

Rancang Bangun Pemantauan Kadar Gas Metana pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan *Microcontroller* ESP32

Salma Osa Novantri^{1,*}, Unan Yusmaniar Oktiawati¹

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; salmaosa01@gmail.com

*Korespondensi: unan_yusmaniar@ugm.ac.id

Abstract –*The accumulation of waste, especially organic trash, can cause respiratory distress. It also can even cause explosions. The explosion was caused by organic trash containing methane gas with certain levels reacting with free air. To create a clean and healthy environment from trash needs, every household should be further handles them, specifically with utilizing organic trash as a basic fertilizer. This tool is intended to help problems caused by the onset of methane gas in the process of processing organic trash. It can detect methane gas concentrations using MQ-4 sensors in ppm units and supported by DHT-22 sensors to detect air temperature and humidity in dust bin. The process of monitoring and processing data is conducted by ESP32 microcontroller connected to a website through internet in accordance with the principles of IoT (internet of things) through the media website.*

Keywords: *organic trash, methane gas level, monitoring, MQ-4, IoT*

Intisari–Penumpukan sampah khususnya sampah organik dapat menyebabkan gangguan pernapasan bahkan dapat menimbulkan ledakan. Ledakan tersebut disebabkan karena sampah organik mengandung gas metana dengan kadar tertentu bereaksi dengan udara bebas. Dalam rangka menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat dari sampah perlu ditindak lanjuti dengan penanganan sampah secara mandiri di setiap rumah tangga yaitu dengan memanfaatkan sampah organik sebagai pupuk dasar. Alat ini dimaksudkan untuk membantu permasalahan yang disebabkan oleh timbulnya gas metana pada proses pengolahan sampah organik. Alat ini dapat mendeteksi konsentrasi gas metana menggunakan sensor MQ-4 dalam satuan ppm dan didukung dengan sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara dalam tong sampah. Proses pemantauan dan pengolahan data didukung oleh *microcontroller* ESP32 dengan jaringan internet sesuai dengan prinsip IoT (*internet of things*) melalui *media website*.

Kata kunci: *sampah organik, kadar gas metana, monitoring, MQ-4, IoT*

I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, laju pertumbuhan penduduk semakin meningkat diikuti dengan pembangunan dalam berbagai sektor guna memenuhi kebutuhan manusia yang semakin kompleks. Pemenuhan kebutuhan tersebut tidak jauh dari peningkatan jumlah sampah yang bersumber dari sisa produksi dan konsumsi makhluk hidup. Sampah dapat berasal dari bahan anorganik maupun organik. Sampah anorganik merupakan sampah yang sulit untuk diuraikan oleh alam dan sukar untuk membusuk. Sedangkan sampah organik merupakan sampah yang dapat diurai secara alami tanpa proses daur ulang. Namun, masih ada pihak yang memiliki persepsi bahwa sampah yang mudah terurai dianggap tidak berbahaya. Padahal dengan meningkatnya jumlah sampah, khususnya sampah organik yang dibiarkan menggunung tanpa ada pengawasan khusus, akan menjadi bom waktu yang berimbas balik kepada manusia maupun lingkungan. Tercatat di Hari Peduli Sampah Nasional 2018, ada 631,37 ton sampah organik yang dikelola [1].

Berbagai wujud sampah organik seperti ampas makanan, rumput, daun-daunan, dan lain-lain, secara umum dimanfaatkan masyarakat untuk dijadikan pupuk dasar karena dianggap tidak berbahaya. Akan tetapi, jika tidak diproses dengan benar dapat membahayakan lingkungan. Terdapat dua jenis proses penguraian unsur organik, yaitu aerobik dan anaerobik, di mana keberadaan oksigen dalam proses penguraiannya yang menjadi pembeda. Penguraian anaerobik memiliki mikroorganisme pengurai, yaitu Metanogen. Mikroorganisme ini akan memproses penguraian yang lebih lambat dan menghasilkan gas metana (CH₄). Gas metana ini dapat menyerap panas lebih besar daripada karbon dioksida

