

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. Pemeliharaan Preventif pada Bandara

Pemeliharaan preventif di bandar udara merupakan kegiatan rutin yang dilaksanakan secara berkala, baik harian, mingguan, maupun bulanan. Kegiatan ini mencakup inspeksi, pembersihan, perbaikan ringan, serta penggantian komponen tertentu sebagai upaya pencegahan kerusakan, sehingga peralatan dan fasilitas tetap berfungsi dengan baik serta siap digunakan dalam operasional (Pramudya & Nawang Ginusti. Gallis, 2024). Pemeliharaan preventif merupakan salah satu bentuk perawatan fasilitas yang dilakukan secara terencana. Kegiatan ini bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan yang lebih serius melalui pelaksanaan perawatan secara rutin dan berkesinambungan.

Kegiatan pemeliharaan preventif *Air Handling Unit* (AHU) di Bandar Udara Internasional Juanda dilaksanakan oleh teknisi mekanikal dari PT Afdolul Faiz sebagai bagian dari pengelolaan sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)* pada Terminal 1 dan Terminal 2. Mengingat sebagian besar area terminal 1, khususnya zona tunggu penumpang atau area yang paling lama disinggahi penumpang, disuplai oleh AHU, maka keandalan unit ini menjadi prioritas utama. Perawatan rutin pada AHU umumnya dilakukan setiap 1 bulan dan dilakukan pada malam hari atau setelah penerbangan tutup, sekitar pukul 23.00 WIB untuk menyesuaikan dengan operasional bandara, dengan durasi pekerjaan yang relatif panjang karena mencakup pembersihan filter, fin coil, penyemprotan *chemical*, pengecekan *fan blower*, pengukuran *velocity air* menggunakan flow meter, serta inspeksi kondisi fisik sangkar atau casing unit.

Praktik sebelumnya, pemantauan kinerja hanya dilakukan sebelum dan sesudah jadwal servis bulanan, sementara pengukuran kecepatan rata-rata

udara (*velocity*) dan laju aliran udara (*flow rate*) masih bersifat manual dan tidak dilakukan setiap hari (hanya pada saat service bulanan). Pemantauan tingkat kekotoran pun cenderung berdasarkan inspeksi visual teknisi tanpa alat ukur partikulat terstandar. Parameter untuk mengecek kondisi ialah pada suhu ruangan, jika suhu ruangan melebihi suhu kenyamanan thermal maka teknisi akan melakukan pemeriksaan pada AHU, Untuk pemeriksaan rutin harian pada AHU sampai saat ini masih belum dilakukan melihat jumlah teknisi yang terbatas dan kuantitas *Air Conditioning* (AC) yang kompleks pada Bandar Udara Internasional Juanda.

2. Pengukuran *Air Velocity* pada *Air Handling Unit*



Gambar II. 1 Pengukuran Air Velocity pada AHU

(Sumber : Dokumentasi Penliti, 2026)

Air velocity atau kecepatan aliran udara merupakan salah satu parameter utama dalam evaluasi kinerja *Air Handling Unit* (AHU). Kecepatan udara menggambarkan laju pergerakan udara yang melewati suatu titik pengukuran pada penampang tertentu dan umumnya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s). Parameter ini berperan penting dalam menentukan kapasitas suplai udara, efektivitas distribusi udara ke ruang terkondisi, serta tingkat kenyamanan termal yang dirasakan oleh pengguna ruangan. Secara teoritis, penurunan nilai *air velocity* pada sisi suplai dapat

mengindikasikan adanya peningkatan hambatan aliran (*pressure drop*) yang umumnya disebabkan oleh akumulasi debu pada *filter* maupun *fin coil*.

Hambatan tersebut menyebabkan aliran udara tidak mencapai kapasitas desain, sehingga berdampak pada penurunan laju aliran udara (*flow rate*) dan distribusi udara menjadi tidak merata. Menurut standar yang diterbitkan oleh ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning engineers*) dalam ASHRAE Standard 62.1 dan pedoman NEBB, bahwa deviasi laju aliran udara lebih dari $\pm 10\%$ terhadap nilai desain memerlukan evaluasi dan penyesuaian ulang sistem. Menurut standar dan praktik ASHRAE Rentang *face velocity filter* sebesar 1,5 -2,5 m/s dan untuk rentang *coil velocity fin coil* sebesar 2,0 - 2,8 m/s.

3. Temperature Suhu Ruangan

Temperatur suhu ruangan merupakan parameter utama dalam mengevaluasi kinerja *Air Handling Unit (AHU)* karena secara langsung mencerminkan efektivitas proses pendinginan dan distribusi udara. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 48 Tahun 2016 tentang Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja Perkantoran, rentang suhu nyaman untuk ruang ber-AC (*Air Conditioning*) ditetapkan sebesar 23–26°C. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan (N dkk., 2025) ketika suhu udara di dalam ruangan berada pada kisaran 25°C, sistem pengkondisian udara mampu mengendalikan beban panas secara efektif dan efisien.

