



Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas CH₄ dan CO₂ Berbasis *Internet of Things* Studi Kasus TPST Bantar Gebang

Moh. Hendrik Yulianto ^{1*}, Ervan Ferdiansyah ², Adi Widiatmoko Wastumirad ³

^{1,3} Program Studi Instrumentasi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, Indonesia.

² Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, Indonesia.

article info

Article history:

Received 15 August 2023

Received in revised form

10 December 2023

Accepted 15 March 2024

Available online April 2024

DOI:

<https://doi.org/10.35870/jtik.v8i2.1484>

Keywords:

Bantar Gebang TPST; Waste; Engineering; Methane; Carbon Dioxide.

Kata Kunci:

TPST Bantar Gebang; Sampah; Rancang Bangun; Metana; Karbon Dioksida.

abstract

The Bantar Gebang Integrated Waste Treatment Site (TPST) is one of Indonesia's largest final disposal sites. The increasing generation of waste daily can cause methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions. Methane and carbon dioxide are greenhouse gases that can cause global warming and endanger respiratory health at specific concentrations. Therefore, the authors created an IoT-based CH₄ and CO₂ gas monitoring system using the ESP32 as a microcontroller, the MQ-4 sensor to measure CH₄, and the MG-811 sensor to measure CO₂. The tool's design is simple and portable, with a 20x4 LCD, and the Blynk website can store data via an SD card. After testing, the tool can operate properly, and the results of CH₄ and CO₂ gas concentrations at the Bantar Gebang TPST location are around 2.01 ppm and 419.89 ppm with regular status.

abstract

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang merupakan salah satu tempat pembuangan akhir terbesar di Indonesia. Timbulan sampah yang semakin hari semakin bertambah dapat menimbulkan emisi gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Gas metana dan karbon dioksida merupakan gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global dan pada konsentrasi tertentu dapat membahayakan kesehatan pernapasan. Oleh karena itu, penulis membuat sistem monitoring gas CH₄ dan CO₂ berbasis IoT dengan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor MQ-4 untuk mengukur CH₄, dan sensor MG-811 untuk mengukur CO₂. Desain alat dibuat simpel dan portabel dengan tampilan LCD 20x4 dan website Blynk yang mampu menyimpan data melalui SD Card. Setelah dilakukan pengujian, alat dapat beroperasi dengan baik dan didapatkan hasil konsentrasi gas CH₄ dan CO₂ di lokasi TPST Bantar Gebang sekitar 2,01 ppm dan 419,89 ppm dengan status normal.

Corresponding Author. Email: yhendrik98@gmail.com ^{1}.

© E-ISSN: 2580-1643.

Copyright © 2024 by the authors of this article. Published by Lembaga Otonom Lembaga Informasi dan Riset Indonesia (KITA INFO dan Riset). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 



ACM Computing Classification System (CCS)

EBSCOhost

Communication and Mass Media Complete (CMC)

1. Latar Belakang

Sampah atau limbah padat sering dinyatakan sebagai bahan yang terbuang atau buangan dari suatu sumber, dapat berupa hasil aktivitas manusia maupun proses-proses alam yang sudah tidak memiliki nilai ekonomi [1]. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari peningkatan jumlah timbunan sampah yang tidak diantisipasi dengan pengelolaan yang tepat adalah adanya pencemaran udara yang dapat mengganggu kesehatan pernapasan masyarakat. Timbunan di lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) akan menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), seperti emisi gas karbon dioksida (CO_2) dan gas metana atau metan (CH_4). Emisi CH_4 dihasilkan dari proses perombakan secara anaerob dan emisi CO_2 dihasilkan dari proses perombakan secara anaerob dan aerob [2]. Gas tersebut secara global merupakan salah satu penyebab menurunnya kualitas lingkungan udara karena mempunyai efek yang menyebabkan peningkatan suhu dan menyebabkan hujan asam [3]. Panas yang dikandung infra merah dan terperangkap dalam GRK mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu permukaan bumi dan selanjutnya menyebabkan terjadinya perubahan iklim [4].