(CO₂) dan merupakan salah satu bagian dari gas rumah kaca yang berbahaya. Gas metana mempunyai sifat yang mudah terbakar dan jika bereaksi dengan udara dengan konsentrasi tertentu akan menyebabkan gangguan pernapasan maupun menimbulkan ledakan. Dalam proses pengolahan sampah organik dibutuhkan pengawasan khusus. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk membantu permasalahan yang disebabkan oleh timbulnya gas metana pada proses pengolahan sampah organik dengan perancangan prototipe alat *Monitoring* Kadar Gas Metana Pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan *Microcontroller* ESP32. Alat ini bekerja dengan mendeteksi konsentrasi gas metana, suhu, dan kelembaban secara otomatis, di mana data akan diproses oleh *microcontroller* ESP32. Proses pemantauan dapat dilakukan melalui jaringan internet sesuai dengan prinsip IoT melalui *media website*.

II. DASAR TEORI

A. Sampah

Sampah merupakan ampas bahan yang telah diambil bagian utamanya karena sudah melewati proses pengolahan atau sudah tidak bermanfaat. Menurut sifatnya, sampah dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu sampah B3, sampah organik, dan sampah anorganik [2].

Untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat dari sampah perlu ada penanganan sampah yang melibatkan peran serta masyarakat. Pengomposan merupakan salah satu teknik pengelolaan untuk sampah organik yang dimaksudkan untuk mengurangi dan mengubah komposisi sampah menjadi produk yang berguna.

B. Gas Metana (CH₄)

Gas metana merupakan senyawa paling sederhana dari hidrokarbon. Gas metana tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terbakar di udara pada konsentrasi gas antara 5 s.d. 15% [3]. Gas metana dapat menimbulkan pemanasan global dan merupakan salah satu gas rumah kaca yang lebih besar dibandingkan dengan CO₂. Hal ini dikarenakan sifat gas metana tidak dapat diserap oleh klorofil tumbuh-tumbuhan sehingga keadaannya di atmosfer lebih stabil dibandingkan dengan CO₂ yang dapat terserap oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Emisi gas metana bersumber dari alam seperti lahan basah dan proses fermentasi oleh bakteri, atau karena ada pengaruh aktivitas manusia atau antropogenik dari peternakan, sektor pertanian, limbah domestik rumah tangga, dan tempat pemrosesan sampah.

C. Internet of Things (IoT)

Internet of things merupakan suatu konsep menghubungkan sebuah perangkat fisik dengan pengguna tanpa berinteraksi secara langsung tapi melalui jaringan internet. IoT memungkinkan terjadinya pengiriman data, komunikasi, ataupun pengendalian jarak jauh secara *real-time* melalui sebuah perangkat yang tersambung ke jaringan internet.

Website digunakan sebagai media untuk *monitoring* pengolahan sampah organik. Dalam melayani permintaan akses dari *website* dapat menggunakan *web server*. *Web server* ialah penyedia layanan data yang berperan sebagai penerima akses dari HTTPS (*hypertext transfer protocol secure*) atau HTTP (*hypertext transfer protocol*) yang dikirimkan oleh *user* melalui *web browser* dan sebagai pengirim data dalam bentuk tampilan *website* dan secara normal akan berbentuk dokumen HTML (*hypertext markup language*).

D. ESP32

ESP32 merupakan salah satu *microcontroller* yang dikenalkan oleh Espressif System. ESP32 ini memiliki fitur hemat daya termasuk *fine resolution clock gating*, *dynamic power scalling*, dan *multiple power modes*, sehingga konsumsi daya yang dibutuhkan rendah. Pada ESP32 sudah tertanam mikroprosesor Xdual-core 32 bit dilengkapi dengan modul Wi-Fi dalam *chip* sehingga dapat mendukung sistem aplikasi IoT serta dilengkapi dengan kemampuan Bluetooth *low energy* [4].

E. Sensor MQ-4

Sensor MQ-4 merupakan semikonduktor yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas yang mudah terbakar seperti gas metana (CH₄). Sensor MQ-4 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas metana pada area deteksi yang luas dengan konsentrasi 200 s.d. 10.000 ppm (*part per million*).