Suhu tersebut dapat dipertahankan pada tingkat yang nyaman dengan konsumsi energi yang relatif minimal, sehingga kondisi kenyamanan termal dalam ruangan dapat tercapai. Apabila temperatur ruangan melebihi 26°C, kondisi tersebut dapat mengindikasikan bahwa kapasitas pendinginan AHU tidak bekerja secara optimal.

Secara teknis, hal ini dapat disebabkan oleh menurunnya laju aliran udara akibat filter dan fin coil yang kotor, sehingga suplai udara dingin tidak mencapai kapasitas desain. Selain itu, berkurangnya efektivitas perpindahan panas pada coil juga dapat menyebabkan suhu udara suplai meningkat. Dengan demikian, kenaikan temperatur di atas standar Permenkes menjadi indikator awal adanya penurunan performa AHU yang perlu segera dievaluasi untuk menjaga kenyamanan termal ruangan.



Gambar II. 2 Temperature suhu ruangan

(Sumber : Dokumentasi Peneliti, 2026)

4. *Filter Air Handling Unit*

Partikulat debu yang terbawa aliran udara merupakan faktor utama yang mempengaruhi kinerja *Air Handling Unit (AHU)*, khususnya pada *filter*. Partikel tersebut meliputi PM10 (diameter $\leq 10 \mu\text{m}$), PM 2.5 (diameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$), serta kontaminan mikroskopis lainnya yang terakumulasi pada media filter dan menyebabkan *fouling*, yaitu penumpukan yang menutup pori-pori filter (Ekasari, 2018). Kondisi ini menghambat aliran udara sehingga meningkatkan pressure drop serta menurunkan *air velocity* dan *flow rate* yang disuplai ke ruang terkondisi. Menurut *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning engineers (ASHRAE)*,

kinerja *filter* dievaluasi berdasarkan efisiensi penangkapan partikulat dan penurunan tekanan melalui ASHRAE Standard 52.2. Standar ini menggunakan parameter *Minimum Efficiency Reporting Value* (MERV), di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan filtrasi yang lebih baik, namun juga meningkatkan tahanan aliran. Akibatnya, fouling yang meningkatkan pressure drop dapat memperbesar beban kerja fan dan menurunkan efisiensi sistem.

Selanjutnya, ASHRAE Standard 62.1 merekomendasikan *filter* minimal MERV 8 untuk bangunan umum, dengan nilai lebih tinggi pada lingkungan berpolusi. Pemilihan filter harus disesuaikan dengan karakteristik partikulat agar efektif menyaring debu tanpa mengganggu performa sistem. Praktiknya, kombinasi *pre-filter* (1–2 inch) dan *medium filter* (2–4 inch) digunakan untuk mengurangi fouling dan memperpanjang umur pakai filter utama. 1 Inchi jika dirubah dalam skala cm ialah 2,5 cm. Secara nasional, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 48 Tahun 2016 menekankan pentingnya pengendalian kualitas udara dalam ruang, termasuk partikulat tersuspensi. Oleh karena itu, *fouling* pada *filter* tidak hanya berdampak pada kinerja AHU, tetapi juga pada kualitas udara. Dengan demikian, pemantauan akumulasi partikulat menjadi penting untuk menjaga performa sistem dan memenuhi standar yang berlaku.

5. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep jaringan perangkat fisik pada saat ketika kita menyambungkan sesuatu (*things*) yang tidak dioperasikan oleh manusia ke internet (Afdhaluddin & Palingga, 2023). Konsep IoT mengacu pada keterhubungan berbagai objek fisik yang dilengkapi kemampuan komunikasi digital, seperti sensor, perangkat elektronik, kendaraan, maupun mesin industri. Melalui teknologi ini, perangkat-perangkat tersebut dapat terhubung ke jaringan internet sehingga mampu melakukan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi langsung manusia (Zulkifli Nusri, 2022). Mekanisme kerjanya dimulai ketika sensor

mendeteksi kondisi atau parameter tertentu, misalnya suhu, kelembapan, atau tingkat keasaman (pH), kemudian hasil pengukuran tersebut dikonversi menjadi data dalam bentuk digital.

Data yang telah diperoleh selanjutnya dikirimkan melalui media komunikasi, seperti jaringan nirkabel, Bluetooth, atau jaringan seluler, menuju sistem pengolahan data yang umumnya berbasis komputasi awan (Firmando Saragih dkk., 2024). Pada tahap ini, data diproses dan dianalisis sehingga menghasilkan informasi yang dapat digunakan untuk pemantauan maupun pengambilan keputusan. Informasi tersebut kemudian disajikan kepada pengguna melalui antarmuka digital, seperti aplikasi atau dashboard pemantauan. Dengan cara kerja tersebut, IoT memungkinkan pengawasan jarak jauh, pengoperasian sistem secara otomatis, serta pengambilan keputusan yang didasarkan pada data aktual secara langsung.

