

RESEARCH ARTICLE

# Monitoring Kualitas Udara dan Emisi Asap dengan The Internet of Things (IoT) pada Halte Bus di Wilayah Perkotaan Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2

Hendri Hananta Wahyu Wibowo\*, Zulkhairi and Lilis Kurniasari

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nadlatul Ulama Yogyakarta, Indonesia

\*Corresponding author: [hendrihananta3009@student.unu-jogja.ac.id](mailto:hendrihananta3009@student.unu-jogja.ac.id)

## Abstrak

Permasalahan pencemaran udara di halte bus, perlu untuk diperhatikan. Pemantauan kualitas udara luar ruangan pada tempat-tempat yang berpotensi tinggi terjadinya pencemaran udara sulit untuk diketahui tingkat polusi udara yang sebenarnya jika tidak ada sistem pemantauan yang memadai. Perangkat keras yang digunakan dalam memonitoring kualitas udara luar ruangan (*ambien*) di halte bus. Penggunaan perangkat keras memiliki fungsi dan keterkaitan di antara perangkat yang satu dengan perangkat yang lainnya. Uji coba rancangan sistem monitoring kualitas udara dan emisi asap dengan teknologi IoT pada halte bus di wilayah perkotaan menggunakan sensor MQ-135 dan MQ-2 yang dipantau dengan platform blynk. Mekanisme uji coba sensor MQ-2 gas CO dan sensor MQ-135 gas CO<sub>2</sub> dilakukan dengan membandingkan nilai sensor dan nilai alat sensor yang terkalibrasi. Monitoring kualitas udara yang efektif sangat penting untuk mendapatkan data yang akurat tentang tingkat polutan udara dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan. Dengan pemantauan menggunakan *ConnectXair*, dapat diambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi polusi udara di halte bus dan menjaga kualitas udara yang lebih baik bagi penumpang dan masyarakat sekitarnya.

**Key words:** Kualitas Udara & Emisi Asap, *Internet of Think* (IoT), Sensor MQ-135 & MQ-2

## Pendahuluan

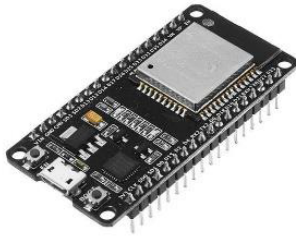
Gas-gas yang menyusun atmosfer bumi bercampur membentuk udara. Terdapat beberapa gas mulia di atmosfer udara, antara lain 78% nitrogen, 0,93% argon, 21,94% oksigen, dan 0,032% karbon dioksida [1]. Udara menjadi komponen penting dalam kelangsungan makhluk hidup yang ada di bumi, terutama manusia. Namun, pada saat ini udara dianggap sebagai permasalahan yang menjadi ancaman bagi kelangsungan hidup manusia, dikarenakan kualitas udara yang semakin menurun. Santos *et al.*, (2016) membahas bagaimana polusi dari sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida, dan hidrokarbon dari rokok berdampak pada kualitas udara, knalpot kendaraan, dan rokok [2]. Sumber utama pencemaran udara yaitu pada unsur-unsur berbahaya memancarkan berbagai macam gas dan partikel senyawa organik dan anorganik yang akan mengganggu kesehatan lingkungan, menyebabkan sejumlah penyakit, termasuk kematian akibat partikel kecil di udara kotor [3]. Kasus penyakit pada manusia yang ditimbulkan dari pencemaran udara, berdasarkan catatan *World Health Organization* (2022) yang menyatakan 37% kematian dini karena penyakit paru obstruktif kronik dan infeksi saluran pernapasan bawah akut disebabkan oleh polusi udara luar ruangan (*ambien*) [4].

