANE (CH<sub>4</sub>) AIR QUALITY MONITORING SYSTEM AT TEMPORARY WASTE DISPOSAL SITES**

**Derby B. Adinara<sup>1</sup>, I Made Kris A. Astra<sup>2</sup>, Hapsoro A. Nugroho<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Prodi Instrumentasi MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I/5, Pondok Aren, Tangerang Selatan, 15221

<sup>2</sup>Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar, Jl. Raya Tuban, Badung, Bali, 80361

### **ABSTRAK**

Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) adalah lokasi atau fasilitas yang digunakan untuk mengumpulkan sementara sampah dari berbagai sumber sebelum sampah tersebut diangkut ke lokasi pemrosesan akhir. Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan TPS adalah emisi gas berbahaya, seperti amonia (NH<sub>3</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>), yang dapat menyebabkan berbagai dampak negatif, termasuk peningkatan risiko penyakit pernapasan dan kontribusi terhadap efek rumah kaca. Gas-gas ini berasal dari proses dekomposisi sampah organik dan limbah lainnya, sehingga pemantauan secara real-time sangat diperlukan untuk mencegah kerugian lingkungan dan kesehatan. Pengelolaan TPS yang tidak baik dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan dan kesehatan, seperti pencemaran air dan udara, salah satunya adalah gas amonia dan metana. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH<sub>3</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) di area tempat pembuangan sampah sementara, menggunakan sensor gas MQ-4 dan MQ-135 yang sensitif terhadap NH<sub>3</sub> dan CH<sub>4</sub>. Sistem ini dirancang menggunakan NodeMCU ESP32 yang telah dilengkapi dengan penyimpanan micro SD dan informasi konsentrasi gas ditampilkan pada LCD. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan mampu mendeteksi konsentrasi NH<sub>3</sub> dan CH<sub>4</sub> dengan keakuratan yang baik, serta memberikan data real-time dalam manajemen tempat pembuangan sampah sementara.

Kata kunci: Amonia, Metana, Sampah, NodeMCU ESP32

### **ABSTRACT**

Temporary Waste Disposal Site (TPS) is a location or facility used to temporarily collect waste from various sources before the waste is transported to the final processing location. One of the main challenges in TPS management is the emission of hazardous gases, such as ammonia (NH<sub>3</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>), which can cause various negative impacts, including increasing the risk of respiratory diseases and contributing to the greenhouse effect. These gases come from the decomposition process of organic waste and other waste, so real-time monitoring is essential to prevent environmental and health losses. Improper management of TPS can cause various environmental and health problems, such as water and air pollution, one of which is ammonia and methane gas. This research aims to design and build an air quality monitoring system to detect ammonia (NH<sub>3</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) gas in temporary waste dump areas, using MQ-4 and MQ-135 gas sensors which are sensitive to NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub>. This system is designed using a NodeMCU ESP32 which is equipped with storage on a micro SD card and gas concentration information is displayed on the LCD. The results of this research show that the monitoring system developed is

*capable of detecting NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub> concentrations with good accuracy, as well as providing real-time data in temporary waste disposal site management.*

Keywords: *Ammonia, Methane, Waste, NodeMCU ESP32*

## 1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh kota-kota di seluruh dunia, terutama di negara-negara berkembang [1]. Peningkatan jumlah penduduk dan konsumsi telah menyebabkan peningkatan volume sampah yang dihasilkan, yang mana membutuhkan strategi pengelolaan sampah yang efektif dan efisien. Tempat pembuangan sampah sementara (TPS) memegang peranan penting dalam sistem pengelolaan sampah perkotaan, sebagai titik pengumpulan awal sebelum sampah diproses atau dibuang ke lokasi pembuangan akhir [2]. Namun, kurangnya perencanaan dan pengelolaan yang baik seringkali membuat TPS menjadi sumber masalah, mulai dari polusi visual, pencemaran lingkungan, hingga menjadi sarang penyakit.

Kualitas udara merupakan indikator penting dari kesehatan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat [3]. Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan aktivitas industri, pertanian, dan perkembangan urban telah berkontribusi terhadap degradasi kualitas udara secara global. Dua gas yang memiliki peran signifikan dalam isu kualitas udara adalah amonia (NH<sub>3</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Amonia, gas yang berasal terutama dari proses pertanian dan pengolahan limbah, merupakan salah satu penyebab utama polusi udara yang dapat mengganggu ekosistem dan kesehatan manusia [4]. Sementara itu, metana, gas rumah kaca yang lebih berbahaya dibandingkan dengan karbon dioksida [5], secara signifikan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Keduanya memiliki dampak

yang luas terhadap lingkungan, mulai dari perubahan iklim global hingga isu kesehatan lokal.