6. Kerusakan pada *Air Handling Unit*

Kerusakan pada *Air Handling Unit (AHU)* merupakan bentuk kegagalan sistem tata udara yang dapat terjadi akibat faktor mekanis, operasional, maupun kurang optimalnya pemeliharaan. Secara umum, kerusakan AHU dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu kerusakan mekanis dan kerusakan fungsional. Kerusakan mekanis berkaitan dengan gangguan pada komponen fisik seperti *fan blower*, motor listrik, *bearing*, *pulley*, *belt*, dan casing. Sementara itu, kerusakan fungsional merujuk pada penurunan kinerja sistem yang ditandai dengan tidak tercapainya kapasitas aliran udara, penurunan efektivitas pendinginan, atau ketidakstabilan temperatur ruangan (Ikhsan Ramadhan dkk., 2021). Menurut *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning engineers (ASHRAE)* dalam *Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) Systems and Equipment Handbook*, beberapa bentuk kerusakan yang umum terjadi pada AHU meliputi:

- a. Penurunan kinerja fan dan motor
Gangguan pada *fan blower* dapat berupa ketidakseimbangan *impeller (unbalance)*, keausan *bearing*, atau ketegangan belt yang tidak sesuai. Kondisi ini dapat meningkatkan getaran dan beban motor sehingga menurunkan efisiensi distribusi udara.
- b. *Fouling* pada *filter* dan *coil*
Akumulasi debu pada *filter* dan *fin coil* menyebabkan peningkatan tahanan aliran udara (*pressure drop*). Akibatnya, laju aliran udara menurun dan kemampuan perpindahan panas pada *coil* menjadi tidak optimal. Jika tidak ditangani, kondisi ini dapat meningkatkan konsumsi energi serta mempercepat keausan komponen.
- c. Kebocoran dan kerusakan struktur *casing*
Kebocoran pada panel atau sambungan *casing* dapat mengakibatkan kehilangan tekanan statis dan mengurangi efektivitas sistem. Dalam jangka panjang, distribusi tekanan yang tidak merata juga dapat menimbulkan deformasi struktur unit.
- d. Gangguan sistem kontrol
Kerusakan sensor suhu, aktuator damper, atau sistem kontrol otomatis dapat menyebabkan sistem tidak mampu mempertahankan parameter operasi sesuai set point, sehingga berdampak pada kenyamanan termal ruangan.

7. Partikulat Debu pada *Air Handling Unit*

Partikulat debu merupakan partikel padat berukuran sangat kecil yang tersuspensi di udara dan berpotensi terakumulasi pada komponen sistem tata udara, khususnya *filter* dan *fin coil Air Handling Unit* (Cai dkk., 2020). Dalam konteks operasional AHU, keberadaan partikulat debu menjadi parameter penting karena penumpukan partikel dapat meningkatkan tahanan aliran udara (*pressure drop*), menurunkan nilai kecepatan aliran (*air velocity*), serta mengurangi kapasitas suplai udara ke ruang terkondisi (Rahma dkk., 2023). Akumulasi yang berlangsung secara terus-menerus juga dapat menurunkan efektivitas perpindahan panas pada coil sehingga

berdampak pada kestabilan temperatur ruangan.

Sebagai acuan regulatif, Pemerintah Republik Indonesia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara menetapkan bahwa konsentrasi maksimum partikulat PM₁₀ (partikel dengan diameter $\leq 10 \mu\text{m}$) di udara ambien adalah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ketentuan tersebut menjadi dasar dalam pengendalian mutu udara guna melindungi kesehatan serta menjaga kualitas lingkungan. Berdasarkan hasil observasi lapangan pada Terminal 1 Bandar Udara Internasional Juanda, pemantauan tingkat kekotoran AHU hingga saat ini masih dilakukan melalui inspeksi visual oleh teknisi. Penilaian kondisi *filter* dan *fin coil* umumnya didasarkan pada pengamatan langsung terhadap tingkat penumpukan debu tanpa didukung pengukuran konsentrasi partikulat secara kuantitatif menggunakan instrumen terstandar.

8. Kecepatan Putar pada Fan Blower

Kecepatan putar fan blower adalah jumlah putaran impeller dalam satu menit yang dinyatakan dalam satuan *Revolutions Per Minute (RPM)* dan digunakan sebagai indikator kinerja mekanis sistem distribusi udara pada *Air Handling Unit (AHU)* (Diana dkk., 2021). Menurut ASHRAE, performa kipas dalam sistem HVAC ditentukan oleh hubungan antara kecepatan putar, tekanan, dan debit udara yang dihasilkan, sehingga perubahan RPM akan memengaruhi kapasitas aliran udara digunakan. Secara operasional, nilai RPM yang berada dalam rentang spesifikasi menunjukkan bahwa blower bekerja normal. Sebaliknya, penyimpangan kecepatan putar dapat menandakan adanya peningkatan beban akibat hambatan aliran, ketidakseimbangan *impeller*, atau gangguan mekanis lainnya. Oleh karena itu, pengukuran RPM menjadi parameter penting dalam evaluasi kondisi kerja AHU untuk memastikan sistem mampu mendistribusikan udara sesuai kapasitas desain.



