

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan disusun untuk menjawab rumusan masalah mengenai rancangan sistem, kendali suara, mode pengendalian perangkat, evaluasi sensor, notifikasi dan data logging, serta responsivitas dan reliabilitas sistem.

6.1.1 Keberhasilan Implementasi Perangkat Keras dan Sensor

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. *ESP32* berhasil diintegrasikan dengan sensor *DHT22*, *MQ-135*, *BME280*, *LCD 20×4*, modul *relay*, lampu, dan kipas angin dalam satu prototipe fisik sistem *smart room*.
2. *DHT22* mampu membaca suhu dan kelembapan, *MQ-135* mampu mendeteksi perubahan indikator kualitas udara, sedangkan *BME280* mampu membaca tekanan udara di dalam ruangan. Hasil pembacaan dapat ditampilkan secara lokal melalui *LCD* dan dikirimkan menuju platform *Blynk*.
3. Berdasarkan hasil perbandingan dengan alat referensi, rata-rata kesalahan pembacaan suhu *DHT22* adalah 0,73%, kelembapan *DHT22* sebesar 1,95%, estimasi PPM *MQ-135* sebesar 2,98%, dan tekanan *BME280* sebesar 0,05%. Rata-rata deskriptif dari keempat parameter tersebut adalah 1,43%. Pembacaan *DHT22* dan *BME280* menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap alat

referensi. MQ-135 yang telah menjalani preheating selama 12 jam dan menggunakan nilai R_0 sebesar 199,885 mampu menghasilkan klasifikasi BAIK, KURANG BAIK, dan BURUK dengan tingkat kesesuaian kategori sebesar 100%. Namun, MQ-135 tetap digunakan sebagai indikator relatif perubahan kondisi udara dan bukan sebagai alat ukur selektif satu jenis gas.

4. Penempatan seluruh rangkaian di dalam *electrical enclosure* berhasil membuat susunan perangkat lebih terorganisasi serta mengurangi risiko sentuhan langsung terhadap sambungan rangkaian selama pengujian.

6.1.2 Efektivitas Otomatisasi dan Kendali Perangkat

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem berhasil menerapkan empat mode pengendalian perangkat, yaitu:

1. kendali manual melalui tombol pada aplikasi *Blynk*;
2. kendali suara melalui *Google Assistant* atau *Google Home*, Notifikasi *Android*, *MacroDroid*, dan *Blynk External API*;
3. kendali berdasarkan jadwal, yaitu lampu menyala pada pukul 18.00 dan mati pada pukul 05.00; dan
4. kendali otomatis berdasarkan suhu, yaitu kipas menyala ketika suhu mencapai atau melebihi 31 °C dan pemacu otomatis diatur ulang ketika suhu turun hingga 30 °C atau lebih rendah.

Fungsi *manual override* juga berhasil dijalankan. Perintah manual dari *Blynk* dapat mengambil alih kondisi kipas yang sebelumnya diaktifkan oleh pemicu otomatis berbasis suhu. Pengambilalihan tersebut tidak mengunci keseluruhan sistem karena pembacaan sensor, tampilan *LCD*, komunikasi jaringan, dan pencatatan data tetap berjalan. Setelah status *override* dilepaskan, sistem dapat kembali menjalankan aturan otomatis.

Secara keseluruhan, penerapan empat mode kendali membuat sistem lebih fleksibel karena perangkat dapat dioperasikan berdasarkan pilihan pengguna, perintah suara, waktu, maupun kondisi lingkungan.

6.1.3 Keandalan Integrasi Awan dan Dokumentasi Data

Komunikasi dua arah antara *ESP32* dan platform *Blynk* berhasil diimplementasikan. Data suhu, kelembapan, tekanan, dan indikator kualitas udara dapat ditampilkan pada *dashboard*, sedangkan perintah kendali lampu dan kipas dapat diterima oleh *ESP32*. Status aktuator pada *dashboard* juga dapat diperbarui mengikuti kondisi perangkat yang sebenarnya.

Integrasi *Google Apps Script* dan *Google Sheets* berhasil digunakan sebagai mekanisme *data logging*. Pada enam kali pengujian dalam kondisi jaringan stabil, seluruh permintaan berhasil menghasilkan baris baru sehingga tingkat keberhasilan pencatatan data mencapai **100%**.