Pengelolaan sampah yang tidak efektif tidak hanya menyebabkan masalah lingkungan seperti polusi tanah dan air, tetapi juga berdampak signifikan terhadap kualitas udara. Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) sebagai bagian dari sistem pengelolaan sampah perkotaan, memiliki peran penting dalam menentukan tingkat emisi gas berbahaya ke atmosfer. Gas amonia (NH<sub>3</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>) merupakan dua gas utama yang diemisikan dari proses dekomposisi sampah organik di TPS. Kedua gas ini tidak hanya berkontribusi terhadap perubahan iklim global, tetapi juga dapat menyebabkan masalah kesehatan serius bagi manusia dan ekosistem sekitar [6].

Oleh karena itu, perlunya sistem monitoring yang efektif untuk mengukur konsentrasi gas-gas ini di TPS menjadi sangat penting untuk mengelola dampak lingkungan dari pembuangan sampah. Dimana akibat penumpukan dan pembusukan sampah, kadar gas yang dihasilkan melebihi batas normal, mencapai 200 hingga 10.000 ppm untuk gas metana dan 0 hingga 5 ppm untuk gas amonia [7].

Beberapa penelitian terkait monitoring kualitas udara pada TPS seperti pada penelitian [8] dimana menggunakan teknologi *wireless sensor network* untuk mendeteksi gas metana, amonia dan karbondioksida. Penelitian [9] melakukan monitoring gas metana, amonia, dan hidrogen sulfida menggunakan mikrokontroler arduino uno dan nodemcu. Selain itu

penelitian [10] berbasis teknologi robot dengan dilengkapi sensor polusi udara.

Sensor MQ-4 dan MQ-135 merupakan dua jenis sensor yang sering digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas udara karena sensitivitas dan spesifisitasnya terhadap gas metana dan amonia. Sensor MQ-4 dirancang untuk mendeteksi konsentrasi gas metana dalam udara [11]. Prinsip kerja sensor ini berdasarkan perubahan resistansi yang terjadi ketika gas metana terikat pada permukaan sensor, yang menyebabkan perubahan arus listrik yang dapat diukur.



**Gambar 1.** Sensor Gas MQ-4

Di sisi lain, sensor MQ-135 dirancang untuk mendeteksi berbagai gas, termasuk amonia, oksida nitrogen, alkohol, benzen, dan asap, dengan sensitivitas tinggi terhadap ammonia [12]. Sensor ini bekerja dengan prinsip yang sama seperti sensor MQ-4, di mana perubahan konsentrasi gas tertentu di udara akan mengubah resistansi sensor, yang kemudian dapat diukur dan dianalisis.



**Gambar 2.** Sensor Gas MQ-135

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara yang dapat secara akurat dan real-time mengukur

konsentrasi gas amonia dan metana di TPS. Sistem ini diharapkan dapat memberikan data yang penting untuk evaluasi dan peningkatan strategi pengelolaan sampah, serta untuk menginformasikan kebijakan publik dan inisiatif pengurangan emisi. Melalui penerapan teknologi sensor dan analisis data yang komprehensif, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kekurangan dalam sistem monitoring kualitas udara yang ada dan memberikan wawasan baru dalam pengelolaan dampak lingkungan dari TPS.

Pengembangan dan implementasi sistem monitoring ini tidak hanya penting untuk memastikan lingkungan yang sehat dan aman bagi masyarakat sekitar TPS, tetapi juga untuk mendukung upaya global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan menyediakan data yang akurat dan tepat waktu tentang emisi NH<sub>3</sub> dan CH<sub>4</sub>, sistem ini dapat memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan sampah dan mitigasi perubahan iklim. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi pada literatur ilmiah dengan menyajikan metodologi dan temuan yang dapat diaplikasikan di berbagai konteks TPS lainnya, baik di skala nasional maupun internasional.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi desain eksperimental untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas udara yang mampu mendeteksi dan merekam konsentrasi gas amonia dan metana di lingkungan tempat pembuangan sampah sementara. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam menguji kinerja sistem dalam kondisi nyata, memungkinkan peneliti untuk mengamati efektivitas, keakuratan, dan keandalan sistem dalam waktu nyata. Pengembangan prototipe sistem dilakukan melalui serangkaian proses yang meliputi perancangan,

pembuatan, dan pengujian fungsional. Konsep sistem secara keseluruhan digambarkan pada blok diagram pada Gambar 4, yang memuat tahapan proses sistem yang akan dirancang.