Gambar II. 3 Pengukuran Nilai RPM Menggunakan Tachometer

(Sumber : Dokumentasi Peneliti, 2026)

9. Rancang Bangun

Rancang bangun merupakan suatu proses pengembangan sistem yang diawali dari tahap perencanaan, perancangan, pengujian, hingga penyempurnaan secara bertahap untuk menghasilkan sistem yang mampu merepresentasikan kondisi operasional secara nyata. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi potensi kesalahan desain serta kelemahan fungsi sebelum sistem diimplementasikan pada skala yang lebih luas (Masaid dkk., 2024). Dalam konteks pengembangan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT), sistem *monitoring* dirancang untuk mendukung proses akuisisi, pengiriman, dan pemantauan data secara *real time* melalui jaringan internet (Azizi & Arinal, 2023).

Konsep rancang bangun menekankan pada integrasi antara sensor, mikrokontroler, serta platform aplikasi sebagai suatu kesatuan sistem yang mampu menunjang pengambilan keputusan berbasis data (Pakpahan, 2025). Berdasarkan landasan tersebut, penelitian ini berfokus pada rancang bangun Sistem Peringatan Dini berbasis IoT untuk monitoring jarak jauh tingkat kekotoran dan *kinerja Air Handling Unit (AHU)* melalui aplikasi pada Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya. Adapun

komponen dalam rancang bangun sistem pada penelitian ini meliputi sebagai berikut:

a. Arduino ESP-32



Gambar II. 4 Arduino ESP 32

(Sumber : <https://www.sinauprogramming.com/2024/06/cara-install-board-esp32-ke-arduino-ide.html>)

ESP-32 merupakan sebuah modul mikrokontroler dengan fitur mode ganda yakni WiFi dan bluetooth serta satu prosesor lainnya untuk menjalankan aplikasi (Nizam dkk., 2022). Dilengkapi dengan memori RAM yang cukup besar untuk menyimpan data yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam membuat berbagai sistem aplikasi dan proyek berbasis *Internet of Things* (IoT). ESP-32 adalah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya.

ESP32 terdapat inti CPU serta *Wi-Fi* yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, dan dukungan terhadap *Bluetooth 4.2*, serta konsumsi daya yang rendah (Agustine Cahyaningtyas & Stefanie, 2023). ESP32 adalah modul mikrokontroler terintegrasi yang memiliki fitur lengkap dan kinerja tinggi. Modul ini mampu menyambungkan perangkat ke jaringan Internet dengan mudah. ESP32 dapat digunakan dalam proyek-proyek yang membutuhkan pemrosesan sinyal analog dan perangkat I/O digital. Modul ini mudah digunakan dan tersedia dalam

bentuk modul terpisah atau papan sirkuit terpadu (PCB) yang siap digunakan. Terdapat dua CPU yang masing masing memiliki tingkat kecepatan 80 MHz dan 160 MHz (Nizam dkk., 2022).

Selain itu, ESP32 juga memiliki banyak perangkat tambahan seperti ADC, DAC, I2C, I2S, SPI, dan UART untuk berbagai macam aplikasi. ESP32 memiliki fitur *deep sleep* untuk menghemat daya dengan mematikan modul saat tidak digunakan. ESP32 juga memiliki modul DSP untuk melakukan pemrosesan sinyal secara cepat dan efisien (Handayani dkk., 2022). Terdapat memori sebesar 520 KB untuk menyimpan program dan data yang diperlukan. Mudah digunakan dan tersedia library yang dapat digunakan untuk memudahkan mengembangkan aplikasi. Modul ini dapat diprogram dengan bahasa pemrograman C atau C++ (Sepudin & Abdullah, 2022).

b. Sensor Anemometer



Gambar II. 5 Sensor Anemometer

(Sumber : <https://www.electronicclinic.com/arduino-anemometer-measure-wind-speed-using-wind-speed-sensor/>)

Sensor anemometer merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin berdasarkan pergerakan mekanik yang dihasilkan oleh hembusan udara. Pada tipe cup anemometer, putaran baling-baling akibat aliran angin akan menghasilkan perubahan sinyal

yang kemudian dideteksi sensor dan dikonversi menjadi data kecepatan angin. Sinyal tersebut selanjutnya diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan informasi pengukuran secara digital (Air Langga dkk., 2023). Menurut *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* dalam sistem tata udara, anemometer berperan penting untuk menentukan kecepatan udara, menghitung laju aliran volumetrik, serta mengevaluasi kinerja distribusi udara pada unit pengolah udara.