DKI Jakarta memiliki Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang yang merupakan salah satu TPA terbesar di Indonesia. Volume sampah dari Jakarta ke TPST Bantar Gebang rata-rata sekitar 7.000 sampai 8.000 ton per hari yang dilayani oleh 1.200 truk sampah, di mana 60% diantaranya merupakan sampah domestik atau rumah tangga [5]. Pengelolaan sampah yang kurang baik di daerah tersebut menyebabkan kualitas permukiman yang tidak bagus. Adanya gunung sampah pada daerah tersebut memberikan dampak bagi masyarakat sekitar, salah satunya adalah pencemaran udara. Hampir seluruhnya bahwa kegiatan pengelolaan sampah di TPA dipastikan memiliki potensi risiko kesehatan, baik kepada pekerja yang terlibat langsung maupun warga masyarakat yang tinggal disekitarnya [6]. Banyak masyarakat sekitar yang merasa terganggu ketika timbul bau yang tidak sedap dari lingkungan sekitar Bantar Gebang. Sampah yang dikirim ke Bantar Gebang ini akan menimbulkan masalah apabila tidak dikelola dengan baik karena sampah merupakan penyumbang gas rumah kaca dalam bentuk CH_4 dan CO_2 [7].

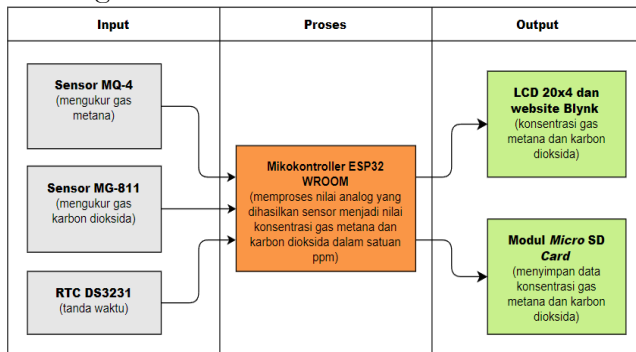
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah salah satu Lembaga Pemerintah Non Kementerian (LPNK) yang mana tugas pemerintahan yang diemban meliputi bidang meteorologi, klimatologi, kualitas udara dan geofisika. Berdasarkan Undang-undang Nomor 31 Tahun 2009, salah satu fungsi BMKG adalah memberikan pelayanan data dan informasi di bidang kualitas udara [8]. Berdasarkan Peraturan BMKG Nomor 11 Tahun 2019, pengamatan kualitas udara yang dilakukan oleh BMKG diantaranya adalah pencemaran udara dan pengamatan gas rumah kaca yang diantaranya meliputi gas metana dan karbon dioksida. Saat ini tidak ada batasan kerja yang ditetapkan untuk gas metana. National Institute for Occupational Safety and Health's (NIOSH) merekomendasikan tidak lebih dari 1.000 ppm (0,1%) selama periode kerja delapan jam [9]. Paparan gas metana di atas 5.000 ppm sangat berbahaya bagi kehidupan dan kesehatan. Karbon dioksida dalam ruangan tertutup dengan konsentrasi yang melebihi 1.000 ppm akan menyebabkan 20% dari penghuni merasa tidak nyaman dan ketidaknyamanan ini akan meningkat seiring peningkatan kadar karbon dioksida. Pada konsentrasi 2.000 ppm mayoritas penghuni akan merasakan ketidaknyamanan yang signifikan dan banyak yang akan mual-mual dan sakit kepala [10].

Oleh karena dampak yang ditimbulkan gas metana dan karbon dioksida dapat menyebabkan pencemaran udara yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat di sekitar TPST Bantar Gebang, pada penelitian ini penulis melakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas CH_4 dan CO_2 Berbasis *Internet of Things* Studi Kasus TPST Bantar Gebang". Perancangan alat menggunakan mikrokontroler ESP32 yang merupakan papan mikrokontroler *open-source*. Monitoring gas metana dilakukan menggunakan sensor MQ-4 yang memiliki rentang pengukuran 200-10.000 ppm CH_4 dan monitoring gas karbon dioksida dilakukan menggunakan sensor MG-811 yang memiliki rentang pengukuran 350-10.000 ppm CO_2 . Pada penelitian sebelumnya oleh Slamet Widodo, *dkk* yang berjudul "Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya CO, CO_2 , dan CH_4 di dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler" perancangan alat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATMEGA 8535 dan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas CO, CO_2 , dan CH_4 [11].