Pada bagian input dalam sistem monitoring kualitas udara ini terdiri dari data konsentrasi gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan metana ( $\text{CH}_4$ ), yang diukur secara langsung dari lingkungan tempat pembuangan sampah sementara. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor gas MQ135 dalam sistem ini berperan sebagai sensor  $\text{NH}_4$  atau Amonia. Sedangkan MQ4 berperan sebagai sensor yang mengukur kandungan  $\text{CH}_4$  atau Metana. Kedua sensor ini mampu mendeteksi variasi konsentrasi gas dalam rentang yang luas. Sensor ini dipilih berdasarkan kemampuan responsivitas tinggi, akurasi pengukuran, dan stabilitas dalam kondisi lingkungan yang beragam. Input dari sensor ini merupakan data mentah yang akan diolah lebih lanjut oleh sistem untuk menghasilkan informasi yang dapat diinterpretasikan. Kemudian terdapat modul RTC DS3231 adalah komponen yang berperan sebagai Indikator waktu dari sistem ini.

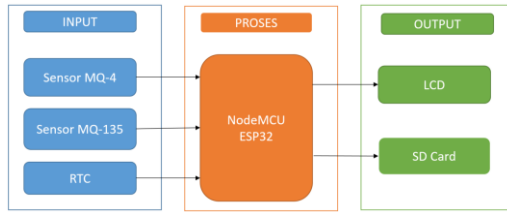


**Gambar 3.** Modul Node MCU ESP32

Proses dalam sistem ini pengolahan data menggunakan mikrokontroler Node MCU ESP32 Wroom D32 [13]. Pada Gambar 3 NodeMCU ESP32 Wroom D32 menyediakan platform yang sangat cocok untuk pengembangan sistem monitoring kualitas udara yang efektif dan efisien. Dengan kemampuan konektivitas

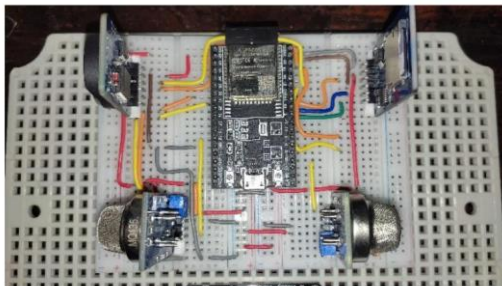
nirkabel, pemrosesan data yang kuat, dan konsumsi daya yang rendah. Mikrokontroler bertindak sebagai otak dari sistem, di mana algoritma pemrosesan data diimplementasikan untuk menginterpretasikan konsentrasi gas berdasarkan input dari sensor. Proses ini termasuk penghitungan kadar ppm dari ammonia dan metana, deteksi batas ambang, dan logika penyimpanan data untuk analisis lebih lanjut.

Output dari sistem monitoring kualitas udara ini dirancang untuk memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami tentang kondisi kualitas udara di tempat pembuangan sampah sementara. Informasi ini disajikan dalam bentuk visualisasi data melalui antarmuka pengguna pada layar LCD yang menunjukkan konsentrasi aktual  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CH}_4$ . Output ini tidak hanya vital bagi pengelola tempat pembuangan sampah untuk memantau dan mengelola kualitas udara tetapi juga memberikan data penting untuk analisis dan penelitian lebih lanjut mengenai dampak lingkungan dari emisi gas amonia dan metana. Selain itu, sistem dapat menyimpan data konsentrasi gas pada SD Card. Penggunaan SD card pada sistem monitoring ini dipilih untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan data secara lokal. Meskipun teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi penyimpanan berbasis cloud atau komunikasi jarak jauh yang lebih canggih, sistem yang dibangun dalam penelitian ini bertujuan untuk menyediakan solusi sederhana dan mandiri di lingkungan yang tidak selalu memiliki akses internet yang stabil atau infrastruktur jaringan yang memadai. Dalam konteks TPS (Tempat Pembuangan Sampah Sementara), seringkali lokasi yang dipantau berada di area terpencil atau tidak terjangkau oleh konektivitas internet yang andal.