Pencemaran udara merupakan polusi udara di luar ruangan (*ambien*), salah satu tempat yang menjadi sumber polusi luar ruangan

(*ambien*) adalah halte bus. Halte bus merupakan tempat pemberhentian penumpang umum menurunkan atau menaikkan, sehingga di lokasi tersebut memiliki banyak aktivitas antara manusia dan kendaraan yang menimbulkan unsur gas berbahaya, sehingga menyebabkan pencemaran udara. Permasalahan pencemaran udara di halte bus perlu untuk diperhatikan. Pemantauan kualitas udara luar ruangan pada tempat-tempat yang berpotensi tinggi terjadinya pencemaran udara sulit untuk diketahui tingkat polusi udara yang sebenarnya jika tidak ada sistem pemantauan yang memadai [5]. Kurangnya *monitoring* kualitas udara di halte bus adalah masalah yang perlu diperhatikan. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, sulit untuk mengetahui tingkat polusi udara yang sebenarnya di sekitar halte bus tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan tindak lanjut untuk merancang sebuah sistem atau alat pemantauan terhadap tekanan udara, temperatur, kelembapan, dan kebersihan udara pada area halte bus. Pemanfaatan kemajuan teknologi informasi, maka didesain sebuah alat berbasis *IoT* dengan sensor MQ-135 dan MQ-2 yang dapat digunakan untuk memantau kualitas udara luar ruangan di area halte bus.

Konsep *Internet of Things* (*IoT*) berupaya meningkatkan manfaat konektivitas *internet* dengan memungkinkan pengguna terhubung ke perangkat, mesin, dan objek fisik lainnya yang dilengkapi dengan



**Gambar 1.** ESP-32 DEVKIT 1

Sumber: (Pratama & Kiswanto, 2023)

sensor atau aktuator jaringan untuk mengumpulkan data dan mengendalikan operasi mereka sendiri. Hal ini akan memungkinkan mesin untuk bekerja sama dan bahkan mengambil tindakan independen berdasarkan informasi yang baru diperoleh [6]. Ungkapan "Internet of Things" (*IoT*) menggambarkan bagaimana benda non-komputer dapat berkomunikasi satu sama lain melalui perantara jaringan internet dengan menggunakan teknologi informasi, koneksi jaringan internet, dan sensor [7]. Selain itu, *Internet of Things (IoT)* telah diterapkan di banyak industri lain. *IoT* telah maju dalam aktivitas dan hobi sehari-hari selain bidang utama. *IoT* mungkin berguna dan efisien untuk tugas sehari-hari yang berat [8] [9].

Simon (2020) menambahkan bahwa MQ-135 merupakan molekul yang, ketika terkena gas, mengalami perubahan nilai yang sebanding. Variasi konsentrasi gas terlihat pada sensitivitas sensor analog MQ-135 [10]. Atmaja (2018) menjelaskan sensor MQ-2 merupakan sensor gas asap yang dapat mendeteksi konsentrasi gas yang mudah terbakar di udara. Sensor MQ-2, gas yang dapat terdeteksi di antaranya *i-butane*, *propane*, *hydrogen*, *alcohol*, *methane* [11]. Dengan terhubungnya *Internet of Things (IoT)*, *AQ detector* atau alat yang dibuat dapat terhubung ke jaringan internet dan platform. Pemantauan dapat dilihat pada *apps mobile* maupun *web* melalui platform khusus secara *real-time*. Objek pemantauan di halte bus dilengkapi *GPS* sebagai penunjuk lokasi alat berada. Sensor MQ-2 merupakan salah satu jenis sensor asap yang dimanfaatkan pada rangkaian elektronik untuk mengidentifikasi beberapa jenis konsentrasi gas hidrokarbon yang mudah terbakar, antara lain butana ( $C_4H_{10}$ ), propana ( $C_3H_8$ ), metana ( $CH_4$ ), etanol ( $C_2H_5OH$ ), hidrogen ( $H_2$ ), asap, dan bahan bakar gas cair (*LPG*) [12] [13].

