

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis sistem kontrol autofokus pada mikroskop digital, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol autofokus mikroskop digital berhasil direalisasikan melalui integrasi kamera Optilab, aplikasi Delphi dan OpenCV, mikrokontroler ESP32, penggerak makrometer dan mikrometer, serta revolver objektif 4× dan 10×. Fungsi homing, sakelar batas, pembatas posisi berbasis perangkat lunak, dan komunikasi Wi-Fi TCP dapat bekerja sesuai dengan rancangan pada seluruh kondisi yang diuji.
2. Metode Otsu dapat menentukan nilai ambang secara otomatis pada rentang 91–119 dan menghasilkan segmentasi yang secara visual dapat membedakan objek rambut dari latar belakang. Penentuan fokus dilakukan menggunakan *Focus Score* berbasis gradien dan Laplacian pada tepi objek. Sistem mampu menjalankan pemindaian makrometer, memilih objektif berdasarkan karakteristik kurva, serta menyempurnakan fokus melalui pemindaian mikrometer kasar, halus, dan verifikasi kandidat.
3. Sistem menyelesaikan seluruh 10 percobaan autofokus sehingga tingkat keberhasilan operasionalnya sebesar 100%. Pada rambut tunggal, objektif 10× dipilih pada lima percobaan dengan rata-rata *Focus Score* akhir 14,804 dan koefisien variasi 1,89%. Pada rambut banyak, objektif 4× dipilih empat kali dengan rata-rata *Focus Score* akhir 15,729 dan koefisien variasi 3,20%, sedangkan objektif 10× dipilih satu kali dengan *Focus Score* akhir 17,611. Posisi makrometer terbaik ditetapkan secara konsisten, sedangkan posisi mikrometer akhir masih bervariasi. Persentase keberhasilan tersebut menunjukkan penyelesaian proses secara operasional, bukan akurasi fokus atau keterulangan posisi mekanis terhadap acuan eksternal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, sistem telah mampu menjalankan proses autofokus sesuai dengan kondisi pengujian yang ditetapkan.

Penelitian selanjutnya dapat diarahkan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam penggunaan jangka panjang, memperluas cakupan objek pengujian, serta mengembangkan metode pencarian fokus. Beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian keandalan jangka panjang melalui pengoperasian autofokus secara berulang dalam beberapa sesi untuk mengevaluasi konsistensi hasil fokus, nilai *Focus Score*, waktu proses, dan tingkat keberhasilan sistem selama penggunaan berkelanjutan.
2. Memperluas pengujian pada berbagai jenis preparat biologis, tingkat kerapatan objek, dan variasi perbesaran untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan kinerja pada karakteristik citra yang berbeda.
3. Mengembangkan algoritma autofokus adaptif yang mampu menentukan rentang dan ukuran langkah pemindaian secara dinamis berdasarkan perubahan kurva *Focus Score*. Pengembangan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses pencarian fokus pada berbagai kondisi preparat.
4. Melakukan studi komparatif dengan membandingkan metode Otsu terhadap metode segmentasi citra lainnya serta *Focus Score* berbasis gradien–Laplacian terhadap metode pengukuran ketajaman lainnya. Perbandingan dilakukan menggunakan data, kondisi pengambilan citra, dan acuan fokus yang terstandar agar kinerja setiap metode dapat dinilai secara objektif.