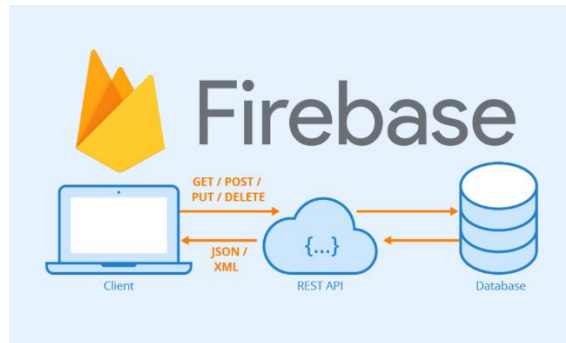
Selain itu menurut *Fundamentals of Renewable Energy Processes* ketelitian pengukuran dipengaruhi oleh karakteristik aliran, posisi pemasangan sensor, dan respons elemen penginder. Selain itu, pemilihan jenis anemometer harus disesuaikan dengan kondisi pengukuran dan kebutuhan resolusi data agar hasil yang diperoleh representatif terhadap kondisi aktual, sebagaimana dibahas dalam *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Perkembangan teknologi sistem akuisisi data memungkinkan sensor anemometer terintegrasi dengan mikrokontroler untuk pemantauan kecepatan udara secara *real-time*, sehingga mendukung evaluasi kinerja sistem ventilasi secara lebih efektif dan berkelanjutan (Barus dkk., 2023).

Tabel II. 1 Spesifikasi Sensor Anemometer

Spesifikasi	Sensor Anemometer
Dimensi	103 (p) x 38 (l) x 11 (D) mm 52g
Kisaran kecepatan angin	0 - 30 m/s
Kisaran suhu operasi	0 - 10 - 45 C , 14 - 113f
Ketelitian kecepatan angin	+/-5 %
Ketelitian termometer	± 2°C
Daya	1 x 3V baterai

Sumber : (Angela dkk., 2021)

c. *Firebase*



Gambar II. 6 Firebase

(Sumber : <https://firebase.google.com/?hl=id>)

Firebase merupakan layanan berbasis cloud yang menyediakan fitur *realtime database* untuk menyimpan dan menyinkronkan data secara otomatis antar perangkat yang terhubung melalui jaringan internet. Data yang dikirim dari aplikasi atau perangkat terlebih dahulu disimpan pada *database cloud*, kemudian disinkronkan secara *real-time* ke perangkat lain yang terhubung dalam sistem (Nur Ramadan & Ganda Permana, 2017). Dalam implementasi sistem *Internet of Things* (IoT), *Firebase* memungkinkan komunikasi data melalui internet, sehingga perangkat seperti mikrokontroler dapat mengambil atau memperbarui data secara kontinu. Sistem ini mendukung proses *monitoring* dan pengendalian jarak jauh karena data yang dikirimkan dari aplikasi atau sensor dapat disimpan dan diakses kembali secara *real-time* melalui jaringan (Mahendra & Winardi, 2023).

d. *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*



Gambar II. 7 MQTT

(Sumber : <https://www.wallarm.com/what/mqtt-concept>)

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi data machine-to-machine (M2M) yang berada pada layer aplikasi dan bersifat lightweight message, dengan ukuran header pesan yang kecil yaitu hanya 2 byte (Sabastian Pasaribu dkk., 2024). Karakteristik ini memungkinkan MQTT bekerja secara efisien pada lingkungan dengan keterbatasan bandwidth dan sumber daya listrik. MQTT menggunakan mekanisme komunikasi *publish/subscribe*, di mana publisher mengirimkan pesan berdasarkan topik tertentu dan subscriber menerima pesan sesuai topik yang telah *disubscribe*, sehingga proses pengiriman dan penerimaan data menjadi lebih fleksibel dan terstruktur (Rochman dkk., 2017).

Pola komunikasi tersebut memungkinkan terjadinya pemisahan peran antara pengirim dan penerima pesan (*decoupling*), baik dari sisi waktu, lokasi, maupun sinkronisasi proses. Dengan demikian, sistem tidak bergantung pada koneksi simultan antara kedua pihak, sehingga meningkatkan fleksibilitas arsitektur jaringan (Mulyadi dkk., 2022). Selain itu, penggunaan topik yang bersifat hierarkis memberikan kemudahan dalam pengelolaan distribusi data serta mendukung skalabilitas sistem IoT. Karakteristik ini menjadikan MQTT sangat sesuai diterapkan pada sistem *monitoring* dan kontrol berbasis mikrokontroler, terutama pada lingkungan yang memerlukan efisiensi transmisi data serta keandalan komunikasi.

e. *Sensor debu GP2Y1010AU0F*



Gambar II. 8 Sensor debu GP2Y1010AU0F

(Sumber <https://www.makerguides.com/dust-sensor-gp2y1010au0f-with-arduino/>)