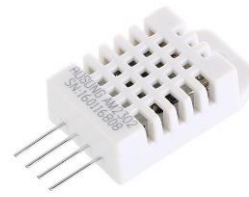
*ConnectX Air* mampu mengumpulkan data tentang kualitas udara, asap, suhu, dan kelembaban pada daerah sekitar halte bus. Data ini kemudian dapat dianalisis secara mendalam untuk memberikan wawasan lebih baik mengenai kualitas udara pada sekitar halte bus. Selain itu, laporan data yang terperinci dapat digunakan untuk *monitoring* jangka panjang, evaluasi, pemahaman, dan inovasi yang dapat diintegrasikan dengan alat.

## Perancangan Sistem

### Microcontroller ESP32

Mikrokontroler ESP32 (Gambar 1) adalah *System on Chip* terpadu yang dilengkapi dengan jaringan WiFi dan Bluetooth. Mikrokontroler ESP32 termasuk cukup lengkap karena di dalamnya terdapat prosesor, akses, dan penyimpanan pada *General Purpose Input Output* [14].

ESP32 hadir dalam dua varian, 30 GPIO dan 36 GPIO, yang identik dari segi fitur. Versi 30 GPIO dipilih karena berisi dua pin GND. Sangat



**Gambar 2.** DHT22

Sumber: (Puspasari et al., 2020)



**Gambar 3.** GPS Neo6

Sumber: (Suryana, 2021)

mudah untuk memprogram antarmuka USB ke UART board ini menggunakan alat pengembangan aplikasi. Sumber daya untuk board dapat disuplai menggunakan port *microUSB*.

### Sensor DHT22

DHT22 (Gambar 2) merupakan sensor digital kelembapan dan suhu relatif. Disebutkan bahwa sensor ini memiliki kualitas yang luar biasa, jangkauan pembacaan yang luas, serta reaksi yang cepat dan minimal terhadap prosedur pengumpulan data. Sensor DHT22 mengukur udara sekitar menggunakan termistor dan kapasitor, kemudian mengeluarkan sinyal pada port data [15].

### GPS Neo6

GPS Neo6 (Gambar 3) merupakan sistem satelit navigasi. Sistem satelit navigasi didesain dipergunakan untuk menghitung informasi waktu, lokasi, dan kecepatan dalam tiga dimensi. Dengan rentang akurasi beberapa milimeter hingga puluhan meter, GPS Neo6 mampu memberikan data lokasi [16].

### Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 (Gambar 4) berfungsi sebagai daya input dalam mendeteksi asap seperti metana, alkohol, hidrogen, butana, propana, dan asap. Tegangan analog yang diperoleh dari representasi konsentrasi gas sekitar akan ditampilkan oleh sensor MQ-2. Semakin banyak gas asap di area sekitar sensor gas, semakin besar karakteristik konduktivitasnya. Dengan mendeteksi keberadaan gas-gas tersebut, hambatan listrik sensor akan berkurang. Rentang pengukuran hasilnya adalah 0 hingga 1023.

### Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 (Gambar 5) berfungsi sebagai daya input dalam mendeteksi bahan kimia di udara, antara lain alkohol, benzena, amonia ( $NH_3$ ), natrium (di)oksida ( $NO_x$ ), karbon dioksida, dan asap. Perubahan



**Gambar 4.** MQ-2  
Sumber: (Akhmad Fauzi, 2019)



**Gambar 5.** MQ-135  
Sumber: (Rosa et al., 2020)



**Gambar 6.** Buzzer  
Sumber: (Prasetya, 2021)

nilai resistansi analog pada pin keluaran menunjukkan temuan pendeteksian sensor MQ-135. Sensor MQ-135 lebih sensitif terhadap gas di sekitarnya.  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah di udara bersih merupakan zat sensitif yang digunakan pada sensor ini [17].