Dalam menggunakan sensor ini, disarankan untuk melakukan *preheat time* atau pemanasan sensor dengan cara memberikan suplai tegangan kepada sensor selama ± 24 jam. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan sensor. Spesifikasi sensor gas MQ-4 ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Gas MQ-4 [5]

Parameter	Spesifikasi
<i>Circuit voltage</i> (VC)	5 V \pm 0,1 (AC or DC)
<i>Heating voltage</i> (VH)	5 V \pm 0,1 (AC or DC)
<i>Load resistance</i> (RL)	20 K Ω
<i>Standard detecting condition</i>	Temp: 20°C \pm 2°C Vc: 5 V \pm 0,1 Humidity: 65% \pm 5% Vh: 5 V \pm 0,1
<i>Preheat time</i>	Over 24 hour

F. Sensor DHT-22

Sensor DHT-22 merupakan sensor yang ditujukan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban. Sensor ini memiliki *output* berbentuk sinyal digital melalui konversi dan perhitungan yang dilakukan oleh *microcontroller*. Untuk pengondisian tegangan yang masuk ke dalam sensor agar nilai yang terukur dapat terbaca, memerlukan bantuan dari resistor. Modul sensor DHT-22 mempunyai empat buah *pinout*, yaitu *pin VCC*, *pin Data*, *pin NC* (tidak digunakan), dan *pin GND* [6].

III. PERANCANGAN ALAT

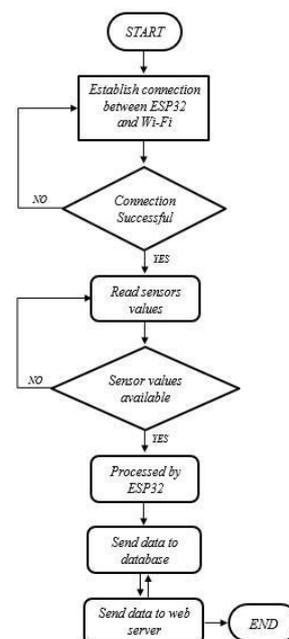
A. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Flowchart kerja sistem perangkat lunak secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.

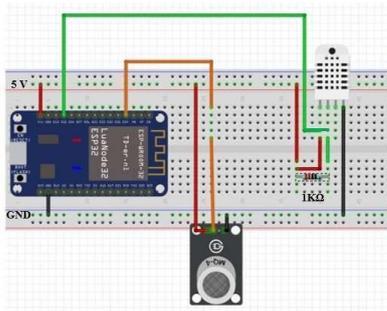
B. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

1) *Rancangan Elektronis*: Berdasarkan Gambar 2, rancangan elektronis meliputi

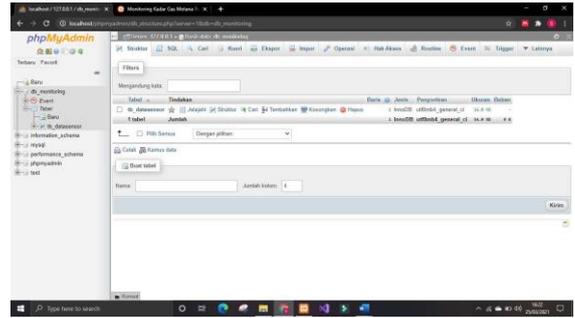
- Catu Daya menggunakan adaptor dengan tegangan *output* 5 VDC dan arus *output* sebesar 1 A
- *Microcontroller* ESP32 WROOM-32 DEVKITV1 untuk mengakses sensor gas MQ-4 serta sensor suhu dan kelembaban DHT-22 menggunakan pin GPIO.



Gambar 1. *Flowchart* kerja sistem secara keseluruhan



Gambar 2. Rancangan elektronik



Gambar 5. Tampilan database

- Sensor MQ-4 dengan pembacaan data melalui pin AO yang dihubungkan dengan pin GPIO 34 ESP32
- Sensor DHT-22 dengan pembacaan serial data melalui pin Data Out yang dihubungkan dengan pin GPIO 12 dari ESP32.