**Gambar 4.** Diagram Blok Sistem

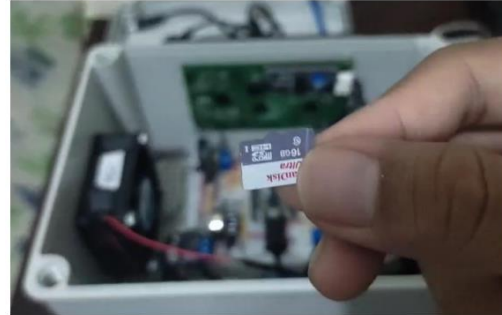
Rangkaian skematik sistem monitoring kualitas udara dirancang untuk mengintegrasikan sensor gas NH<sub>3</sub> dan CH<sub>4</sub> dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 Wroom D32. Sensor gas bertugas mendeteksi konsentrasi gas amonia dan metana di udara dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang dapat diinterpretasikan oleh mikrokontroler. Mikrokontroler, yang bertindak sebagai unit pemrosesan pusat, menerima input dari sensor gas dan mengolah data tersebut untuk menentukan konsentrasi gas dalam udara.



**Gambar 5.** Rangkaian Skematik Sistem

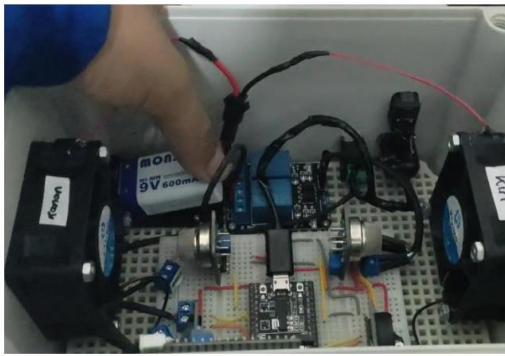
MQ135 dalam sistem ini berperan sebagai sensor NH<sub>4</sub> atau Amonia. Sensor ini terhubung ke ESP32 menggunakan pin GND, 5V, dan 12 (A0). MQ4 berperan sebagai sensor yang mengukur kandungan CH<sub>4</sub> atau Metana. Sensor ini dikontrol oleh ESP menggunakan beberapa pin yaitu pin GND, 5V, dan 5 (A0). Modul MicroSD digunakan sebagai sistem penyimpanan data sistem yang terbaca oleh sensor MQ4, MQ135 dan RTC DS3231. Komponen ini terhubung dengan ESP32 menggunakan pin GND, 5V,

23(MOSI), 19(MISO), 18(SCK), 5(CS). Modul ini diprogram agar dapat menyimpan data berupa Data Date, Time, NH<sub>4</sub>(ppm), CH<sub>4</sub>(ppm) yang disimpan dalam format CSV.



**Gambar 6.** Kartu micro SD untuk penyimpanan data

Modul RTC DS3231 adalah komponen yang berperan sebagai Indikator waktu [14], adapun komponen ini dikontrol oleh ESP melalui pin GND, 3V3, 21(SDA), 22(SCL). LCD 20x4 digunakan sebagai Display dari sistem yang dapat menampilkan kata atau data yang hendak ditampilkan dalam sistem [15]. Adapun komponen ini terhubung dengan ESP32 menggunakan beberapa pin yaitu GND, 5V, 21(SDA), 22(SCL). Kipas DC 12V adalah komponen yang berfungsi untuk menarik udara dari luar box untuk bisa dianalisis Index kualitas udaranya oleh sensor MQ4 dan MQ135. Komponen ini proses kerjanya di kontrol oleh Relay dan mendapatkan sumber power dari baterai atau tegangan DC dari luar [16]. Bagian negatif dari Kipas akan terhubung dengan bagian negatif dari Sumber Power, untuk bagian positif kipas akan terhubung dengan pin NO dari Relay. Kemudian untuk bagian positif dari power akan terhubung dengan pin COM dari Relay.



**Gambar 7.** Kipas DC dengan Baterai 9V

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sistem monitoring yang dikembangkan berhasil diimplementasikan dan diuji pada beberapa lokasi tempat pembuangan sampah sementara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan merekam konsentrasi gas amonia dan metana dengan akurasi yang tinggi. Data yang dikumpulkan menunjukkan variasi konsentrasi gas yang signifikan di berbagai lokasi dan waktu, mencerminkan pengaruh kondisi lingkungan dan aktivitas pembuangan sampah terhadap kualitas udara. Sistem juga berhasil mengirimkan data secara real-time ke platform monitoring secara langsung dan kontinu.