#### Buzzer

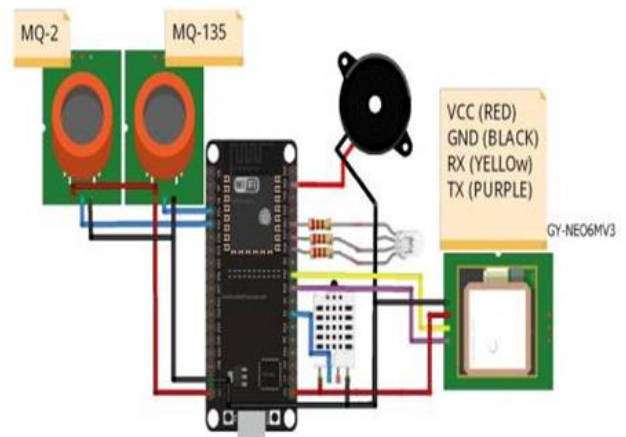
Komponen listrik yang dapat mengubah impuls listrik menjadi getaran berupa suara disebut *buzzer* (Gambar 6) dapat menggunakan bel dengan sistem pengontrol yang berbeda [18].

#### LED RGB

LED RGB (Gambar 7) merupakan sebuah lampu dengan tiga lampu berwarna berbeda yang memancar secara bergantian dari unit LED. Lampu LED merah, hijau, dan biru dikenal sebagai lampu LED RGB. Satu unit LED dapat memberikan cahaya biru alternatif tanpa memerlukan sirkuit listrik lebih lanjut. LED berdiameter 5mm, maksimal 2,25-3V, 20mA, -30°C hingga +85°C rentang suhu [19].



**Gambar 7.** LED RGB  
Sumber: (Supegina, 2016)



**Gambar 8.** Skematik Rangkaian Alat

## Hasil dan Pengujian Sistem

### Desain dan Skema Alat

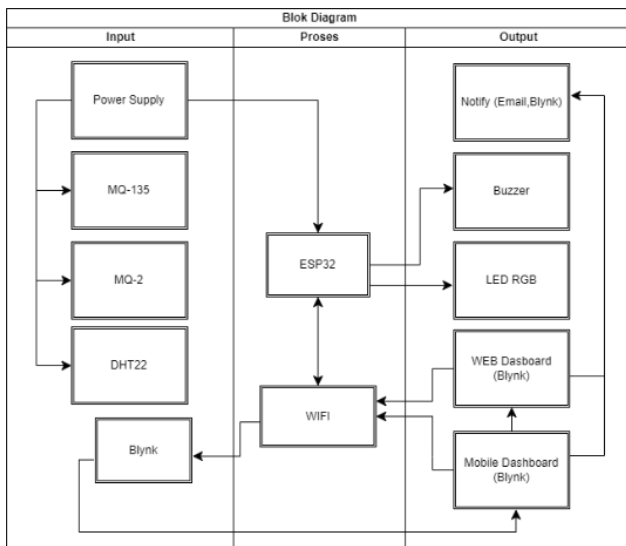
Pada Gambar 8 merupakan skema rangkaian alat secara keseluruhan dari sistem pemantauan polusi udara luar ruang (*ambien*) halte bus berbasis *Internet of Things* dengan sensor MQ-2 dan MQ-135. Sensor MQ-135 sebagai pembaca kadar gas dan sensor MQ-2 sebagai pembaca asap.

### Blok Diagram Input, Proses, Output

Blok Diagram Input, Proses, Output menjelaskan bahwa sistem ini menggunakan teknologi *Internet of Things* dengan sensor MQ-135 dan MQ-2, sensor DHT22, *buzzer*, modul WiFi ESP32, LED R-Y-G, *Web Dashboard* (Blynk), *Mobile Dashboard* (Blynk). Sistem ini berfungsi dengan membaca suhu relatif, kelembapan, asap, dan kadar gas. Data yang diperoleh dari pembacaan tersebut kemudian dikirim ke basis data melalui deteksi lokasi GPS dan pemrosesan sinyal navigasi satelit melalui modul WiFi ESP32. Data tersebut kemudian disimpan dalam basis data dan ditampilkan di situs web Blynk. Jika konektivitas internet tersedia, data real-time dari pembacaan sensor untuk suhu relatif, kelembapan, tingkat gas, dan asap di sekitar halte bus akan ditampilkan di situs web Blynk.