Penelitian yang dilakukan penulis dibandingkan dengan penelitian dari Slamet Widodo, *dkk* memiliki kelebihan di mana monitoring gas dilakukan dengan satu sensor untuk satu parameter (gas) yang diukur, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 yang memiliki spesifikasi lebih baik, dan adanya tampilan pada *website* Blynk untuk monitoring dapat jarak jauh. Output dari alat ini nantinya akan di tampilkan melalui platform berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bernama Blynk. Dengan adanya alat ini, diharapkan masyarakat nantinya akan mengetahui kondisi kadar gas metana dan karbon dioksida disekitarnya apakah masih normal atau sudah membahayakan kesehatan.

2. Metode Penelitian

Blok diagram



Gambar 1. Blok diagram system

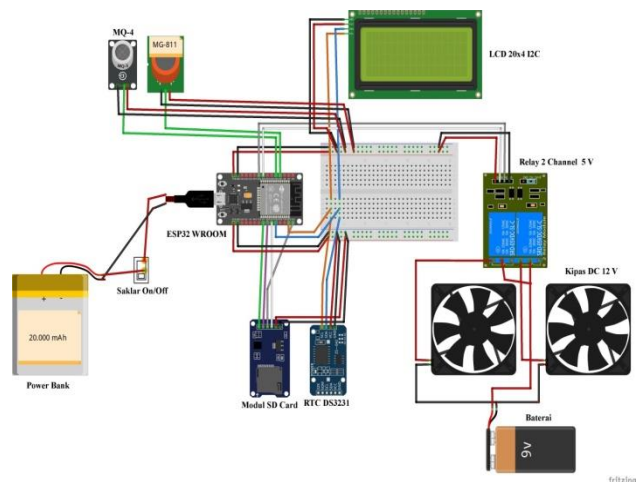
Blok diagram sistem menjelaskan cara kerja alat secara keseluruhan dari proses awal hingga akhir berupa *input*, proses, dan *output*. Gambar 1. menjelaskan perancangan sistem yang terdiri dari:

- 1) Dua buah sensor yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi gas metana (MQ-4) dan konsentrasi gas karbon dioksida (MG-811).
 - a) MQ-4 adalah komponen elektronika untuk mendeteksi kadar gas alam terkompresi/CNG (compressed natural gas) yang utamanya mengandung gas metana (CH₄) yang merupakan bentuk paling sederhana dari hidrokarbon [12]. Sensor MQ-4 merupakan sensor yang sangat sensitif terhadap CNG dan dapat mendeteksi konsentrat gas alam di udara mulai dari 200 ppm hingga 10.000 ppm [13].
 - b) Sensor MG-811 merupakan sensor yang dapat mendeteksi konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dengan sensitivitas yang

tinggi. Sensor MG-811 pada dasarnya adalah sel yang menghasilkan output dalam kisaran 100-600 mV (400-10.000 ppm CO₂) [13].

- 2) Modul Real Time Clock (RTC) untuk memberikan informasi mengenai waktu kedua sensor gas tersebut mengukur kadar CH₄ dan CO₂.
- 3) Mikrokontroler ESP32 sebagai pengontrol sistem pada seluruh perangkat, dan juga berfungsi untuk memproses nilai yang ditentukan untuk konsentrasi gas metana, konsentrasi gas karbon dioksida, dan waktu yang diukur oleh kedua sensor di atas dan RTC.
- 4) LCD berfungsi untuk menampilkan data kadar gas metana dan karbon dioksida yang terukur oleh sensor.
- 5) Modul Micro SD Card berfungsi sebagai tempat penyimpanan data offline yang terdiri dari data waktu dan hasil pengukuran sensor dengan format .txt.
- 6) Platform Blynk berfungsi untuk monitoring jarak jauh data pengukuran yang ditampilkan melalui *website*.

