

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

VOC (*Volatile Organic Compounds*) adalah senyawa yang dikeluarkan oleh tanaman sebagai respon terhadap kondisi lingkungan, kondisi tanaman, maupun saat tanaman tersebut terkena penyakit dan terserang hama. Pada sebuah penelitian, Siyoung Lee dan kawan-kawan telah melakukan pengembangan *wearable* sensor VOC untuk monitoring kesehatan tanaman dengan mendeteksi nilai VOC. Nilai VOC yang dihasilkan tanaman akan dideteksi tingkat stres, penyakit atau tahap kematangan buahnya. Dari penelitian juga dibandingkan penggunaan sensor VOC dengan metode konvensional yang biasanya mahal dan lebih statis. Penggunaan sensor VOC dalam melakukan monitoring dianggap lebih terjangkau, portabel dan berkelanjutan apalagi ditambahkan integrasi dengan sistem komunikasi nirkabel memungkinkan pengumpulan data secara kontinu guna mendukung efisiensi pertanian cerdas (Lee et al., 2024)

Monitoring perubahan VOC pada tanaman telah banyak dikembangkan oleh beberapa penelitian yang mengintegrasikan pengujian tersebut dengan berbagai mikrokontroler untuk mendeteksi senyawa volatil (Rubio et al., 2017). Di sisi lain, pengembangan *Internet of Things* (IoT) yang dilakukan beberapa studi penelitian dinilai memiliki potensi untuk melakukan proses pengambilan, pengiriman, dan penyimpanan data secara *real-time* (Susetyo et al., 2024). Integrasi keduanya, antara sistem teknologi sensor VOC dan sistem IoT telah dilakukan dalam penelitian yang bertujuan menciptakan sistem pemantauan otomatis yang efisien, hemat biaya serta mendukung keberlanjutan dalam jangka panjang (Bhattacharjee et al., 2025).

Penelitian selanjutnya yang menjadi referensi diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Hendi Budianto dan Budi Sumanto yang merancang sebuah prototipe untuk monitoring kualitas udara berbasis IoT. Penelitian dilakukan pada jurnal yang berjudul “*Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang Berbasis Internet of Things*”. Penelitian ini bertujuan untuk dapat menginformasikan pemantauan dari jarak jauh. Sistem ini menggunakan metode

pengembangan yang terdiri dari tahap desain, pembuatan dan integrasi alat, perancangan aplikasi berbasis *web*. Hasil dari penelitian yang dilakukan telah berhasil mendeteksi kadar gas (CO₂ dan CO), partikel debu, suhu dan kelembapan udara secara *real-time*. Penelitian ini memberikan referensi dalam perancangan sistem berbasis IoT yang terintegrasi dari pembacaan sensor ke *website* dan database. Namun penelitian ini masih berfokus pada pengiriman data sederhana ke server (Budianto & Sumanto, 2024).

Pengembangan sistem monitoring IoT juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Manas, dimana di dalam penelitiannya manas mengembangkan sistem monitoring IoT dengan memanfaatkan protokol MQTT, database PostgreSQL, serta dashboard berbasis web. Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun sistem yang mampu menampilkan data sensor secara *real-time* melalui antarmuka visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PostgreSQL mampu menyimpan data secara terstruktur dan mendukung proses pengambilan data kembali untuk ditampilkan pada dashboard (Manas, 2023).

Selanjutnya, penelitian oleh Bestari dan Wibowo yang mengembangkan sistem monitoring lingkungan berbasis ESP32 dengan menggunakan ThingsBoard sebagai dashboard. Sistem ini mampu mengirim data sensor seperti suhu dan kelembapan ke server dan menampilkannya secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi antara ESP32 dan ThingsBoard berjalan dengan baik dan mendukung monitoring jarak jauh (Bestari & Wibowo, 2023).