2) *Rancangan Mekanik*: Rancangan mekanik didesain agar mempermudah pemantauan dan pengecekan alat ketika *troubleshooting*. Selain itu, rancangan mekanik juga meliputi pembuatan rangka yang berfungsi sebagai tempat atau penyangga komponen pendukung seperti pada Gambar 3.

C. *Penyusunan Media IoT*

Penyusunan konfigurasi *website* menggunakan perangkat lunak Visual Studio dengan menjalankan *script* PHP dengan bantuan *software* XAMPP yang didukung program Apache dan MySQL. Program Apache merupakan aplikasi *web server* yang digunakan untuk membangun *website* kepada *user* digunakan untuk membangun *website* kepada *user* merupakan aplikasi *database server* yang digunakan mengelola *database*.



Gambar 3. Rancangan mekanik

Waktu	Suhu(°C)	Suhu(°F)	Kelembaban(%)	Kadar Gas Metana(ppm)	Status	Voltage
2021-02-28 00:19:00.0000	28.6	83.48	78.9	319.99	Monitor as frequently	5.41
2021-02-28 00:19:00.0000	28.6	83.48	71.4	348.89	Monitor as frequently	5.54
2021-02-28 00:20:00.0000	28.5	83.3	78.8	338.8	Monitor as frequently	5.48
2021-02-28 00:20:00.0000	28.5	83.3	78.8	348.13	Monitor as frequently	5.43
2021-02-28 00:21:00.0000	28.6	83.48	71.4	231.83	Monitor as frequently	5.49

Gambar 4. Tampilan website

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan selama proses fermentasi sampah organik yang akan dimanfaatkan sebagai pupuk dasar. Proses pengolahan sampah organik terbagi menjadi dua teknik fermentasi yaitu teknik dekomposisi aerobik tanpa bantuan aktivator ataupun cairan molase dan teknik dekomposisi anaerobik dengan bantuan aktivator EM4 dan cairan molase. EM4 merupakan akronim dari *Effective Microorganisms 4* yang dikhususkan untuk tanaman dan mengandungi bakteri fermentasi dari genus *Lactobacillus sp.* dan *Saccharomyces sp.* yang mampu memfermentasi bahan organik dengan cepat. Sedangkan cairan molase atau *molasses* atau tetes tebu merupakan campuran gula dan air yang dimanfaatkan sebagai tambahan nutrisi pupuk. Sampah organik yang sudah dicacah terlebih dahulu dicampurkan dengan bantuan aktivator dan cairan molase dengan perbandingan 1:1:50 (EM4:molase:air) dan dibuat campuran dengan konsentrasi air 30 s.d. 40%. Proses fermentasi sampah organik untuk dijadikan pupuk dasar membutuhkan waktu selama 27 s.d. 28 hari atau sekitar empat minggu.

Pengujian alat selama proses fermentasi dan pengolahan sampah organik dikelompokkan menjadi 5 sampel dengan bahan dasar dan teknik fermentasi yang berbeda serta dengan ada atau tidak adanya penambahan bahan aktivator dan molase. Secara spesifik sampel pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

A. *Pengujian Adaptor*

Pengujian adaptor dilakukan dengan variasi beban sampel ditambah dengan udara bersih dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 2. Sampel pengujian

Nama	Bahan Dasar	Teknik	Bantuan Aktivator dan Molase
Sampel 1	Kulit buah naga dan buah pepaya	Anaerobik	Ada
Sampel 2	Kulit edamame	Anaerobik	Ada
Sampel 3	Kulit pisang	Anaerobik	Ada
Sampel 4	Kulit pisang	Aerobik	Tidak ada
Sampel 5	Kulit edamame	Aerobik	Tidak ada