Skema Rangkaian System

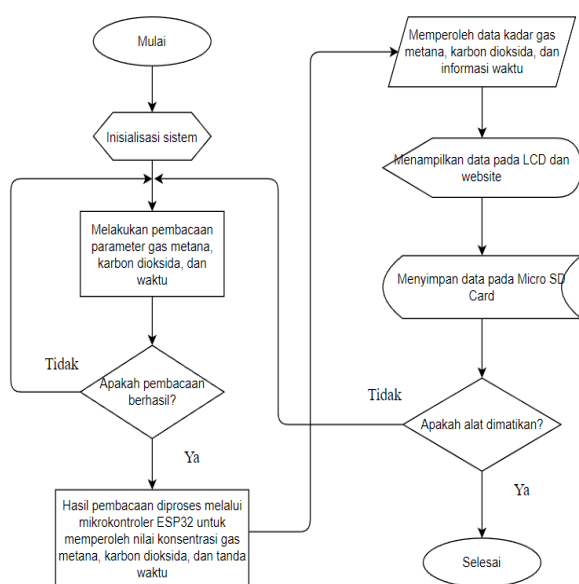


Gambar 2. SKEMA Rangkaian system

Gambar 2 merupakan perancangan rangkaian skema menggunakan Fritzing. Setiap komponen yang digunakan terhubung langsung pada mikrokontroler ESP32. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul Wi-Fi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things* [14]. *Internet of Things* (IoT) pada dasarnya menghubungkan semua perangkat ke internet, IoT sering disebut teknologi masa kini, yaitu teknologi yang memanfaatkan

perangkat komputer berukuran mini dan dapat terhubung ke jaringan lokal atau internet [15]. Jalur pengkabelan pada skema rangkaian sistem warna merah terhubung dari tiap-tiap komponen ke sumber catu daya pada ESP32 dan jalur pengkabelan warna hitam terhubung langsung ke Ground pada ESP32. Terdapat juga jalur pengkabelan selain berwarna merah dan hitam yang merupakan jalur data dari setiap komponen, seperti MQ-4, MG-811, RTC DS3231, LCD 20x4, modul Micro SD Card, dan Relay 2 Channel.

Diagram alir sistem



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

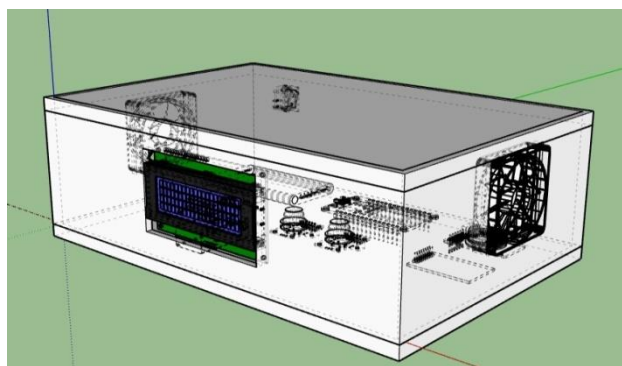
Diagram alir atau flowchart adalah diagram yang merepresentasikan algoritma alir kerja atau proses kerja dengan simbol-simbol grafis secara berurutan yang dihubungkan dengan panah. Diagram alir berfungsi sebagai acuan proses pemrograman sistem monitoring gas metana dan karbon dioksida. Flowchart sistem ditunjukkan pada gambar 3. Penjelasan pada diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

- 1) Mulai.
- 2) Melakukan inisialisasi sistem, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor MQ-4, sensor MG-811, modul Micro SD Card, LCD 20x4, dan RTC DS3231.
- 3) Sensor MQ-4, sensor MG-811 dan RTC DS3231 sebagai inputan melakukan pembacaan parameter gas metana, kadar gas karbon dioksida, dan tanda waktu.