### Alur Kerja Sistem

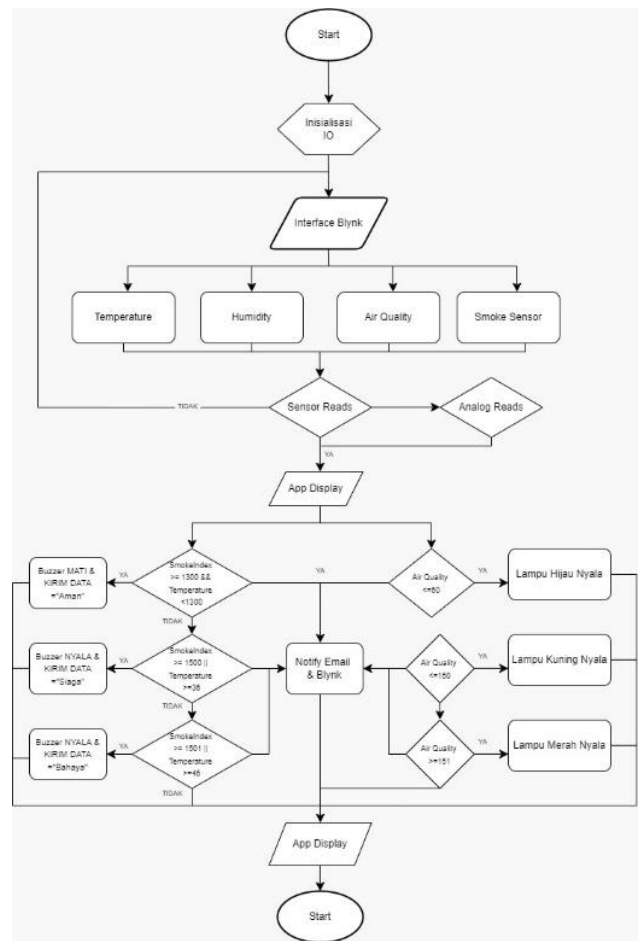
Gambaran alat yang digunakan untuk memonitor keadaan suhu, kelembapan, kadar asap, dan kadar gas di sekitar wilayah halte bus seperti terlihat pada Gambar 10. Seri ini mencakup lampu LED RGB, yang



Gambar 9. Blok Diagram Input, Proses, Output



Gambar 10. Gambaran Alat Monitoring



Gambar 11. Flowchart Cara Kerja Monitoring Kualitas Udara

secara bergantian memancarkan tiga warna cahaya berbeda dari satu unit LED. Ketika keadaan warna berbeda terdeteksi oleh sensor warna, keluaran lampu LED RGB akan berubah warna.

Cara kerja monitoring kualitas udara seperti pada Gambar 11 adalah LED berwarna hijau akan menyala apabila terdeteksi kualitas udara  $i = 50$ ; selanjutnya, data dikirim ke basis data monitoring. Kedua, LED berwarna kuning akan menyala apabila terdeteksi kualitas udara  $i = 150$ , dan data juga dikirim ke basis data monitoring. Ketiga, lampu merah akan menyala apabila terdeteksi kualitas udara  $i = 151$ , dan data akan dikirim ke basis data monitoring. Jika semua sensor membaca nilai melebihi ambang batas, notifikasi akan dikirimkan berupa email dan Blynk. Data tersebut akan dikirim secara real-time oleh mikrokontroler.

**User Interface**

**1. App Mobile Blynk**

Elemen visual pada aplikasi *Mobile Blynk* untuk monitoring kualitas udara dan emisi asap pada halte bus di wilayah perkotaan menunjukkan nilai emisi asap 6,76 ppm, suhu 29,4 °C, dan kelembapan 69,8% seperti terlihat pada Gambar 12.

