

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL OTOMATIS
PERBESARAN MIKROSKOP DIGITAL BERBASIS
PENGOLAHAN CITRA DAN ESP 32

Diajukan Oleh :

Faiz Athallah Wira Raksa

40040322650009

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si

NIP. 198501252019031007

Semarang, 23 September 2026

Mengetahui,

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Semarang, 23 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN
PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL OTOMATIS
PERBESARAN MIKROSKOP DIGITAL BERBASIS
PENGOLAHAN CITRA DAN ESP 32

Disusun Oleh :

Faiz Athallah Wira Raksa

40040322650009

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada tanggal

23 September 2026

Tim Penguji,
Pembimbing

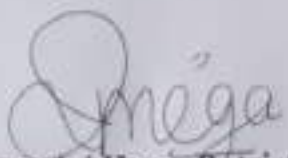

Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si
NIP. 198501252019031007

Penguji 1


Ahmad Ridlo Hanifudin T, S.Si.,
MSi

NIP. 199504152022041001

Penguji 2


Megarini Hersa Putri, S.T., M.T.
NIP. 198902142020122012

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Priyo Sasipoko, S.T., M.Eng
NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faiz Athallah Wira Raksa

NIM : 40040322650009

Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi

Judul Tugas Akhir : Pengembangan Sistem Kontrol Otomatis Perbesaran
Mikroskop Digital Berbasis Pengolahan Citra dan ESP32

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari Tugas Akhir ini terbukti mengandung plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 23 September 2026

Yang membuat pernyataan,



Faiz Athallah Wira Raksa

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengembangan Sistem Kontrol Otomatis Perbesaran Mikroskop Digital Berbasis Pengolahan Citra dan ESP32". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh bantuan, bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, kemudahan, dan kelancaran selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, kasih sayang, serta bantuan kepada penulis.
3. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
4. Bapak Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran, dan masukan selama pelaksanaan penelitian serta penyusunan laporan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pengalaman selama masa perkuliahan.
6. Rekan-rekan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi angkatan 2022 yang telah memberikan bantuan, semangat, informasi, dan dukungan selama pelaksanaan penelitian.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan dan pengembangan penelitian pada masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, peneliti, dan pihak lain yang berkepentingan, khususnya dalam pengembangan sistem kontrol otomatis, mikroskop digital, dan pengolahan citra.

Semarang, 23 September 2026



Faiz Athallah Wira Raksa

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xii
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.4.1 Manfaat Teoritis	3
1.4.2 Manfaat Praktis	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Mikroskop Optik Digital	9
2.3 Lensa Objektif Mikroskop	11
2.4 ESP 32	13
2.5 Motor Stepper NEMA 17	14

2.6 Driver Motor Stepper TB6600	16
2.7 Kamera Optilab	18
2.8 Pengolahan Citra Digital	20
2.8.1 Citra RGB	21
2.8.2 Citra Grayscale.....	21
2.8.3 Histogram Citra.....	22
2.8.4 Region of Interest (ROI)	22
2.8.5 Nilai Ketajaman Citra (Focus Score)	23
2.9 Metode Otsu	23
2.10 Evaluasi Kurva Fokus	26
2.10.1 Kualitas Relatif Kurva Fokus.....	27
2.10.2 Nilai Fokus di Sekitar Puncak.....	27
2.11 Embarcadero Delphi.....	28
2.12 Arduino IDE.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Alat dan Bahan.....	30
3.1.1 Daftar Perangkat Keras (Hardware).....	30
3.1.2 Daftar Perangkat Lunak (Software)	33
3.2 Diagram Blok dan Flowchart	34
3.2.1 Diagram Blok	34
3.2.2 Flowchart keseluruhan	35
3.3 Teknik Fabrikasi.....	37
3.3.1 Perancangan Hardware.....	38
3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak	39