- 4) Apakah pembacaan berhasil?
 - a) Jika Ya maka lanjut ke tahap berikutnya
 - b) Jika Tidak maka mengulangi tahap sebelumnya
- 5) Mikrokontroler ESP32 melakukan pengolahan data pembacaan parameter gas metana dan karbon dioksida untuk mengetahui besaran nilai yang terukur (ppm) serta pemrosesan tanda waktu pengukuran (*date and time*).
- 6) Data hasil pengukuran berupa konsentrasi kadar gas metana, konsentrasi kadar gas karbon dioksida, dan juga informasi waktu.
- 7) Data yang telah didapatkan akan ditampilkan pada LCD 20x4 dan tampilan *website Blynk*.
- 8) Data yang diperoleh juga akan tersimpan pada modul Micro SD Card.
- 9) Jika alat ingin dimatikan maka sistem akan berhenti, apabila tidak ingin dimatikan maka proses pembacaan kadar gas metana, kadar gas karbon dioksida, dan tanda waktu akan diulang kembali.
- 10) Selesai.

Perancangan casing sistem

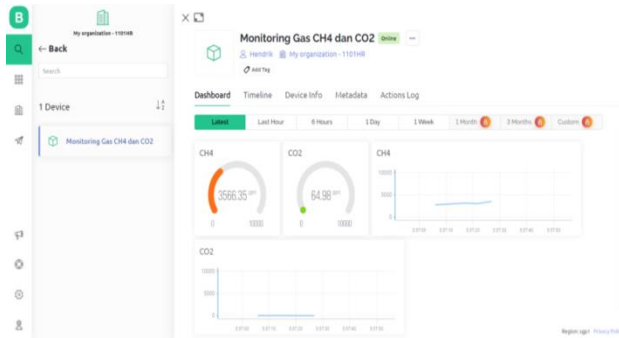
Perancangan *casing* sistem dibuat untuk mengetahui gambaran fisik dari wadah tempat komponen-komponen yang telah dirangkai. Wadah ini berfungsi untuk melindungi komponen dari air, panas, ataupun benda yang dapat merusak sistem kerja alat. Perancangan *casing* alat dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Desain *Casing* System

Perancangan tampilan pada website

Tampilan data di *website* ditampilkan melalui platform Blynk. Data yang terukur akan dikirimkan ke *website* oleh modul ESP32. Parameter yang ditampilkan adalah nilai konsentrasi CH₄ dan CO₂ beserta status kondisi gas tersebut.

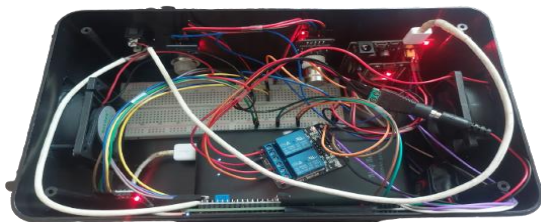


Gambar 5. Rancangan Tampilan Website

3. Hasil dan Pembahasan

Implementasi desain fisik

Implementasi perangkat keras merupakan hasil perancangan perangkat keras yang digunakan pada sistem monitoring gas CH₄ dan CO₂. *Casing* yang digunakan adalah plastic hitam box project berdimensi 25x15x12 cm yang memiliki kelebihan mampu melindungi komponen didalamnya dari air hujan. Perangkat keras berupa komponen elektronik yang terdiri dari sensor MQ-4, MG-811, RTC DS3231, Modul Micro SD, LCD 20X4, 2 buah kipas DC 9V, Power Bank 20.000 mAh, baterai 9V (untuk kipas), kabel jumper, dan beberapa kabel lainnya.