Berdasarkan *monitoring* ketiga elemen tersebut, indeks kualitas udara di sekitar halte bus menunjukkan 81 AQI (berwarna kuning), dengan tingkat kekhawatiran sedang. Tingkat kekhawatiran sedang dimaksudkan bahwa kualitas udara dapat diterima, namun mungkin terdapat risiko bagi sebagian orang, terutama pada mereka yang sensitif terhadap kualitas udara [18].

**2. Web Dashboard Blynk**

Tampilan *Web Dashboard Blynk* untuk monitoring kualitas udara dan emisi asap pada halte bus di wilayah perkotaan juga memberikan notifikasi terkait kualitas udara yang dikirimkan melalui email. Pada tampilan web, buzzer berada dalam keadaan *off*, dan indeks kualitas udara AQI menunjukkan warna kuning, yang termasuk dalam kategori kekhawatiran sedang.

Kategori AQI pada rentang 101-150 (berwarna oranye) termasuk dalam tingkat kekhawatiran tidak sehat bagi kelompok sensitif, dan anggota kelompok sensitif akan terkena dampak kesehatan. Pada rentang 151-200 AQI (berwarna merah), kategori ini masuk dalam tingkat kekhawatiran tidak sehat untuk sebagian masyarakat umum, yang mungkin mengalami dampak kesehatan. Pada AQI 201-300 (berwarna ungu), tingkat kekhawatiran sangat tidak sehat, dengan dampak dirasakan oleh semua orang. Indeks kualitas udara 500 AQI (berwarna merah tua) masuk dalam tingkat kekhawatiran berbahaya, di mana peringatan kesehatan darurat dikeluarkan karena semua orang mungkin terkena dampaknya. Pada tingkat indeks yang lebih tinggi, buzzer akan berubah menjadi *on* [19].

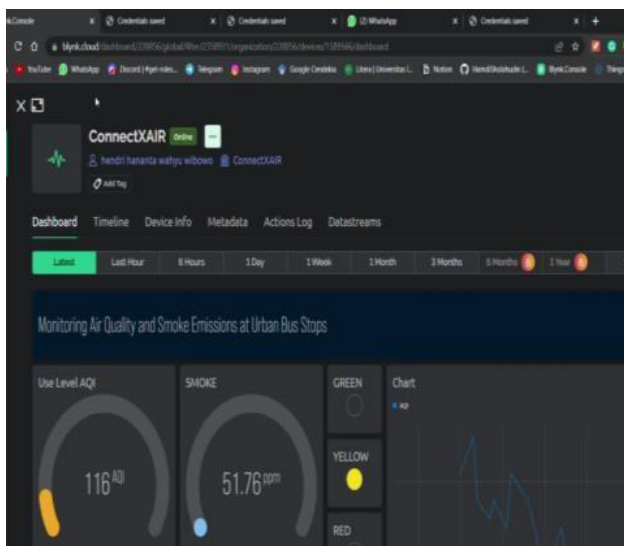
**Hasil Uji Coba**

Berdasarkan hasil penelitian, ditunjukkan bahwa kualitas udara yang buruk di wilayah perkotaan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan sekitarnya. Data dari World Health Organization (2022) menunjukkan bahwa 37% kematian dini disebabkan oleh





Gambar 12. Tampilan Blynk Mobile



Gambar 13. Tampilan Blynk Web

polusi udara. Dari hasil yang ditemukan, dikembangkan sebuah rancangan monitoring kualitas udara terutama pada halte bus di wilayah perkotaan.

Uji coba dilakukan berdasarkan rancangan sistem monitoring kualitas udara luar ruangan (*ambien*) dan emisi asap pada halte bus di wilayah perkotaan, memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan dipantau melalui platform Blynk. Sistem ini bergantung pada Node-MCU ESP32, yang mampu memantau kadar karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan amonia (NH<sub>3</sub>). Sensor

MQ-2 dan MQ-135, yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, digunakan dalam pengujian.