3.4 Desain 3D.....	42
3.5 Rangkaian Elektrikal.....	44
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS	48
4.1 Pengujian Pergantian Lensa Objektif 4× dan 10×	48
4.2 Pengujian Sistem Otomatis	51
4.2.1 Pengujian Sistem Otomatis pada Objek Rambut Banyak.....	51
4.2.2 Pengujian Sistem Otomatis pada Objek Rambut Tunggal.....	55
4.3 Analisis Hasil Pengolahan Citra pada Pemilihan Lensa Objektif.....	59
4.3.1 Analisis Data Objek Rambut Banyak	60
4.3.2 Analisis Data Objek Rambut Tunggal	63
4.3.3 Perbandingan Keseluruhan Hasil Pemindaian	66
4.3.4 Analisis Dasar Pemilihan Lensa Objektif	68
4.4 Analisis Implementasi Program pada Sistem Kontrol Otomatis Perbesaran	72
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran.....	80
Daftar Pustaka.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mikroskop digital	10
Gambar 2.2 Lensa objektif 4× dan 10×	12
Gambar 2.3 Papan pengembangan ESP32	13
Gambar 2.4 Motor stepper NEMA 17	15
Gambar 2.5 Driver motor stepper TB6600.....	17
Gambar 3.1 Diagram blok kontrol otomatis perbesaran mikroskop digital	35
Gambar 3.2 Flowchart keseluruhan sistem	37
Gambar 3.3 Desain roda gigi mekanisme revolver	43
Gambar 3.4 Desain 3D mikroskop otomatis	43
Gambar 3.5 Rangkaian elektrikal sistem.....	45
Gambar 3.6 Desain PCB sistem kontrol.....	47
Gambar 4.1 Posisi revolver pada pergantian lensa objektif: (a) objektif 4× dan (b) objektif 10×	49
Gambar 4.2 Hasil pengujian sistem otomatis pada objek rambut banyak.....	54
Gambar 4.3 Grafik pemindaian objektif 4× dan 10× pada objek rambut banyak	55
Gambar 4.4 Hasil pengujian sistem otomatis pada objek rambut tunggal	57
Gambar 4.5 Grafik pemindaian objektif 4× dan 10× pada objek rambut tunggal	58
Gambar 4.6 Grafik Focus Score makro objektif 4× dan 10× pada objek rambut banyak	62
Gambar 4.7 Grafik nilai Otsu objektif 4× dan 10× pada objek rambut banyak ..	62
Gambar 4.8 Grafik Focus Score makro objektif 4× dan 10× pada objek rambut tunggal.....	64
Gambar 4.9 Grafik nilai Otsu objektif 4× dan 10× pada objek rambut tunggal..	65
Gambar 4.10 Hasil pemilihan lensa objektif 4× dan 10× pada aplikasi Delphi ..	70
Gambar 4.11 Hasil pemindaian makro pada program: (a) objektif 4× dan (b) objektif 10×	75
Gambar 4.12 Hasil evaluasi program dengan objektif 4× sebagai lensa terpilih	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan pustaka.....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi papan pengembangan ESP32.....	14
Tabel 2.3 Spesifikasi motor stepper NEMA 17.....	16
Tabel 2.4 Spesifikasi driver motor stepper TB6600.....	18
Tabel 2.5 Spesifikasi kamera Optilab.....	19
Tabel 3.1 Spesifikasi komponen yang digunakan dan fungsi	31
Tabel 3.2 Daftar perangkat lunak yang digunakan.....	33
Tabel 3.3 Konfigurasi pin sistem kontrol pergantian lensa objektif	45
Tabel 4.1 Hasil pengujian pergantian lensa objektif 4× dan 10×.....	49
Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem otomatis pada objek rambut banyak	51
Tabel 4.3 Perbandingan hasil pemindaian makro objektif 4× dan 10× pada objek rambut banyak.....	53
Tabel 4.4 Hasil pengujian sistem otomatis pada objek rambut tunggal	55
Tabel 4.5 Perbandingan hasil pemindaian makro objektif 4× dan 10× pada objek rambut tunggal	56
Tabel 4.6 Hasil pengolahan citra pada objek rambut banyak.....	61
Tabel 4.7 Hasil pengolahan citra pada objek rambut tunggal	63
Tabel 4.8 Ringkasan hasil pemindaian objek rambut banyak dan rambut tunggal	66
Tabel 4.9 Hasil evaluasi kualitas makro pada objek rambut banyak	68
Tabel 4.10 Hasil evaluasi kualitas makro pada objek rambut tunggal	69
Tabel 4.11 Estimasi nilai rasio fokus lokal dari data CSV dan grafik	71
Tabel 4.12 Parameter pemindaian makro objektif 4× dan 10×	73

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Kepanjangan/Keterangan
AC	<i>Alternating Current</i>
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
AF	<i>Autofocus</i>
COM	<i>Communication Port</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ESP32	<i>Espressif System 32</i>
GPIO	<i>General-Purpose Input/Output</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LS	<i>Limit Switch</i>
MOP	<i>Mean of Pixels</i>
OCV	<i>Open Computer Vision</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PSU	<i>Power Supply Unit</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	<i>Random-Access Memory</i>
ROI	<i>Region of Interest</i>
RX	<i>Receive</i>
SDA	<i>Serial Data</i>