Selanjutnya penelitian yang mengembangkan sistem monitoring iklim mikro berbasis IoT dengan menggunakan database dan dashboard berbasis ThingsBoard untuk menampilkan data secara kontinu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempermudah proses pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data dapat disimpan dan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga memudahkan pengguna dalam memahami perubahan kondisi (Nurwasito & Adaby, 2024).

Untuk memperjelas penelitian-penelitian terdahulu yang telah dijelaskan di atas, dapat dilihat dalam tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2. 1 Perbandingan variabel penelitian

Kategori	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Proyek Akhir
Judul	Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things	Wearable Volatile Organic Compound Sensors for Plant Health Monitoring.	IoT Monitoring System Berbasis ESP32 dan ThingsBoard	Sistem Monitoring Iklim Berbasis IoT	Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Perubahan Voc Berbasis Iot Sebagai Indikasi Awal Serangan Hama (Database)
Tahun Publikasi	2024	2024	2023	2024	2026
Tujuan Penelitian	Merancang sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan yang dapat digunakan dari jarak jauh.	Menyajikan perspektif yang komprehensif mengenai kemajuan terbaru dalam sensor VOC wearable	Membangun sistem monitoring lingkungan berbasis ESP32	Melakukan monitoring kondisi iklim mikro secara real-time	Melakukan monitoring perubahan voc tanaman sebagai indikasi awal serangan hama
Metodologi	Meliputi tahap desain sistem, pembuatan dan integrasi alat, perancangan aplikasi berbasis web, serta pengujian sistem.	Mengkaji dan mengkategorikan berbagai sensor VOC wearable yang baru-baru ini dikembangkan	Konfigurasi ESP32 sampai ke ThingsBoard dan Implementasi Dashboard.	Data dari sensor yang disimpan ke database dan ditampilkan oleh dashboard.	Mengambil data dari esp 32, pembuatan database, dan dashboard sebagai penampil visualisasi.
Pengujian yang dilakukan	Uji sensor, uji real-time, uji konektivitas.	Uji stabilitas sensor, monitoring real-time, dan deteksi dini penyakit tanaman.	Uji pengiriman data sensor real-time	Uji pencatatan dan visualisasi data.	Uji perubahan VOC berdasarkan kondisi tanaman, uji real-time, uji

					ambang batas.
Parameter yang diukur	kadar gas (CO ₂ dan CO), partikel debu, suhu, dan kelembaban udara.	VOC tanaman suhu, dan kelembapan.	Suhu dan kelembaban.	Suhu, kelembaban lingkungan.	Nilai gas TVOC, suhu (<i>temperature</i>) dan kelembapan (<i>humidity</i>).
Hasil	Sistem berhasil monitoring kualitas udara secara <i>real-time</i> dan menyimpan data ke database.	Sensor mampu mendeteksi VOC tanaman secara cepat, sensitif, dan mendukung deteksi dini stres maupun penyakit tanaman.	Data sensor berhasil ditampilkan secara real-time.	Data tersimpan dan divisualisasikan dalam grafik.	Deteksi awal stres pada tanaman berbasis VOC secara real-time.

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu untuk melakukan sistem monitoring umumnya melewati beberapa tahapan utama, seperti pengambilan dan perpindahan nilai atau data dari sensor, penyimpanan data ke dalam database, serta visualisasi data melalui dashboard. Tahapan-tahapan tersebut menjadi dasar dalam perancangan sistem monitoring yang akan dikerjakan pada proyek akhir ini, khususnya untuk memantau perubahan gas VOC sebagai indikasi awal serangan hama pada tanaman.