Cara kerja metode ini adalah sensor akan mengidentifikasi kualitas udara di halte bus jika dibiarkan di udara terbuka. Teknik pengujian yang digunakan adalah membandingkan pembacaan sensor dengan nilai peralatan sensor yang telah dikalibrasi, terutama untuk sensor gas CO<sub>2</sub>, MQ-2, dan MQ-135.

Dengan adanya konektivitas IoT, alat deteksi kualitas udara yang dibuat (AQ Detector) dapat terhubung ke jaringan internet dan platform monitoring. Data pemantauan dapat dilihat pada aplikasi mobile maupun web secara real-time melalui platform Blynk. Objek monitoring di halte bus juga dilengkapi dengan GPS sebagai penunjuk lokasi alat. *ConnectX Air* mampu mengumpulkan data mengenai kualitas udara, asap, suhu, dan kelembapan di sekitar halte bus. Data ini kemudian dapat dianalisis secara mendalam untuk memberikan wawasan yang lebih baik tentang kualitas udara di sekitar halte bus.

Selain itu, laporan data yang terperinci dapat digunakan untuk monitoring jangka panjang, evaluasi, pemahaman, serta inovasi yang dapat diintegrasikan dengan alat. Rencana pengembangan produk yang akan dilakukan meliputi:

1. Mengumpulkan dan merancang ide
2. Penyaringan dan pemilihan ide yang akan digagas
3. Penambahan dan pengembangan fitur *software* maupun *hardware* serta pengujian konsep
4. Pengembangan strategi pasar dengan analisa bisnis, penguatan gagasan, dan pengujian produk secara internal dan komersial

## Kesimpulan

*ConnectXAIR* adalah perangkat yang mampu memonitoring kualitas udara pada halte bus di wilayah perkotaan. Dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) *ConnectXAIR* dapat dipantau menggunakan salah satu platform yaitu blynk. Monitoring kualitas udara yang efektif sangat penting untuk mendapatkan data yang akurat tentang tingkat polutan udara dan mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan. Dengan pemantauan menggunakan *ConnectXAIR*, dapat diambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi polusi udara di halte bus dan menjaga kualitas udara yang lebih baik bagi penumpang dan masyarakat sekitarnya.

Berdasarkan hasil yang ditemukan pada penelitian monitoring kualitas udara dan emisi asap dengan teknologi *internet of things* (IoT) pada halte bus di wilayah perkotaan menggunakan sensor MQ-135 dan MQ-2 terdapat beberapa saran yaitu:

1. Pembuatan wadah untuk perangkat IoT sehingga perangkat menjadi lebih menarik.
2. Penggunaan *ConnectXAIR* yang lebih akurat untuk memantau kualitas udara.
3. Perlu dilakukan kalibrasi perangkat IoT dengan alat pengukur polusi udara yang terstandar sehingga data yang didapatkan lebih efisien dan akurat, selain itu yang pada akhirnya bisa dimanfaatkan berbagai pihak untuk mengetahui polusi udara luar ruangan (*ambien*).

## Daftar Pustaka

1. Ibrahim Z, Boekoesoe L, Lalu NAS. Identifikasi Kualitas Udara Ambien di Sekitar Wilayah Kota Gorontalo. *Public Health and Surveillance Review*. 2022;1(1):24-33. Retrieved from <https://ejournal.ung.ac.id/index.php/jje>.
2. Santos UP, Garcia MLSB, Braga ALF, Pereira LAA, Lin CA, De André P, et al. Association between traffic air pollution and reduced forced vital capacity: A study using personal monitors for