Singkatan	Kepanjangan/Keterangan
SCL	<i>Serial Clock</i>
TB6600	Penggerak motor stepper tipe TB6600
TX	<i>Transmit</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Daftar simbol

Tampilan simbol	Satuan	Keterangan
I	A	Kuat arus listrik
V	V	Tegangan listrik
P	W	Daya listrik
R	Ω	Hambatan listrik
f	Hz	Frekuensi
t	s	Waktu
N	pulsa	Jumlah pulsa motor stepper
N_s	langkah	Jumlah langkah motor
θ	$^{\circ}$	Sudut putaran
θ_s	$^{\circ}$ /langkah	Sudut setiap langkah motor
n	rpm	Kecepatan putaran motor
T	N·m	Torsi motor
Z_1	gigi	Jumlah gigi roda gigi penggerak
Z_2	gigi	Jumlah gigi roda gigi yang digerakkan

Tampilan simbol	Satuan	Keterangan
i	—	Rasio roda gigi
p_i	—	Probabilitas piksel tingkat keabuan ke-ii
L	tingkat	Jumlah tingkat keabuan citra
k	—	Indeks tingkat keabuan
t	—	Nilai ambang batas citra
$\omega_{0(t)}$	—	Probabilitas kelas latar belakang
$\omega_{1(t)}$	—	Probabilitas kelas objek
$\mu_{0(t)}$	—	Nilai rata-rata kelas latar belakang
$\mu_{1(t)}$	—	Nilai rata-rata kelas objek
μ_T	—	Nilai rata-rata keseluruhan citra
$\sigma_B^{2(t)}$	—	Varians antarkelas pada metode Otsu
R_Q	—	Rasio kualitas fokus citra
R_L	—	Rasio tingkat pencahayaan citra
Q	—	Nilai kualitas atau ketajaman citra
Q_{max}	—	Nilai kualitas citra maksimum
Q_{min}	—	Nilai kualitas citra minimum
L_c	—	Nilai intensitas pencahayaan citra
L_{max}	—	Nilai intensitas pencahayaan maksimum
L_{min}	—	Nilai intensitas pencahayaan minimum

INTISARI

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL OTOMATIS PERBESARAN MIKROSKOP DIGITAL BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DAN ESP32

Faiz Athallah Wira Raksa

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah
Vokasi, Universitas Diponegoro

Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol otomatis perbesaran mikroskop digital untuk mengganti lensa objektif 4× dan 10× serta menentukan objektif berdasarkan pengolahan citra. Sistem mengintegrasikan ESP32, motor stepper NEMA 17, driver TB6600, kamera Optilab, dan aplikasi Embarcadero Delphi melalui TCP dan GPIO. Citra diproses untuk memperoleh *focus score* dan nilai ambang Otsu. Objektif dipilih berdasarkan kualitas relatif dan nilai lokal di sekitar posisi fokus terbaik dari pemindaian kedua lensa. Pergantian lensa berhasil 100% pada tiga percobaan dengan waktu rata-rata 4,82 detik. Pada lima pengujian rambut banyak, sistem memilih objektif 4× dengan rata-rata *focus score* akhir 9,125. Pada lima pengujian rambut tunggal, sistem memilih objektif 10× dengan rata-rata *focus score* akhir 11,679. Penyempurnaan fokus mikro meningkatkan rata-rata *focus score* sebesar 41,48% dan 66,22%. Hasil tersebut menunjukkan keberhasilan integrasi pengolahan citra dengan mekanisme pergantian lensa otomatis.

Kata Kunci: Mikroskop digital; Pergantian lensa objektif; ESP32; Pengolahan citra; Metode Otsu.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC MAGNIFICATION CONTROL SYSTEM FOR A DIGITAL MICROSCOPE BASED ON IMAGE PROCESSING AND ESP32

Faiz Athallah Wira Raksa

Automation Engineering Technology Study Program, Vocational
School, Diponegoro University

This study developed an automatic magnification control system for a digital microscope to switch between 4× and 10× objectives and select an objective based on image processing. The system integrated ESP32 controllers, a NEMA 17 stepper motor, a TB6600 driver, an Optilab camera, and an Embarcadero Delphi application through TCP and GPIO. Images were processed to obtain the *focus score* and Otsu threshold. Objective selection used relative quality and local values around the best-focus position from scans of both lenses. Objective switching succeeded in all three trials, with a 100% success rate and an average time of 4.82 seconds. In five multiple-hair trials, the system selected the 4× objective with a mean final *focus score* of 9.125. In five single-hair trials, it selected the 10× objective with a mean final *focus score* of 11.679. Fine-focus adjustment increased the mean *focus score* by 41.48% and 66.22%, respectively. These results demonstrate the successful integration of image processing and automatic lens switching.

