

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem smart fertigation berbasis ESP32-S3 pada jaringan irigasi tetes menggunakan Pressure Compensating Dripper (PCJ), dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem smart fertigation berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk melakukan pembacaan kondisi tanah, pengambilan keputusan, serta pengendalian pemberian air dan nutrisi. Sistem mengintegrasikan sensor soil moisture dan sensor NPK sebagai sumber informasi kondisi tanah, kemudian ESP32-S3 mengolah data tersebut untuk mengendalikan aktuator sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.
2. Sensor *soil moisture* dan sensor NPK dapat digunakan sebagai sumber data sistem setelah dilakukan proses kalibrasi. Lima sensor *soil moisture* menunjukkan respons terhadap perubahan kadar air tanah, tetapi memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dilakukan kalibrasi secara individual menggunakan metode *piecewise interpolation*. Hasil validasi *soil moisture* menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9776, sedangkan hasil kalibrasi sensor NPK pada parameter nitrogen terhadap sensor pembanding menghasilkan R^2 sebesar 0,9143.
3. Fuzzy *Logic Mamdani* berhasil diterapkan untuk menentukan durasi pemberian nutrisi secara adaptif. Sistem menggunakan nilai *error* dan *delta error* nitrogen sebagai masukan untuk menghasilkan durasi kerja pompa dan *valve* nutrisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran fuzzy berubah sesuai kondisi nitrogen yang terbaca, dengan durasi pemberian nutrisi yang dihasilkan berada pada rentang 1-10 menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak menggunakan durasi pemberian nutrisi yang tetap, tetapi menyesuaikannya berdasarkan kondisi nitrogen terhadap *setpoint*

4. Kendali fuzzy mampu mengarahkan nilai nitrogen menuju *setpoint* 120 mg/kg, tetapi belum mampu mempertahankan nilai nitrogen secara stabil di sekitar *setpoint*. Hasil pengujian pada tiga titik menunjukkan adanya *overshoot* dan fluktuasi setelah pemberian nutrisi. Hasil terbaik diperoleh pada Titik 3, dengan nilai nitrogen awal sebesar 102 mg/kg dan nilai akhir sebesar 125 mg/kg, sehingga memiliki selisih 5 mg/kg terhadap *setpoint*. Namun, pada prosesnya nilai nitrogen sempat mencapai 158 mg/kg, sehingga masih terdapat *overshoot* sebesar 38 mg/kg.
5. *Finite State Machine* (FSM) dan kendali *threshold soil moisture* berhasil menjalankan logika pengendalian sesuai rancangan. Pengujian FSM menunjukkan seluruh transisi yang diuji dapat berjalan sesuai kondisi pemicunya. Pada kendali kelembapan, penggunaan *threshold* sebesar 60% menghasilkan kondisi pompa *ON* ketika *soil moisture* berada di bawah *threshold*, sedangkan pompa *OFF* ketika *soil moisture* berada di atas *threshold*.
6. Sistem monitoring berhasil diintegrasikan dengan sistem kendali melalui komunikasi IoT. ESP32-S3 mampu mengirimkan data sistem menggunakan HTTP menuju Google Apps Script untuk proses pencatatan dan penyajian data pada spreadsheet serta dashboard berbasis web. Parameter yang dapat dimonitor meliputi data sensor, status sistem, status proses fertigasi, mode operasi, kekuatan sinyal Wi-Fi, dan *uptime*, sehingga kondisi sistem dapat diamati selama proses pengujian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan sistem yang telah diperoleh, beberapa pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter kondisi tanah lainnya, seperti pH tanah, fosfor, kalium, dan parameter pendukung lainnya sebagai masukan dalam proses pengendalian. Penambahan parameter

tersebut diharapkan dapat memberikan informasi kondisi tanah yang lebih menyeluruh sehingga keputusan pemberian air dan nutrisi dapat disesuaikan dengan kondisi aktual media tanam.

2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor debit untuk mengetahui volume air atau larutan nutrisi yang benar-benar dialirkan oleh pompa. Dengan demikian, pengendalian tidak hanya didasarkan pada durasi kerja pompa, tetapi juga dapat mempertimbangkan volume aktual yang diberikan ke jaringan irigasi.
3. Sistem dapat ditambahkan fitur *fault detection* pada perangkat keras untuk mendeteksi kondisi seperti pompa tidak bekerja, level cairan tidak mencukupi, atau gangguan komunikasi pada sensor NPK. Fitur tersebut dapat digunakan untuk menghentikan proses tertentu dan memberikan informasi gangguan sehingga kerusakan atau kesalahan operasi dapat lebih cepat diketahui.
4. Penempatan sensor kelembapan tanah dapat dikaji lebih lanjut berdasarkan distribusi air di sekitar *Pressure Compensating Dripper* (PCJ). Pengujian dapat dilakukan pada beberapa jarak dan posisi sensor untuk menentukan lokasi pengukuran yang paling representatif terhadap kondisi kelembapan media tanam.
5. Pengujian selanjutnya dapat dilakukan dalam waktu yang lebih panjang dengan variasi kondisi awal kelembapan dan kadar nitrogen, sehingga kinerja sistem tidak hanya diamati pada beberapa siklus pengujian. Pengujian jangka panjang dapat digunakan untuk mengevaluasi konsistensi respons sensor, aktuator, dan algoritma pengendalian selama sistem beroperasi.
6. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis terhadap efisiensi penggunaan air dan nutrisi dengan mencatat jumlah air serta larutan nutrisi yang digunakan selama proses fertigasi. Hasil tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara kinerja pengendalian dengan konsumsi sumber daya, sehingga pengembangan sistem tidak hanya

berorientasi pada pencapaian kondisi nutrisi tetapi juga pada efisiensi penggunaannya.