Sensor debu GP2Y1010AU0F merupakan sensor partikulat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi PM10 dengan metode optik. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi intensitas cahaya yang dipantulkan oleh partikel debu di dalam ruang deteksi, kemudian menghasilkan sinyal keluaran berupa tegangan analog yang selanjutnya dikonversi menjadi nilai konsentrasi PM10 melalui formula kalibrasi dari pabrikan (Siti dkk., 2022). Pada perancangan alat ukur, sensor ini dioperasikan dengan bisa membaca partikulat debu sampai $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan datanya diproses menggunakan mikrokontroler untuk ditampilkan serta disimpan sebagai data monitoring kualitas udara GP2Y1010AU0F termasuk dalam kategori sensor partikulat berbasis prinsip hamburan cahaya (*light scattering*) (Purbakawaca dkk., 2017).

Ketika partikel debu dengan ukuran tertentu melewati ruang sensor, sumber cahaya internal akan dipantulkan oleh partikel tersebut dan diterima oleh fotodetektor. Besarnya intensitas cahaya yang terdeteksi berbanding lurus dengan konsentrasi partikulat di udara. Sinyal analog yang dihasilkan kemudian dikalibrasi untuk memperoleh nilai konsentrasi dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Alamsyah dkk., 2025). Keunggulan

sensor ini terletak pada ukurannya yang kompak, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuannya untuk diintegrasikan dengan sistem mikrokontroler dalam aplikasi monitoring kualitas udara secara *real-time*. Selain itu, berdasarkan data sheet dari *Sharp*, sensor ini dapat bertahan dalam daerah kelembapan sebesar 90%. Oleh karena itu, sensor GP2Y1010AU0F banyak dimanfaatkan dalam pengembangan instrumen pemantauan PM10 berbiaya rendah yang portabel dan mudah dioperasikan .

f. *Liquid Crystal Display (LCD)*



Gambar II. 9 Liquid Crystal Display

(Sumber :

<https://www.aksesoriskomputerlampung.com/2021/01/lcd-i2c-16x2-blue.html>)

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan perangkat penampil (*display*) yang berfungsi untuk menampilkan informasi dalam bentuk karakter, angka, maupun simbol melalui mekanisme kerja kristal cair yang dikendalikan oleh sinyal listrik (Baihaqi dkk., 2026). LCD banyak digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki konsumsi daya yang relatif rendah serta mampu menampilkan data secara *real-time*. Dalam implementasinya, LCD dihubungkan dengan mikrokontroler melalui jalur data dan jalur kontrol untuk mengatur proses pengiriman instruksi maupun data karakter yang akan ditampilkan (Suhadi dkk., 2019) Secara teknis, LCD karakter umumnya menggunakan pengendali (*controller*) seperti HD44780 yang memungkinkan komunikasi dalam mode 4-bit

maupun 8-bit, tergantung kebutuhan efisiensi pin pada mikrokontroler (Lesmana dkk., 2023).

Data yang dikirimkan akan diproses oleh modul pengendali internal untuk mengatur posisi kursor, penulisan karakter, serta konfigurasi tampilan. Keunggulan LCD terletak pada kestabilan tampilan, kemudahan integrasi dengan sistem *embedded*, serta kemampuannya memberikan umpan balik visual terhadap parameter hasil pengukuran (Darmala dkk., 2023). Oleh karena itu, LCD banyak dimanfaatkan sebagai media antarmuka (*interface*) dalam sistem monitoring untuk menampilkan nilai sensor secara langsung tanpa memerlukan perangkat tambahan.

g. *Mit App Inventor*



Gambar II. 10 Mit App Inventor

(Sumber : <https://apps.apple.com/tr/app/mit-app-inventor/id1422709355>)

MIT App Inventor merupakan *platform* pengembangan aplikasi berbasis web yang bersifat open source dan dikelola oleh *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*. Lingkungan ini memungkinkan pengguna, termasuk yang tidak memiliki latar belakang pemrograman, untuk membangun aplikasi Android melalui pendekatan visual berbasis blok (*block-based programming*). Proses perancangan aplikasi dilakukan dengan metode drag-and-drop pada antarmuka grafis, sehingga pengguna tidak perlu menuliskan sintaks kode secara konvensional (Hasan dkk., 2017). Secara struktural, *MIT*

App Inventor terdiri atas dua komponen utama, yaitu *Designer* dan *Block Editor*. *Designer* digunakan untuk merancang tampilan antarmuka serta mengatur properti komponen, sedangkan *Block Editor* berfungsi untuk menyusun logika program melalui penyusunan blok-blok instruksi yang saling terhubung (Efendi dkk., 2023).

Sistem ini juga menyediakan emulator maupun koneksi langsung ke perangkat Android untuk proses pengujian aplikasi secara *real-time*. Keunggulan pendekatan visual tersebut terletak pada kemudahan pemahaman alur logika program, efisiensi waktu pengembangan, serta kemampuannya mendukung proses prototyping secara cepat (Putri dkk., 2024). Oleh karena itu, *MIT App Inventor* banyak dimanfaatkan dalam pengembangan aplikasi edukasi, sistem monitoring, maupun purwarupa aplikasi berbasis IoT karena mampu mempercepat integrasi antara antarmuka pengguna dan sistem pengolahan data.