- outdoor workers. *PLoS ONE*. 2016;11(10):1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163225>.
3. Wardoyo AYP. *Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor dan Dampak Kesehatan*. 1st ed. Malang: Universitas Brawijaya Press; 2016.
  4. Organization WH. *Polusi Udara Luar Ruangan (Ambien)*; 2022. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
  5. Utama DA. Indeks Standar Pencemar Udara Polutan Karbon Monoksida Di Terminal Malengkeri Kota Makassar. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*. 2019;2(1):9-20.
  6. Novianto I, Hudha M, Octora Pristisahida A. Implementasi IoT pada Monitoring Suhu dan Kelembaban Media Budidaya Maggot Berbasis Wemos D1 Mini. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*. 2022;1(9):3115-26.
  7. Novianto I, et al. Implementasi IoT dan EBT Sel Surya Pada ATMI Madi Guna Mendukung Upaya Peningkatan Produksi Pertanian Padi Pada Kelompok Tani Sedya Karya Makmur Di Kabupaten Sleman. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2023;3(3):205-14.
  8. Lehman AS, Sanjaya J. Perancangan Sistem Pemberi Makan Hewan Berbasis IoT Dengan Sistem Kontrol Android Menggunakan MVVM Dan Clean Architecture. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*. 2022;9(2):1218-31.
  9. Ahmed AIA, et al. Service Management for IoT: Requirements, Taxonomy, Recent Advances and Open Research Challenges. *IEEE Access*. 2019;7:155472-88.
  10. Simon AAR, A B. Sistem Pendeteksi Pencemar Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *ULTIME Computing*. 2020;12(1):24.
  11. Atmaja DAN. Rancang Bangun Pemantauan Suhu Beserta Kualitas Udara Pada Terminal Arjosari Malang Melalui Website Berbasis Arduino. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*. 2018;2(1):380-7.
  12. Ananda RT, Djamaludin, Sujana D. Sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*. 2021;8(2):1027-38.
  13. Himawan FP, Sunarya U, Nurmantris DA. Perancangan Alat Pendeteksi Asap Berbasis Mikrokontroler. *E-Proceeding Of Applied Science*. 2017;3(3):1963-8.
  14. Wagyana A, R. Prototype Modul Praktik Untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT). *Jurnal Ilmiah Setrum*. 2019:240-1.
  15. Abdulrazzak L, Bierk IA. Humidity and Temperature Monitoring. *Int J Eng Technol*. 2018;7(4):5174-7.
  16. Nurhartono A. Perancangan Sistem Keamanan Untuk Mengetahui Posisi Kendaraan yang Hilang Berbasis GPS dan Ditampilkan dengan Smartphone. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta; 2015.
  17. Arta S, Mulyana A, Permana AG. Perancangan Dan Implementasi Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor Nirkabel Dengan Fitur Notifikasi Dan Pengawasan Video Melalui Smartphone Android. 2020:3891.
  18. Clean Air Outdoors: Air Quality Index;. Retrieved from <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/air-quality-index>.
  19. AQI Basics;. Retrieved from <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>.
  20. Akhmad Fauzi R. Pendeteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Manajemen Dan Teknik Informatika*. 2019;3(1):1.
  21. Prasetya. Thermohygrometer Berbasis Arduino Dilengkapi Buzzer Alarm. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*. 2021;9(3). Retrieved from <https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/71/1/RancangBangunSistemAbsensiDenganPemeriksaanSuhuTubuhBerbasisArduinoATmega2560.pdf>.
  22. Pratama EW, Kiswanton A. Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*. 2023;7(2):1273-84.
  23. Puspasari F, Satya TP, Oktiawati UY, Fahrurrozi I, Prisyanti H. Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 2020;16(1):40.
  24. Rosa AA, Simon BA, Lieanto KS. Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*. 2020;12(1):23-8.
  25. Supegina F. Khususnya dalam hal pembuatan pola dan warna pada tas. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*. 2016;7(1):11.
  26. Suryana T. Antarmuka Ublox Neo-6M GPS Module Dengan Node-mcu ESP8266. *Jurnal Komputa Unikom*. 2021:1-18. Retrieved from <https://repository.unikom.ac.id/68725/1/AntarmukaubloxNEO-6MGPSModuledenganNodeMCUESP8266.pdf>.