Keywords: *Digital microscope; Objective-lens switching; ESP32; Image processing; Otsu method.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mikroskop merupakan perangkat optik yang digunakan untuk mengamati objek berukuran kecil yang tidak dapat dilihat secara jelas oleh mata manusia. Perkembangan kamera digital dan perangkat komputasi memungkinkan citra hasil pengamatan mikroskop ditampilkan, disimpan, dan diolah melalui komputer. Integrasi kamera, perangkat lunak, dan aktuator juga memungkinkan beberapa proses pengamatan pada mikroskop dilakukan secara otomatis [1].

Salah satu tahapan penting dalam pengamatan mikroskopis adalah menentukan tingkat perbesaran yang sesuai dengan karakteristik objek. Tingkat perbesaran ditentukan oleh lensa objektif yang ditempatkan pada revolver mikroskop. Perubahan lensa objektif menghasilkan perbedaan resolusi spasial dan luas bidang pandang atau field of view [1]. Lensa objektif dengan perbesaran rendah memberikan bidang pandang yang lebih luas, sedangkan lensa objektif dengan perbesaran lebih tinggi menampilkan bagian objek secara lebih terperinci. Pada mikroskop yang belum dilengkapi sistem otomatis, pergantian lensa dilakukan dengan memutar revolver secara manual sehingga pengguna harus melakukan penyesuaian setiap kali perbesaran diubah.

Mekanisme pergantian lensa objektif dapat diotomatisasi menggunakan motor stepper yang dihubungkan dengan revolver. Motor stepper dapat bergerak berdasarkan arah putaran dan jumlah langkah yang diberikan oleh sistem kontrol sehingga posisi lensa objektif dapat diatur secara terukur [1]. Pemanfaatan motor stepper juga telah diterapkan untuk menggerakkan meja preparat secara horizontal dan vertikal pada mikroskop digital [2]. Pengembangan lainnya memanfaatkan motor stepper untuk mengatur perpindahan titik pengamatan dan posisi fokus pada arah sumbu Z [3]. Namun, penerapan motor stepper yang secara khusus digunakan untuk mengendalikan pergantian lensa objektif 4× dan 10× serta diintegrasikan dengan pemilihan lensa berdasarkan hasil pengolahan citra masih perlu dikembangkan.

Pergantian lensa objektif menyebabkan perubahan bidang pandang, detail objek, dan karakteristik fokus citra. Oleh karena itu, citra dari masing-masing objektif perlu dievaluasi agar pemilihan lensa tidak hanya berdasarkan pengamatan visual pengguna. Tingkat ketajaman citra dapat direpresentasikan menggunakan fungsi evaluasi fokus atau focus measure yang menghitung perubahan intensitas dan detail lokal pada citra [4]. Dalam penelitian ini, hasil evaluasi tersebut dinyatakan sebagai focus score yang diperoleh selama proses pemindaian posisi fokus pada lensa objektif 4× dan 10×.

Metode Otsu digunakan sebagai bagian dari proses pengolahan citra untuk menentukan nilai ambang secara otomatis berdasarkan histogram tingkat keabuan. Nilai ambang tersebut digunakan untuk memisahkan piksel objek dan latar belakang pada citra [5]. Penelitian mengenai identifikasi fokus mikroskop digital menunjukkan bahwa nilai ambang Otsu dapat berubah ketika kondisi fokus citra mengalami perubahan [5]. Namun, nilai tersebut juga dipengaruhi oleh intensitas pencahayaan dan perbandingan luas objek terhadap latar belakang. Oleh karena itu, pada penelitian ini nilai Otsu tidak digunakan sebagai satu-satunya penentu lensa, tetapi dimanfaatkan untuk membantu mengidentifikasi bagian tepi objek yang digunakan dalam perhitungan focus score.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem kontrol otomatis perbesaran mikroskop digital berbasis mikrokontroler ESP32. Motor stepper NEMA 17 dan driver TB6600 digunakan untuk menggerakkan revolver menuju posisi lensa objektif 4× atau 10×. Aplikasi Embarcadero Delphi digunakan sebagai antarmuka pengguna, pusat pengendalian sistem, dan media pengolahan citra. Sistem juga terintegrasi dengan mekanisme autofocus sebagai subsistem pendukung untuk memperoleh citra pada posisi fokus sebelum hasil kedua objektif dievaluasi.