Tabel 3. Pengujian *power supply*

Pengujian	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Udara Bersih	4,92	0,184	0,905
Sampel 1	5,07	0,182	0,923
Sampel 2	4,88	0,183	0,893
Sampel 3	5,07	0,182	0,923
Sampel 4	5,03	0,181	0,910
Sampel 5	4,99	0,183	0,913
Udara Bersih	4,92	0,184	0,905

Prototipe alat ini menggunakan *power supply* 5 V menyesuaikan dengan tegangan kerja dari sensor yang digunakan. Dalam pengujian ini didapatkan hasil pengukuran yang baik, di mana nilai tegangan memiliki besaran yang bervariasi sesuai dengan beban yang terpasang. Dengan tegangan yang terukur berkisar antara 4,88 s.d. 5,07 V tersebut, dapat digunakan untuk menyuplai sensor gas MQ-4 dan sensor DHT-22.

B. Pengujian Sampel Pupuk Dasar

Berdasarkan pengujian kelima sampel setelah proses fermentasi selama 27 s.d. 28 hari, didapatkan hasil akhir bahwa semua sampel dapat digunakan untuk pupuk dasar di mana suhu udara pada tong sampah berkisar antara 29,61 s.d. 31,34°C dengan konsentrasi gas metana tidak melebihi batas aman untuk kesehatan yaitu ≤ 1000 ppm dan masih dalam batas aman untuk tidak mudah terbakar yaitu ≤ 600 ppm. Hasil pengukuran yang didapatkan seperti pada Tabel 4.

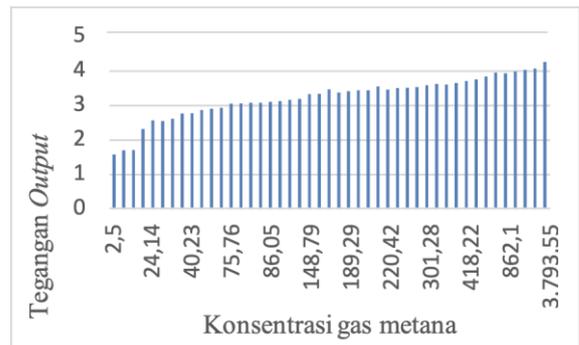
Dari pengujian seluruh sampel selama proses fermentasi sampah organik didapatkan hasil seperti pada Gambar 6. Dapat diketahui bahwa perbandingan antara tegangan *output* berbanding lurus dengan konsentrasi gas metana yang terdeteksi. Di mana nilai tegangan *output* minimum yang terdeteksi adalah 1,57 V dengan konsentrasi gas 2,5 ppm. Sedangkan nilai tegangan *output* maksimum yang terdeteksi adalah 4,26 V dengan konsentrasi gas 3793,55 ppm.

C. Pengujian Komunikasi Data

1) *Komunikasi database dengan website*: Komunikasi data antara *database* dengan *website* untuk semua sampel berjalan secara *real-time* dengan waktu penampilan data tidak lebih dari satu detik. Data yang ditampilkan antara *database* dan *website* memiliki nilai yang sesuai.