Namun demikian, dari beberapa penelitian terdahulu dengan berbagai macam metode, belum ada penelitian yang membahas integrasi yang lengkap untuk satu sistem yang bisa mengidentifikasi perubahan awal dari indikasi serangan hama menggunakan parameter VOC. Oleh karena itu, penelitian yang akan dikembangkan nantinya akan mengacu pada penelitian terdahulu sebagai bahan referensi, dalam perancangan sistem yang akan dibuat untuk monitoring perubahan kadar VOC. Penelitian tersebut diharapkan mampu melakukan pengujian untuk melihat dengan jelas perubahan yang terjadi pada nilai VOC dari tanaman yang sehat sampai dengan tanaman itu terindikasi terserang hama. Metode yang digunakan mulai dari perancangan sistem berbasis IoT, perancangan node sensor, akuisisi data VOC, transmisi data dan visualisasi data yang ditampilkan ke dashboard. Tampilan sistem pada dashboard nantinya menampilkan grafik *trend*

perubahan nilai VOC secara *real-time* dengan *timestamp* serta nilai dari beberapa parameter pendukung seperti suhu dan kelembaban. Data perubahan yang masuk akan tersimpan ke *database* dan akan divisualisasikan pada dashboard *ThingsBoard* serta data tersebut dapat diexport menjadi file CSV.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Volatile Organic Compounds (VOC)

Senyawa Organik Volatil atau VOC (*Volatile Organic Compounds*) adalah senyawa kimia dengan tekanan uap relatif tinggi yang menjadi parameter penting untuk memantau kesehatan tanaman, kualitas tanaman, dan kondisi lingkungan (Lee et al., 2024). VOC berperan dalam memberi sinyal serangan hama atau respons adanya perubahan konsentrasi VOC real yang dilepaskan oleh tanaman sebagai peringatan awal serta pengelolaan penyakit tumbuhan terhadap stres maupun penyakit pada tanaman baik akibat faktor lingkungan, patogen, maupun serangan hama.

Pada penerapannya, perubahan konsentrasi VOC pada tanaman telah diteliti dan diuji dengan beberapa metode salah satunya adalah GC-MS (*gas chromatography–mass spectrometry*). Namun metode tersebut dinilai kurang efisien dalam monitoring secara *real-time* dan berkelanjutan, biaya yang dibutuhkan lebih mahal serta membutuhkan ketelitian yang lebih dalam. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang lebih praktis dan hemat biaya untuk memantau perubahan konsentrasi VOC secara kontinu sebagai indikasi awal serangan hama.

2.2.2 Sistem Monitoring Berbasis Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menggambarkan jaringan perangkat fisik yang saling terhubung dan dapat berbagi data satu sama lain melalui internet. Dengan terhubungnya antar perangkat memungkinkan perangkat tersebut dapat mengumpulkan, mengirimkan, dan menerima data dari perangkat lain atau dari *cloud*. Penggunaan IoT dalam sistem monitoring telah memudahkan berbagai penelitian karena dapat mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, dan teknologi komunikasi untuk memberikan pemantauan berkelanjutan (Sinaga et al., 2025).

2.2.3 Konsep Monitoring Real-Time

Monitoring *real-time* merupakan proses pemantauan data yang dilakukan secara langsung pada saat data tersebut dihasilkan. Dalam sistem IoT, monitoring *real-time* memungkinkan pengguna untuk melihat kondisi sistem tanpa adanya jeda waktu yang signifikan antara pengambilan data dan penampilannya. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan secara terus-menerus ke server, kemudian data akan ditampilkan dalam bentuk dashboard yang disertai grafik sehingga perubahan nilai dapat diamati dengan lebih mudah.

Dalam penelitian ini, konsep monitoring *real-time* digunakan untuk menampilkan perubahan nilai VOC, suhu, dan kelembaban, pada dashboard ThingsBoard. Data yang ditampilkan dalam bentuk grafik memungkinkan pengguna untuk melihat pola kenaikan dan penurunan nilai VOC sebagai indikasi awal kondisi tanaman.