**Gambar 8.** Tampilan LCD untuk sampling data 3 detik

Sistem ini dirancang untuk melakukan sampling data secara otomatis setiap 3 detik, sensor gas seperti MQ-4 dan MQ-135 membutuhkan waktu tertentu untuk menstabilkan pembacaan setelah mendeteksi perubahan konsentrasi gas. Selain itu, interval 3

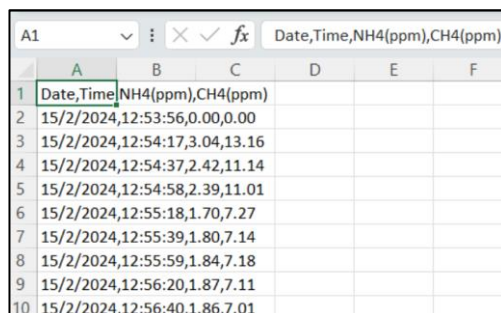
detik memberikan keseimbangan antara pengambilan data yang cepat dan penggunaan energi yang efisien, serta menjaga agar volume data tetap manageable. Hal ini memungkinkan pengumpulan data yang kontinu dan real-time seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Keunggulan utama dari sistem ini terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi konsentrasi gas secara tepat dan cepat.

Sistem monitoring memanfaatkan kipas DC, yang berfungsi untuk menghisap udara dari lingkungan sekitar ke dalam sistem. Kipas DC ini memainkan peran krusial dalam memastikan aliran udara yang konstan dan homogen ke dalam sensor gas, yang secara signifikan meningkatkan akurasi pengukuran. Dengan adanya kipas DC, sistem mampu mengatasi tantangan utama dalam monitoring gas, yaitu variabilitas konsentrasi gas di udara yang dapat mempengaruhi kualitas pengukuran. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan antarmuka pengguna yang informatif, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah memantau kondisi lingkungan melalui tampilan LCD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Dengan kemampuan ini, sistem monitoring amonia dan metana tidak hanya berkontribusi pada peningkatan keselamatan lingkungan tetapi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan melalui deteksi gas yang efektif dalam pengelolaan dampak lingkungan dari TPS.



**Gambar 9.** Tampilan LCD untuk pembacaan ammonia dan metana

Sistem ini dirancang untuk tidak hanya mendeteksi konsentrasi gas secara real-time tetapi juga menyimpan data pengukuran secara otomatis ke dalam kartu micro SD dalam format file Comma-Separated Values (CSV) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Format penyimpanan ini dipilih karena kemudahannya dalam integrasi dan analisis data menggunakan berbagai aplikasi pengolahan data, termasuk software spreadsheet dan alat analisis statistik. Sistem ini mampu merekam dan menyimpan data pengukuran dengan detail yang mencakup tanggal (Date), waktu (Time), konsentrasi amonia (NH<sub>3</sub>) dalam parts per million (ppm), dan konsentrasi metana (CH<sub>4</sub>) dalam ppm. Penyimpanan data secara detail ini memungkinkan analisis tren jangka panjang terhadap konsentrasi gas dalam lingkungan, serta identifikasi pola-pola fluktuasi yang mungkin terjadi.



	A	B	C	D	E	F
1	Date,Time	NH4(ppm)	CH4(ppm)			
2	15/2/2024,12:53:56	0.00	0.00			
3	15/2/2024,12:54:17	3.04	13.16			
4	15/2/2024,12:54:37	2.42	11.14			
5	15/2/2024,12:54:58	2.39	11.01			
6	15/2/2024,12:55:18	1.70	7.27			
7	15/2/2024,12:55:39	1.80	7.14			
8	15/2/2024,12:55:59	1.84	7.18			
9	15/2/2024,12:56:20	1.87	7.11			
10	15/2/2024,12:56:40	1.86	7.01			

Gambar 10. Format penyimpanan sistem

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem monitoring untuk gas amonia (NH<sub>3</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>). Sistem ini menunjukkan kapabilitas dalam mendeteksi dan memonitor konsentrasi gas secara real-time yang ditampilkan pada LCD, serta menyimpan data pengukuran yang terperinci dalam format CSV pada kartu micro SD. Implementasi sistem dengan kemampuan untuk menyediakan data real-time dan historis yang akurat dan mudah diakses, sistem ini memungkinkan

analisis tren dan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam manajemen lingkungan, khususnya dalam pengelolaan dampak lingkungan dari TPS. Meskipun sistem ini belum melakukan verifikasi data, seperti kalibrasi atau komparasi dengan sensor referensi. Sistem ini memiliki kemampuan dalam mendeteksi konsentrasi NH<sub>3</sub> dan CH<sub>4</sub> sesuai dengan standar rentang yang diizinkan. Dalam pengembangan lebih lanjut, untuk aplikasi yang memerlukan akurasi lebih tinggi atau verifikasi data dapat ditambahkan metode kalibrasi atau komparasi dengan alat operasional.