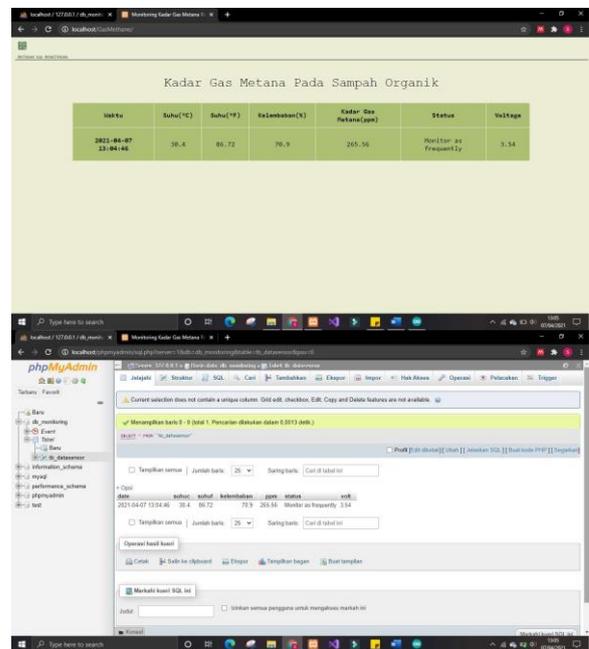
Tabel 4. Pengujian sampel pupuk dasar

Sampel	Suhu (°C)	Kelembapan	V _{out} Terbaca	ppm
Sampel 1	29,56	75,3	3,45	220,42
Sampel 2	31,86	78,96	3,12	91,27
Sampel 3	30,48	77,94	1,70	3,36
Sampel 4	30,6	78,82	3,05	77,37
Sampel 5	31,3	69,12	3,07	81,15

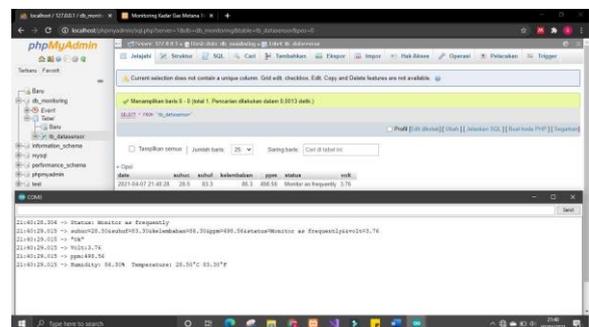


Gambar 6. Perbandingan tegangan *output* dengan konsentrasi gas metana

2) *Komunikasi database dengan microcontroller*: Komunikasi antara *database* dan *microcontroller* untuk semua sampel dapat berjalan dengan baik di mana *microcontroller* mengirimkan data pembacaan dari sensor MQ-4 dan DHT-22 ke *database*. Diketahui bahwa *database* dapat menyimpan data pembacaan dengan baik.