2.2.4 Protokol MQTT Dalam Sistem Monitoring

Message Queuing Data hasil pengukuran Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan berbasis model *publish-subscribe* yang dirancang untuk sistem dengan kebutuhan *bandwidth* rendah. Dalam model ini, perangkat pengirim bertindak sebagai perangkat pengirim yang mengirim data ke broker, sementara server berfungsi sebagai penerima dan pengelola data. Mekanisme ini memungkinkan komunikasi berjalan efisien dan stabil pada sistem monitoring berbasis jaringan.

Pada implementasinya, platform ThingsBoard menyediakan layanan MQTT broker internal yang menerima data dari perangkat. Data yang diterima diverifikasi melalui mekanisme autentikasi sebelum diproses lebih lanjut. Penggunaan MQTT dalam sistem ini mendukung pengiriman data secara berkala dan *real-time* sehingga informasi perubahan nilai VOC dapat diterima tanpa jeda signifikan.

2.2.5 Database PostgreSQL dan Penyimpanan Time-Series

Database berfungsi sebagai media penyimpanan data hasil monitoring agar dapat dikelola dan diakses kembali. Data yang dikumpulkan dari sensor umumnya bersifat berulang dan memiliki penanda waktu (*timestamp*), sehingga memerlukan sistem penyimpanan yang terstruktur dan mampu menangani data dalam jumlah

besar. Dalam sistem ini, data yang diterima dari server disimpan secara terstruktur menggunakan sistem manajemen basis data relasional, yaitu PostgreSQL.



Gambar 2. 1 Logo PostgreSQL
(Sumber: <https://wiki.postgresql.org/wiki/Logo>)

Penggunaan database seperti PostgreSQL dalam sistem IoT memungkinkan data sensor disimpan secara terstruktur dan dapat diakses kembali untuk kebutuhan monitoring secara *real-time* (Manas, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa database tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan, tetapi juga sebagai sumber utama dalam proses penampilan data ke dalam dashboard. PostgreSQL dijadikan pilihan dalam pembuatan database karena jauh lebih stabil dan cepat dibandingkan MySQL dalam konteks beban kerja IoT, dan PostgreSQL juga menunjukkan hasil yang sangat baik dalam setiap pengujian pemuatan data (Wolters & Riehle, 2023).

Sejalan dengan hal tersebut, penelitian lain juga menunjukkan bahwa data yang telah tersimpan dalam database akan digunakan kembali untuk ditampilkan dalam bentuk visual seperti grafik, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi sistem (Nurwasito & Adaby, 2024). Dalam penelitian ini, database digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran sensor berupa nilai VOC, suhu, dan kelembaban, yang dikirimkan oleh ESP32 melalui platform ThingsBoard. Oleh karena itu, keberadaan database dalam sistem IoT menjadi sangat penting, terutama dalam sistem monitoring yang membutuhkan penyimpanan dan pengolahan data secara kontinu.

2.2.6 Perancangan Database pada Sistem Monitoring

Perancangan database merupakan tahap penting dalam sistem IoT karena menentukan bagaimana data akan disimpan dan diorganisir. Pada sistem

monitoring, data biasanya disimpan dalam bentuk *time-series*, yaitu data yang memiliki informasi waktu untuk setiap pengambilan data. Oleh karena itu, database yang digunakan harus mampu menyimpan data secara kontinu serta mendukung pengambilan data kembali untuk ditampilkan dalam bentuk histori . Hal ini menunjukkan bahwa perancangan database harus mempertimbangkan kebutuhan penyimpanan jangka panjang serta kemudahan dalam pengambilan data.

Selain itu, struktur database yang sederhana dan terorganisir akan mempermudah proses integrasi dengan dashboard. Hal ini didukung salah satu penelitian yang mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis sensor, dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari sensor dan tersimpan dalam database dapat diolah dan ditampilkan kembali dalam bentuk grafik untuk mendukung proses monitoring secara *real-time* (Yasin et al., 2022).