Gambar 6. Komponen dalam casing

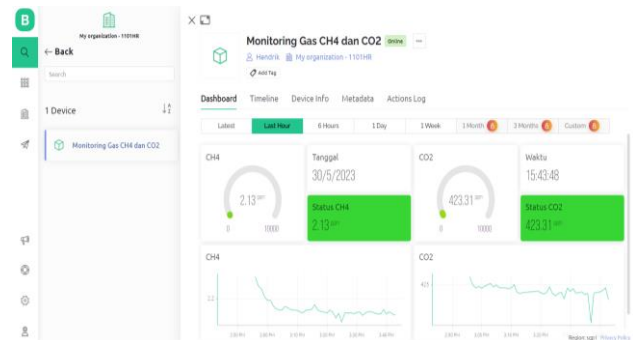
Power bank 20.000 mAh digunakan untuk menyuplai daya agar alat dapat beroperasi, kipas DC 12 V digunakan untuk menyedot udara agar masuk ke dalam alat sehingga dapat mengenai sensor untuk menghasilkan nilai pengukuran yang lebih optimal, dan baterai 9V digunakan untuk supply daya kipas.



Gambar 7. Casing Tampak Luar

Implementasi tampilan website

Tampilan *interface website* diimplementasikan melalui platform Blynk. Ada sedikit tambahan untuk informasi waktu dan status warna dari nilai konsentrasi gas terukur yang mana normal berwarna hijau, sedang berwarna kuning, dan bahaya berwarna merah. Tampilan keseluruhan pada *website* akan menunjukkan nilai konsentrasi gas CH₄ dan CO₂ melalui gauge (sebelah kiri informasi waktu), label (di bawah informasi waktu) secara realtime, dan grafik (di bawah label dan gauge). *Website* ini sangat berguna bagi pengguna yang jauh dengan alat sehingga tidak dapat melihat informasi konsentrasi gas secara langsung pada LCD.



Gambar 8. Tampilan website

Pengujian kinerja alat di lapangan

Pengujian alat di lapangan dilakukan untuk mengetahui kinerja alat saat beroperasi langsung di lapangan. Alat akan ditempatkan pada lokasi yang strategis agar hasil monitoring yang dilakukan berjalan dengan optimal. Pelaksanaan pengujian dilakukan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 14 Juni 2023
Waktu : 08.30-16.00 WIB
Lokasi : Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantar Gebang, Bekasi, Jawa Barat



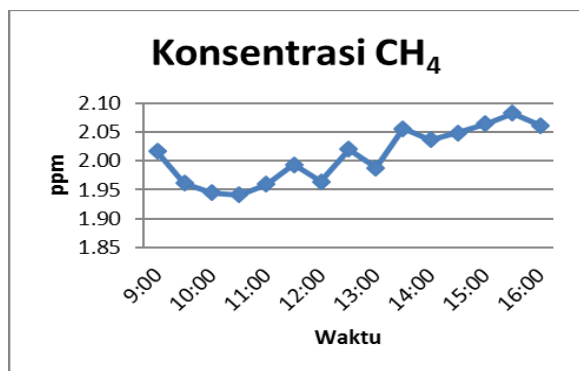
Gambar 9. Penempatan alat di lokasi pengujian

Pengujian lapangan dilakukan di Kantor Unit Pengolahan Sampah Terpadu (UPST) Bantar Gebang selama 7,5 jam. Alat diletakkan di dekat alat monitoring kualitas udara milik Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bekasi yang berada di belakang kantor. Posisi alat berada di atas tripod dengan ketinggian kurang lebih 2 meter.

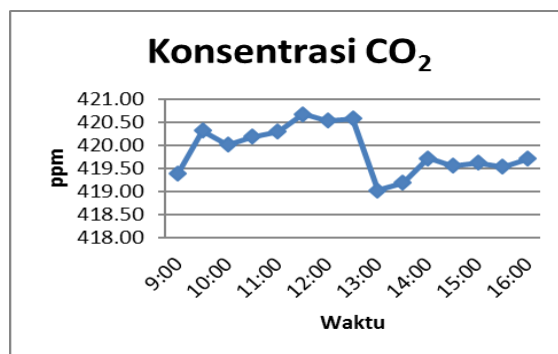
Tabel 1. Hasil monitoring CH₄ dan CO₂ di TPST Bantar Gebang