B. Rencana *Layout* Pemasangan di Lokasi Sebenarnya



Gambar II. 11 Layout Rencana Lokasi Pemasangan
(Sumber : *Building Automation System (BAS) Mechanical* Juanda)

Keterangan :

1. *First Floor 1* : AHU – B / SCP
2. *Ground Floor 1* : AHU – C / GH
3. *Ground Floor 2* : AHU – C / 1M
4. *Ground Floor 3* : AHU – B / ASC
5. *Ground Floor 4* : AHU – B / BL 1

Gambar diatas menunjukkan rencana tata letak pemasangan sistem monitoring pada kondisi aktual di lapangan. Secara konseptual, perangkat yang dirancang ditujukan untuk dapat diimplementasikan pada seluruh unit *Air Handling Unit (AHU)* yang beroperasi di Terminal 1 Bandara Internasional Juanda Surabaya. Berdasarkan data lapangan, Terminal 1 memiliki luas bangunan $\pm 103.522 \text{ m}^2$ dengan total 53 unit AHU yang tersebar di beberapa zona pelayanan. Namun demikian, tahap implementasi awal difokuskan pada AHU BL 01 yang berada di area Terminal 1A. Terminal 1A sendiri memiliki 14 unit AHU, termasuk AHU BL 01.

Pemilihan unit ini didasarkan pada pertimbangan teknis dan operasional, di mana AHU BL 01 tercatat sebagai unit yang paling sering mengalami gangguan kinerja dibandingkan unit lainnya. Selain itu, secara spasial, lokasi AHU BL 01 berada relatif jauh dari ruang mekanikal (*mechanical base*) dengan jarak kurang lebih 4 km, sehingga proses inspeksi dan pemantauan manual menjadi kurang efisien. Kondisi tersebut menyebabkan keterlambatan dalam deteksi awal potensi gangguan, terutama yang berkaitan dengan kebersihan *filter*, akumulasi partikulat, maupun penurunan performa sistem.

Oleh karena itu, pemasangan sistem monitoring berbasis sensor dan *Internet of Things (IoT)* pada AHU BL 01 menjadi prioritas untuk meningkatkan efektivitas pengawasan jarak jauh (*remote monitoring*). Perangkat akan dipasang pada area yang terintegrasi langsung dengan sistem kerja AHU BL 01, sehingga mampu merekam parameter

operasional secara *real-time* dan mengirimkan data ke ruang teknisi tanpa bergantung pada kehadiran fisik petugas di lokasi. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem yang diterapkan pada AHU BL 01 dapat menjadi model implementasi untuk pengembangan lebih lanjut pada 50 unit AHU lainnya di Terminal 1.

C. Kajian Penelitian Relevan Terdahulu

Tabel II. 2 Penelitian Terdahulu yang Relevan

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Persamaan	Perbedaan
1.	(Made & Parwita, 2024), Perancangan Sistem <i>Monitoring HVAC</i> Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)	Kedua penelitian sama-sama menerapkan teknologi <i>Internet of Things (IoT)</i> untuk memantau kinerja sistem <i>Air Conditioning (AC)</i> secara <i>real-time</i> melalui sensor dan mikrokontroler, dengan tujuan meningkatkan efektivitas pengawasan operasional.	Penelitian yang dilakukan (Made & Parwita, 2024) berfokus pada pemantauan parameter dasar AC secara umum, sedangkan penelitian ini secara khusus mengembangkan sistem peringatan dini pada <i>Air Handling Unit (AHU)</i> dengan mempertimbangkan faktor partikulat debu dan kondisi operasional sebagai dasar pemeliharaan <i>preventif</i> di lingkungan bandar udara.
2.	(Pratama dkk., 2023), Perancangan Dan Implementasi Protokol MQTT Pada Sistem Parkir Cerdas Berbasis IoT	Kedua penelitian sama-sama menggunakan teknologi IoT dengan protokol MQTT untuk	Penelitian tersebut diterapkan pada sistem parkir untuk mendeteksi keberadaan kendaraan,