Berdasarkan hal tersebut, database PostgreSQL pada penelitian ini dirancang untuk menyimpan data sensor yang terdiri dari nilai VOC, suhu, dan kelembaban, serta *timestamp*. Struktur ini digunakan agar data yang tersimpan dapat dengan mudah ditampilkan kembali dalam bentuk grafik pada dashboard ThingsBoard, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi sistem secara berkelanjutan.

2.2.7 Integrasi Database dengan Sistem IoT

Integrasi database dalam sistem IoT merupakan proses menghubungkan perangkat pengirim data dengan sistem penyimpanan sehingga data dapat diterima dan disimpan secara otomatis. Dalam sistem IoT, proses ini melibatkan perangkat, jaringan komunikasi, serta platform pengelola data.

Integrasi antara database dan sistem IoT salah satunya telah dilakukan pada penelitian Okhovat dan Bauer. Dalam penelitiannya, platform IoT seperti ThingsBoard mampu mengintegrasikan proses akuisisi data, penyimpanan, serta visualisasi dalam satu sistem yang terpusat. Hal ini memungkinkan data dari perangkat dapat langsung diterima, disimpan, dan ditampilkan tanpa memerlukan sistem tambahan yang kompleks (Okhovat & Bauer, 2025).

Selain itu, penelitian oleh Bestari dan kawan-kawan menunjukkan bahwa integrasi antara ESP32 dan platform IoT dapat berjalan dengan baik dalam proses pengiriman data secara *real-time*. Data yang dikirimkan oleh perangkat dapat

langsung ditampilkan pada dashboard setelah melalui proses penyimpanan (Bestari & Wibowo, 2023).

Dalam penelitian ini, integrasi dilakukan dengan menggunakan ThingsBoard sebagai penghubung antara ESP32 dan database PostgreSQL. Data yang dikirimkan oleh ESP32 akan diterima oleh ThingsBoard dan secara otomatis disimpan dalam database, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan monitoring.

2.2.8 Dashboard Monitoring dan Visualisasi Data (ThingsBoard)

Dashboard merupakan antarmuka visual yang menampilkan data hasil monitoring yang berfungsi untuk menampilkan data kepada pengguna dalam bentuk visual yang mudah dipahami dalam bentuk grafik maupun indikator numerik. Data yang telah tersimpan di basis data diambil kembali melalui sistem server untuk ditampilkan secara *real-time* maupun historis. Visualisasi berbasis grafik waktu memudahkan pengamatan tren perubahan nilai VOC secara sistematis.

Melalui dashboard, pengguna tidak hanya melihat nilai sesaat, tetapi juga pola perubahan dalam rentang waktu tertentu. Fitur ini mendukung proses evaluasi kondisi secara berkelanjutan. Dengan demikian, dashboard menjadi komponen penting dalam sistem monitoring karena berfungsi sebagai penghubung antara data yang tersimpan dan proses interpretasi informasi.

Pada penelitian ini, pembuatan dashboard dikembangkan menggunakan platform ThingsBoard. ThingsBoard merupakan platform *open-source* yang dirancang khusus untuk sistem IoT dan menyediakan fitur lengkap seperti manajemen perangkat, pengolahan data, serta visualisasi dalam satu sistem terintegrasi. Dengan menggunakan ThingsBoard, data yang dikirimkan oleh ESP32 dapat langsung ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring perubahan nilai VOC.



Gambar 2. 2 Logo ThingsBoard
(Sumber : <https://thingsboard.io/mediakit/>)

Selain itu, jika dibandingkan dengan dashboard monitoring sederhana lainnya, ThingsBoard memiliki tampilan visualisasi yang lebih lengkap serta mendukung integrasi dengan protokol MQTT dan database PostgreSQL yang memudahkan dalam penyimpanan data langsung dan efisien sehingga lebih sesuai digunakan pada sistem monitoring berbasis Internet of Things. Hal ini menjadikan ThingsBoard sebagai solusi yang tepat dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT dalam pengembangan proyek akhir ini.