#### Daftar Pustaka

- [1] M. H. Napitupulua and A. Muhyidina, "Tantangan Partisipasi Pemangku Kepentingan dalam Tata Kelola Sampah Kota Berkelanjutan," *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, vol. 17, no. 4, pp. 385-397, 2021.
- [2] R. Gatta, N. Anggraini, M. Asy'ari, M. Mallagenie, D. D. Moelier, and A. F. Yahya, "Transformasi Peran dan Kapasitas Perempuan dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Kota Makassar," *Jurnal Penyuluhan*, vol. 18, no. 02, pp. 265-276, 2022.
- [3] A. S. Suryani, "Pengaruh Kualitas Lingkungan Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Dasar di Provinsi Banten," *Jurnal Aspirasi*, vol. 9, no. 1, pp. 35-63, 2018.
- [4] M. A. Yaman, *Teknologi penanganan, pengolahan limbah ternak dan hasil samping peternakan*. Syiah Kuala University Press, 2019.
- [5] T. Artiningrum, "Potensi emisi metana (CH<sub>4</sub>) dari timbulan sampah kota Bandung," *Geoplanart*, vol. 1, no. 1, pp. 36-44, 2017.
- [6] A. H. Y. S. N. Puspita, dan Tri Rima Setyawati, "Kondisi

- hematologi pemulung yang terpapar gas amoniak di tempat pembuangan akhir ( TPA ) sampah Batu Layang Pontianak," *Protobiont*, vol. 3, no. September 2013, pp. 31-39, 2014.
- [7] S. R. A. T. A. A. P. Raharjo, and R. Primananda, "Sistem Monitoring Volume Dan Gas Sampah Menggunakan Metode Real Time Operating System (RTOS )," *Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 11, pp. 1-8, 2018.
- [8] L. Nugroho, R. Saptono, and A. Hariyadi, "Sistem Monitoring Kadar Gas Metana (Ch4), Gas Amonia (Nh3) Dan Gas Karbon Dioksida (Co2) Pada Tempat Pembuangan Sampah Untuk Pencegahan Penyakit Ispa Berbasis Wireless Sensor Network," *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, vol. 11, no. 4, pp. 220-227, 2021.
- [9] D. P. Utomo, M. J. Afroni, and O. Melfazen, "Rancang Bangun Alat Monitoring Pencemaran Polutan Pada TPA Menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO Dan Nodemcu Berbasis Internet Of Things," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 13, no. 3, 2021.
- [10] L. H. Nyayu, J. Al Rasyid, M. R. Hidayat, Y. Hasan, S. Rasyad, and A. Masayu, "Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Robot Sampah," *Jurnal Ampere*, vol. 5, no. 1, pp. 1-8, 2020.
- [11] K. Diantoro, "Implementasi Sensor MQ 4 dan Sensor DHT 22 pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT (SIKOMPI)," *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 3, pp. 84-94, 2020.
- [12] M. H. Rifai, H. Rachmat, and M. D. Prasetyo, "Pemanfaatan Internet Of Things (iot) Untuk Rancang Bangun Uav (unmanned Aerial Vehicle) Alat Pengukuran Polutan Co Dan Co2 Di Pabrik Manufaktur Menggunakan Esp-now," *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 5, 2021.
- [13] H. Hairatunnisa, H. A. Nugroho, and R. Margiono, "Analisis Kinerja Protokol MQTT dan HTTP Pada Akuisisi Data Magnet Berbasis Internet of Things," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 6, no. 2, pp. 71-80, 2021.
- [14] A. S. Rafika, E. Febriyanto, and E. Safriyati, "Perancangan Modul Trainer Interface Mikrokontroler Berbasis ESP32 Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Kuliah Embedded System," *Technomedia Journal*, vol. 5, no. 1 Agustus, pp. 118-131, 2020.
- [15] A. Ghozali and H. A. Nugroho, "Rancang Bangun proton Precession Magnetometer berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328P," *Prosiding Semnastek*, 2019.
- [16] A. Mustarang and H. A. Nugroho, "Sistem Kontrol Catu Daya, Suhu Dan Kelembaban Udara Berbasis Atmega 2560 Pada Ruang Bunker Seismometer," *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 265-272, 2017.