Gambar 7. Pengujian komunikasi *database* dengan *website* pada sampel 1



Gambar 8. Pengujian komunikasi *database* dengan *microcontroller* pada sampel 2

V. SIMPULAN

Setelah melakukan perancangan, penyusunan, pengujian, dan pembahasan, dari penelitian ini dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Prototipe alat *Monitoring* Kadar Gas Metana Pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan *Microcontroller* ESP32 berhasil diaplikasikan secara langsung pada proses pengolahan sampah organik untuk dijadikan pupuk dasar dan proses *monitoring* pengolahan sampah berhasil dilakukan melalui jaringan internet dengan media *website*.
2. Prototipe alat memiliki proteksi keamanan melalui indikator yang ditampilkan pada *website* yaitu:
 - a. *Normal condition* jika konsentrasi gas metana ≤ 50 ppm
 - b. *Monitoring as frequently* jika $50 \text{ ppm} < \text{konsentrasi gas metana} \leq 600 \text{ ppm}$
 - c. *Alert* jika konsentrasi gas metana $> 600 \text{ ppm}$
3. Tegangan yang terukur pada *power supply* dengan variasi beban dapat digunakan untuk menyuplai sensor gas MQ-4 dan sensor DHT-22 berkisar antara 4,88 s.d. 5,07 V.
4. Konsentrasi gas metana yang dihasilkan setelah proses fermentasi masih dalam batas aman agar tidak mudah terbakar dengan nilai rata-rata $\leq 600 \text{ ppm}$.
5. Konsentrasi gas metana yang dihasilkan selama proses fermentasi masih dalam batas aman untuk kesehatan dengan nilai rata-rata $\leq 1000 \text{ ppm}$ sesuai New Jersey Department of Health [7] dan Guidance Document on Management of Methane gas Adjacent to Landfills [8].
6. Komunikasi data keseluruhan berjalan secara *real-time* dengan waktu penampilan data ≤ 1 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Alshehri and G. Muhammad, "A Comprehensive Survey of the Internet of Things (IoT) and AI-Based Smart Healthcare," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 3660–3678, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3047960.
- [2] A. Triantafyllou, D. C. Tsouros, P. Sarigiannidis, and S. Bibi, "An Architecture model for Smart Farming," in *2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, May 2019, pp. 385–392. doi: 10.1109/DCOSS.2019.00081.
- [3] Z. N. Mohammad, F. Farha, A. O. M. Abuassba, S. Yang, and F. Zhou, "Access Control and Authorization in Smart Homes: A Survey," in *Tsinghua Science and Technology*, Dec. 2021, vol. 26, no. 6, pp. 906–917. doi: 10.26599/TST.2021.9010001.
- [4] V. Seoane, C. Garcia-Rubio, F. Almenares, and C. Campo, "Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments," *Computer Networks*, vol. 197, p. 108338, 2021, doi: 10.1016/j.comnet.2021.108338.
- [5] L. Dürkop, B. Czybik, and J. Jasperneite, "Performance evaluation of M2M protocols over cellular networks in a lab environment," in *2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, Feb. 2015, pp. 70–75. doi: 10.1109/ICIN.2015.7073809.
- [6] B. M. Susanto, E. S. J. Atmadji, and W. L. Brenkman, "Implementasi Mqtt Protocol Pada Smart Home Security Berbasis Web," *Jurnal Informatika Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 201–205, May 2018, doi: 10.33795/jip.v4i3.207.
- [7] A. Zainudin, I. Anisah, and M. M. Gulo, "Implementasi Fog Computing Pada Aplikasi Smart Home Berbasis Internet of Things," *CESS (Journal of Computer Engineering System and Science)*, vol. 6, no. 1, pp. 127–132, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.20658.
- [8] F. Alfiah, B. Rahman, and Imelda, "Control system prototype smart home IoT based with MQTT method using Google Asisstant," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 2, pp. 303–310, 2020, doi: 10.29207/resti.v4i2.1721.
- [9] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [10] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming," *Sensors*, vol. 20, no. 15, p. 4231, Jul. 2020, doi: 10.3390/s20154231.
- [11] I. Harjanto, "IoT Gateway Menggunakan Protokol MQTT pada Perangkat Kendali Berbasis Modbus-RTU," *Jurnal Ilmiah Teknosains*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2020, doi: 10.26877/jitek.v6i1.5957.
- [12] A. Velinov, A. Mileva, S. Wendzel, and W. Mazurczyk, "Covert Channels in the MQTT-Based Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 161899–161915, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2951425.
- [13] E. Longo, A. E. C. Redondi, M. Cesana, A. Arcia-Moret, and P. Manzoni, "MQTT-ST: a Spanning Tree Protocol for Distributed MQTT Brokers," in *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Jun. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149046.
- [14] P. Hosseinioun, M. Kheirabadi, S. R. Kamel Tabbakh, and R. Ghaemi, "A new energy-aware tasks scheduling approach in fog computing using hybrid meta-heuristic algorithm," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 143, pp. 88–96, 2020, doi: 10.1016/j.jpdc.2020.04.008.
- [15] P. Habibi, M. Farhoudi, S. Kazemian, S. Khorsandi, and A. Leon-Garcia, "Fog Computing: A Comprehensive Architectural Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 69105–69133, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983253.
- [16] J. E. Luzuriaga, J. C. Cano, C. Calafate, P. Manzoni, M. Perez, and P. Boronat, "Handling mobility in IoT applications using the MQTT protocol," in *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, Sep. 2015, pp. 245–250. doi: 10.1109/ITeChA.2015.7317403.
- [17] S. Biju and N. M. Shekhar, "Security approach on MQTT based smart home," in *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, Sep. 2018, pp. 1106–1114. doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8391883.
- [18] D. Nuridhuha, M. Hannats, H. Ichsan, and R. Maulana, "Sistem Monitoring Lingkungan Rumah Cerdas berbasis Fog Computing dan nRF24101," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 622–631, 2020.
- [19] R. Parlita, T. A. Nisaa, S. M. Ningrum, and B. A. Haque, "Studi Literatur Kekurangan dan Kelebihan Pengujian Black Box," *Teknomatika*, vol. 10, no. 2, pp. 131–140, Oct. 2020.