Data ke-	Waktu (WIB)	CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)
1	9:00	2.02	419.39
2	9:30	1.96	420.31
3	10:00	1.94	420.02
4	10:30	1.94	420.19
5	11:00	1.96	420.29
6	11:30	1.99	420.67
7	12:00	1.96	420.53
8	12:30	2.02	420.57
9	13:00	1.99	419.03
10	13:30	2.06	419.19
11	14:00	2.04	419.72
12	14:30	2.05	419.55
13	15:00	2.06	419.62
14	15:30	2.08	419.54
15	16:00	2.06	419.71
Rata-rata		2.01	419.89

Dari hasil pengujian kadar CH₄ dan CO₂ yang diambil setiap rata-rata 30 menit sekali didapatkan konsentrasi gas metana rata-rata sebesar 2,01 ppm dan konsentrasi gas karbon dioksida rata-rata sebesar 419,89. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar CH₄ dan CO₂ di TPST Bantar Gebang masih berada pada status kondisi yang normal. Pada gambar 10 dan gambar 11 di bawah menampilkan grafik konsentrasi gas metana dan karbon dioksida selama pengujian.



Gambar 10. Hasil konsentrasi gas CH₄



Gambar 11. Hasil konsentrasi gas CO₂

Pada pengujian ini ada beberapa faktor kesalahan yang perlu diperhatikan sehingga dapat mempengaruhi hasil pembacaan dari sensor.

Posisi alat

Penempatan alat saat uji lapangan sebenarnya sudah bagus dengan menyandingkan alat di dekat alat monitoring kualitas udara milik DLH Kota Bekasi. Di tempat ini juga merupakan area kantor UPST Bantar Gebang (bagian belakang) yang mana banyak orang bekerja. Namun, di tempat tersebut terdapat halangan berupa pohon yang tingginya melebihi tinggi alat. Selain itu, jarak alat dengan gunung sampah sekitar 500 meter. Hal ini yang mempengaruhi hasil pembacaan dari sensor.

Udara yang diserap masuk dalam sensor

Udara yang masuk dalam alat akan dideteksi oleh sensor untuk menghitung konsentrasi gas metana dan karbon dioksida yang terkandung dalam udara tersebut. Penyerapan udara pada alat menggunakan kipas dengan catu daya tambahan berupa baterai 9 V. Kipas dirasa kurang optimal dalam penyerapan udara dan ditambah lagi dengan baterai 9 V yang hanya mampu bertahan sekitar 3 jam saat pengujian.

Adanya kegiatan dekomposisi

Saat dilakukan pengujian lapangan di Bantar Gebang sedang berlangsung kegiatan dekomposisi sampah. Kegiatan ini dilakukan dengan menutupi sebagian area gundukan sampah untuk mempercepat proses penguraian sampah sehingga sampah tidak terlalu menumpuk. Penutupan area sampah menggunakan plastik sehingga akan mengurung gas emisi dari sampah dan akan mempengaruhi hasil pembacaan dari alat.

Arah angin serta suhu dan kelembapan

Arah angin menjadi salah satu faktor kesalahan yang tidak dapat diabaikan. Angin yang searah akan membawa udara masuk secara maksimal ke dalam alat sehingga pembacaan gas yang dihasilkan sensor dapat optimal juga. Sebaliknya, jika arah angin berlawanan akan menyebabkan pembacaan sensor kurang optimal juga, mengingat alat hanya dibantu oleh kipas dalam penyerapan udara. Selain arah angin, suhu dan kelembapan juga perlu diperhatikan. Suhu dan kelembapan sangat mempengaruhi kinerja dari sensor. Setiap sensor biasanya memiliki suhu dan kelembapan operasional masing-masing. Sensor MQ-4 memiliki suhu kerja di antara -10 °C sampai 50 °C dan kelembapan kerja kurang dari 95%. Sensor MG-811 memiliki suhu kerja di antara -20 °C sampai 50 °C dan kelembapan kerja kurang dari 85%.