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Persamaan	Perbedaan
		mengirimkan data sensor secara <i>real-time</i> melalui arsitektur <i>publish-subscribe</i> .	sedangkan penelitian ini difokuskan pada monitoring <i>Air Handling Unit (AHU)</i> pada sistem <i>Air Conditioning (AC)</i> dengan pendekatan peringatan dini guna mendukung pemeliharaan preventif di lingkungan bandar udara.
3.	(Air Langga dkk., 2023), Penerapan Sistem <i>Monitoring</i> Indikator Kecepatan dan Arah Angin di Bandar Udara: <i>Internet of Things</i> , Desain dan Sensor	Kedua penelitian sama-sama memanfaatkan sensor untuk mengukur parameter fisik berupa kecepatan aliran udara (<i>air velocity</i>) sebagai bagian dari sistem <i>monitoring</i> berbasis mikrokontroler.	Pada penelitian dalam jurnal tersebut, sensor anemometer digunakan sebagai alat ukur parameter aliran udara dalam konteks pengujian atau <i>monitoring</i> sistem secara umum atau lebih tepatnya hanya digunakan untuk arah angin pada bandar udara. Sementara itu, pada penelitian ini sensor anemometer diintegrasikan dalam sistem peringatan dini pada <i>Air Handling Unit (AHU)</i> untuk mendeteksi penurunan performa distribusi udara yang

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Persamaan	Perbedaan
			berpotensi memengaruhi kenyamanan termal dan efisiensi sistem HVAC di lingkungan bandar udara.
4.	(Siti dkk., 2022), Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i> Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi Covid-19 Berbasis Android Menggunakan Sensor <i>Sharp Gp2y1010au0f</i>	Kedua penelitian sama-sama menggunakan sensor debu GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi konsentrasi partikulat di udara serta menerapkan konsep <i>Internet of Things (IoT)</i> berbasis <i>mikrokontroler ESP32</i> guna mendukung monitoring kondisi udara secara <i>real-time</i> dan jarak jauh.	Perbedaan terletak pada objek, tujuan, dan implementasi sistem. Penelitian pertama diterapkan pada ruang isolasi COVID-19 dengan tujuan memantau kualitas udara ruangan, sedangkan penelitian kedua diaplikasikan pada <i>Air Handling Unit (AHU)</i> di bandar udara untuk mendeteksi tingkat kekotoran <i>filter</i> dan menilai kinerja sistem pendingin udara sebagai sistem peringatan dini.
5.	(Android dkk., 2022), Rancang Bangun Alat <i>Monitoring</i> Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan <i>Firebase</i> dan Aplikasi <i>Android</i>	Kedua penelitian sama-sama menerapkan konsep <i>Internet of Things (IoT)</i> dengan memanfaatkan <i>Firebase</i> sebagai basis data <i>real-time</i> serta aplikasi berbasis <i>Android</i> untuk pemantauan	Penelitian sebelumnya berfokus pada monitoring daya listrik dan parameter kelistrikan, sedangkan penelitian ini diarahkan pada <i>monitoring</i> kinerja <i>Air Handling Unit</i>

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Persamaan	Perbedaan
		sistem secara jarak jauh.	(AHU) yang meliputi tingkat kekotoran udara dan performa sistem pendingin, serta dikembangkan sebagai sistem peringatan dini.
6.	(Fahri dkk., 2021), Rancangan Sistem Otomatis Start Dan <i>Monitoring Air Handling Unit</i> Terminal 2 Bandar Udara Internasional Soekarno - Hatta	Kedua penelitian sama-sama membahas <i>Air Handling Unit (AHU)</i> dengan tujuan melakukan <i>monitoring</i> operasional secara jarak jauh guna meningkatkan efektivitas pengendalian sistem tata udara.	Penelitian terdahulu berfokus pada sistem otomatis <i>start</i> dan <i>monitoring</i> status operasi AHU berbasis PLC, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada <i>monitoring</i> tingkat kekotoran dan kinerja AHU berbasis IoT menggunakan <i>Firebase</i> dan aplikasi, sebagai sistem peringatan dini.
7.	(Azis, 2025), Rancangan Sistem <i>Monitoring</i> Siswa Berbasis Web Dengan Metode Waterfall	Kedua penelitian sama-sama membahas pengembangan sistem <i>monitoring Air Handling Unit (AHU)</i> berbasis <i>Internet of Things (IoT)</i> untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kinerja	Penelitian terdahulu menggunakan metode <i>Waterfall</i> dengan fokus pada pengembangan perangkat lunak <i>monitoring</i> , sedangkan penelitian ini menerapkan metode <i>Research and Development (R&D)</i> model <i>Borg & Gall</i>

No.	Penelitian, Tahun, Judul	Persamaan	Perbedaan
		sistem tata udara secara <i>real-time</i> .	yang menitikberatkan pada pengembangan, pengujian, dan penyempurnaan rancang bangun sistem <i>monitoring</i> dan peringatan dini AHU secara terintegrasi.

(Sumber : Peneliti, 2026)

Pada penelitian ini, penulis menyusun variabel penelitian berdasarkan tujuh penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan dalam perancangan dan pengembangan sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk *monitoring* jarak jauh tingkat kekotoran dan kinerja *Air Handling Unit* (AHU) melalui aplikasi di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya. Hasil sintesis tersebut digunakan untuk menentukan parameter pemantauan, merancang arsitektur sistem, serta mengembangkan rancang bangun yang *terintegrasi* dan *aplikatif*.