Ketika *WiFi* terputus, data yang telah tersimpan pada *Google Sheets* tetap utuh. Setelah jaringan kembali tersedia, *ESP32* dapat melakukan koneksi ulang secara otomatis dan melanjutkan proses pencatatan tanpa memerlukan *reset* manual. Dengan demikian, integrasi *cloud* telah memenuhi kebutuhan pemantauan dan dokumentasi data pada sistem yang dikembangkan.

6.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan teknis dan hasil evaluasi sistem, beberapa rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya disampaikan pada bagian berikut.

6.2.1 Pengembangan Fitur Kontrol dan Antarmuka

1. Menambahkan aktuator lain, seperti AC, *air purifier*, pelembap udara, dan kipas ventilasi keluar. Penambahan tersebut dapat membuat sistem tidak hanya memberikan peringatan, tetapi juga melakukan tindakan langsung untuk memperbaiki kondisi ruangan.
2. Mengembangkan aplikasi mandiri berbasis *Android* atau *iOS* agar fungsi sistem tidak sepenuhnya bergantung pada *Blynk*. Aplikasi dapat dilengkapi grafik historis, pengaturan ambang, manajemen jadwal, notifikasi, dan pemilihan mode kendali.
3. Mengembangkan integrasi suara yang lebih langsung agar sistem tidak bergantung pada pembacaan notifikasi *Android*. Pengembangan dapat menggunakan aplikasi *Android* khusus

atau mekanisme integrasi smart-home yang menyediakan autentikasi dan umpan balik status perangkat.

4. Menguji ketahanan *MacroDroid* terhadap optimasi baterai, perubahan format notifikasi, pergantian perangkat *Android*, dan gangguan koneksi internet dalam durasi yang lebih panjang.
5. Menambahkan pengaturan mode yang lebih jelas pada antarmuka, seperti pilihan manual, otomatis, jadwal, dan suara. Pengaturan tersebut dapat mengurangi konflik antarmode serta membantu pengguna mengetahui mode kendali yang sedang aktif.
6. Memindahkan *DHT22*, *MQ-135*, dan *BME280* ke bagian luar *enclosure* atau ruang sensor berventilasi agar pembacaan tidak dipengaruhi panas dari *ESP32*, modul *relay*, dan sumber daya.

6.2.2 Peningkatan Keandalan dan Optimasi Sistem

1. Menambahkan baterai cadangan atau *Uninterruptible Power Supply* (UPS) agar *ESP32*, sensor, dan sistem kendali lokal tetap beroperasi ketika terjadi pemadaman listrik.
2. Menambahkan media penyimpanan lokal seperti SPIFFS, EEPROM, atau kartu SD sebagai *buffer*. Data yang diperoleh ketika *WiFi* terputus dapat disimpan sementara dan dikirimkan kembali setelah jaringan pulih.
3. Menerapkan pengiriman data secara berkelompok atau *batch*. Kompresi data dapat dipertimbangkan apabila jumlah sensor,

frekuensi pengambilan data, atau jumlah perangkat meningkat secara signifikan.

4. Melakukan validasi dan kalibrasi ulang MQ-135 secara berkala melalui proses preheating, pemeriksaan kestabilan nilai R_0 , dan perbandingan dengan alat pengukur gas standar. Untuk meningkatkan selektivitas, penelitian selanjutnya dapat menggunakan sensor khusus CO₂, PM2.5, atau senyawa organik volatil..
5. Meningkatkan keamanan kelistrikan dengan menggunakan sekering atau MCB, terminal tertutup, pemisahan jalur AC dan tegangan rendah, pengikat kabel, serta *enclosure* yang memenuhi persyaratan penggunaan permanen.
6. Meningkatkan keamanan komunikasi dengan melindungi token *Blynk*, informasi *WiFi*, dan *Deployment ID Google Apps Script*. Endpoint juga dapat dilengkapi autentikasi agar tidak menerima pengiriman data dari perangkat yang tidak berwenang.
7. Mengembangkan klasifikasi kondisi cuaca menggunakan lebih banyak parameter dan data meteorologis eksternal. Tekanan udara dalam ruangan saja belum cukup untuk menghasilkan prakiraan cuaca yang akurat.