Proses pemilihan lensa dilakukan dengan memindai citra menggunakan objektif 4× dan 10×. Pada setiap posisi pemindaian, sistem memperoleh nilai focus score dan nilai ambang Otsu. Data pemindaian kedua objektif disimpan secara terpisah, kemudian dievaluasi berdasarkan kualitas relatif kurva fokus dan nilai

lokal di sekitar posisi fokus terbaik. Hasil evaluasi tersebut digunakan untuk menentukan lensa objektif yang sesuai dengan karakteristik citra objek.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil rancangan sistem kontrol otomatis pergantian lensa objektif mikroskop digital menggunakan mikrokontroler ESP32?
2. Bagaimana mengimplementasikan sistem kontrol otomatis pergantian lensa objektif mikroskop digital menggunakan motor stepper yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan antarmuka Embarcadero Delphi?
3. Bagaimana menganalisis karakteristik fokus citra pada lensa objektif 4× dan 10× menggunakan metode Otsu setelah proses pergantian lensa dilakukan secara otomatis?

1.3 Tujuan

1. Mengembangkan sistem kontrol otomatis pergantian lensa objektif mikroskop digital menggunakan mikrokontroler ESP32.
2. Mengimplementasikan sistem kontrol pergantian lensa objektif mikroskop digital yang terintegrasi dengan perangkat lunak Embarcadero Delphi sebagai antarmuka pengguna.
3. Menganalisis karakteristik fokus citra pada lensa objektif 4× dan 10× menggunakan metode Otsu setelah proses pergantian lensa dilakukan secara otomatis.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem kontrol mikroskop digital berbasis mikrokontroler dan pengolahan citra, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai otomatisasi pergantian lensa objektif dan analisis karakteristik fokus citra menggunakan metode Otsu.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Menghasilkan sistem kontrol otomatis untuk pergantian lensa objektif mikroskop digital sehingga proses pengamatan menjadi lebih efisien.

2. Mempermudah pengguna dalam melakukan perpindahan lensa objektif 4× dan 10× melalui sistem berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan Embarcadero Delphi.
3. Memberikan informasi mengenai karakteristik fokus citra menggunakan metode Otsu sebagai pendukung evaluasi kualitas hasil pengamatan.
4. Menjadi salah satu referensi dalam pengembangan sistem otomatis pada mikroskop digital.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian difokuskan pada pengembangan sistem kontrol otomatis pergantian lensa objektif mikroskop digital menggunakan mikrokontroler ESP32.
2. Lensa objektif yang digunakan pada penelitian ini hanya terdiri dari lensa objektif 4× dan 10×.
3. Sistem dikendalikan melalui perangkat lunak Embarcadero Delphi sebagai antarmuka pengguna (*user interface*).
4. Analisis karakteristik fokus citra dilakukan menggunakan metode Otsu berdasarkan citra hasil pengamatan mikroskop digital.
5. Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pergantian lensa objektif dan membandingkan karakteristik fokus citra pada lensa objektif 4× dan 10×.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar pembahasan lebih terstruktur dan mudah dipahami. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang mengenai pentingnya pengembangan sistem kontrol otomatis pada mikroskop digital untuk mendukung proses pergantian lensa objektif serta analisis karakteristik fokus citra. Selain itu, pada bab ini dibahas rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan sebagai dasar pelaksanaan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi mikroskop digital, lensa objektif, mikrokontroler ESP32, motor stepper, pengolahan citra digital, metode Otsu, perangkat lunak Embarcadero Delphi, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem kontrol otomatis pada mikroskop digital.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem. Pembahasan meliputi tahapan penelitian, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), diagram blok sistem, diagram alir (*flowchart*), perancangan antarmuka pengguna (*user interface*), integrasi sistem, serta metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem yang telah dikembangkan. Pengujian meliputi kinerja sistem kontrol otomatis pergantian lensa objektif, pengujian antarmuka Embarcadero Delphi, analisis karakteristik fokus citra menggunakan metode Otsu pada lensa objektif 4× dan 10×, serta pembahasan hasil pengujian berdasarkan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.