Rumus kurang sesuai

Komparasi yang dilakukan dengan alat standar yang berada di Pos Pengamatan Kualitas Udara Cibeureum dirasa kurang optimal. Hal ini dikarenakan proses komparasi hanya membandingkan hasil pembacaan pada saat alat beroperasi. Perbandingan hasil tidak bisa dengan beberapa set point yang diinginkan. Padahal hasil komparasi ini sangat menentukan rumus yang menjadi kunci hasil pembacaan gas pada sensor.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari perancangan, implementasi, dan pengujian lapangan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pengembangan Sistem Monitoring Gas
Penelitian ini berhasil mengembangkan Sistem Monitoring Gas CH₄ dan CO₂ berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-4, serta sensor MG-811. Sistem ini mampu mengukur dan memantau konsentrasi gas metana dan karbon dioksida secara efektif.
- 2) Tampilan Data Realtime
Data hasil pemantauan gas dapat dengan mudah diakses dan ditampilkan melalui *website* menggunakan platform Blynk dan koneksi Wi-Fi. Ini memberikan kemampuan pemantauan jarak jauh secara realtime bagi pengguna.

3) Desain Portabel yang Efisien

Desain minimalis dan portabel alat memungkinkan pengguna untuk dengan mudah membawa dan menempatkan alat di berbagai lokasi pengujian. Ini meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi dalam penggunaan alat.

4) Hasil Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan yang dilakukan di TPST Bantar Gebang pada jam 08.30-16.00 WIB menghasilkan rata-rata konsentrasi CH₄ sebesar 2,01 ppm dan konsentrasi CO₂ sebesar 419,89 ppm. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas udara di lokasi pengujian masih berada dalam batas normal untuk kadar gas metana dan karbon dioksida.

5. Daftar Pustaka

- [1] Artiningrum, T. (2018). Potensi emisi metana (CH₄) dari timbunan sampah kota Bandung. *Geoplanart*, 1(1), 36-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.35138/gp.v1i1.143>.
- [2] Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari pembakaran terbuka sampah rumah tangga menggunakan model IPCC. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 65-76. DOI: <https://doi.org/10.33658/jl.v15i1.132>.
- [3] Sanie, D. K., Susanto, A. D., & Harahap, F. (2019). Respiratory disorders and lung function impairments of the scavengers in Bantar Gebang, Bekasi. *Jurnal Respirologi Indonesia*, 39(2), 70-78. DOI: <https://doi.org/10.36497/jri.v39i2.54>.
- [4] Wahyudi, J. (2016). Mitigasi emisi gas rumah kaca. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 12(2), 104-112. DOI: <https://doi.org/10.33658/jl.v12i2.45>.
- [5] Sukwika, T., & Noviana, L. (2020). Status keberlanjutan pengelolaan sampah terpadu di TPST-Bantargebang, Bekasi: Menggunakan raphish dengan R statistik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 107-118.

- [6] Nugroho, L., Saptono, R., & Hariyadi, A. (2021). 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)*, 11(4), 220-227. DOI: <https://doi.org/10.33795/jartel.v11i4.236>.
- [7] KG, B. (2019). Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- [8] CDC, N. A. (2010). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *The Journal of Infection*, 3(3), 98-105.
- [9] Azzahrah, Z. (2022). Rancang Bangun Alat Kontroling Kadar Udara Bersih Dan Gas Berbahaya Co, Co₂ Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Komputer (JTEK)*, 2(02), 216-222. DOI: <https://doi.org/10.56923/jtek.v2i02.104>.
- [10] Danurwenda, A. D. (2021). Rancang Bangun Alat Pengukuran Gas Metana Menggunakan Arduino Uno Pada Septic Tank. *Kumpulan Karya Ilmiah Mahasiswa Fakultas sains dan Teknologi*, 2(2), 67-67.
- [11] Yonando, E. D. Tugas Akhir–Tf 095565 Rancang Bangun Sistem Monitoring Kadar Ch₄, Co₂ Dan H₂ pada Proses Purifikasi Biogas Dengan Water Scrubber System Berbasis Atmega 128.
- [12] Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73-79.
- [13] Muzakky, A., Nurhadi, A., Nurdiansyah, A., & Wicaksana, G. (2018, October). Perancangan Sistem Deteksi Banjir Berbasis IoT. In *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol. (CLASTECH 2018)* (Vol. 7, No. 2, pp. 43-51).