

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem Inspeksi Visual Berbasis Metode *Thresholding* Otsu dan
Deteksi Kontur untuk Klasifikasi Objek Geometris Lingkaran Dengan Kendali
Motor *Stepper*

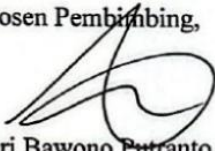
Diajukan Oleh:

Hafidz Maulana

NIM. 40040322650006

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



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

NIP. 198501252019031007

Tanggal 10 Agustus 2026

Mengetahui,

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasnoko, ST, M. Eng

Tanggal 18 Agustus 2026

NIP. 197009161998021001

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem Inspeksi Visual Berbasis Metode *Thresholding* Otsu dan
Deteksi Kontur untuk Klasifikasi Objek Geometris Lingkaran Dengan Kendali
Motor Stepper

Disusun oleh:

Hafidz Maulana

NIM 40040322650006

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

06 Agustus 2026

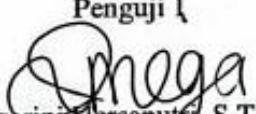
Tim penguji,

Dosen Pembimbing


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

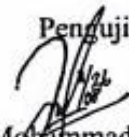
NIP. 198501252019031007

Penguji 1


Megari Harsaputri, S.T., M.T.

NIP. 198902142020122012

Penguji 2


Luthfansyah Mohammad, S.Tr.T., M.T.

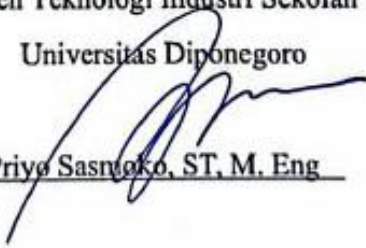
NIP. H.7.199609132022041001

Mengetahui

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro


Priyo Sasmito, ST, M. Eng

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

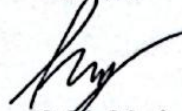
Nama : Hafidz Maulana
NIM : 40040322650006
Program Studi : S. Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Inspeksi Visual Berbasis Metode *Thresholding* Otsu dan Deteksi Kontur untuk Klasifikasi Objek Geometris Lingkaran dengan Kendali Motor *Stepper*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 06 Agustus 2026

Penulis



Hafidz Maulana

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Inspeksi Visual Berbasis Metode *Thresholding* Otsu dan Deteksi Kontur untuk Klasifikasi Objek Geometris Lingkaran dengan Kendali Motor *Stepper*” dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

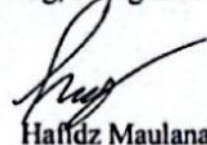
1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
3. Dr. Moh. Ridwan, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknologi Industri.
4. Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
5. Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing saya yang dengan sabar dan perhatian membimbing penulis hingga sampai pada titik ini. Terima kasih telah percaya, membantu, membimbing dan selalu mendorong penulis untuk terus berkembang.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Teknologi Rekayasa Otomasi Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu-ilmu dan membantu dalam setiap proses yang dilewati penulis.
7. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, serta kepercayaan kepada setiap keputusan yang

penulis ambil. Terima kasih atas segala pengorbanan, kerja keras, keringat, air mata, dan tenaga yang telah dicurahkan demi memberikan yang terbaik bagi penulis. Semua pengorbanan tersebut merupakan anugerah yang tidak akan pernah dapat penulis balas, namun akan selalu penulis kenang dan jadikan motivasi untuk terus berusaha menjadi pribadi yang lebih baik.

8. Teman-teman SATNAYAKA yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan selama masa kuliah. Terima kasih atas segala kebersamaan, cerita, bantuan serta dukungan yang sudah diberikan sehingga masa perkuliahan menjadi pengalaman yang berkesan.
9. Teman-teman Cataim, *four people, countless memories*. Terima kasih telah menemani perjalanan penulis sejak mahasiswa baru hingga akhir perkuliahan, dengan segala dukungan, kebersamaan, dan cerita yang menyertainya.
10. Teman-teman Kojo, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penyusunan Tugas Akhir, melalui bantuan, diskusi, dukungan, dan kebersamaan selama prosesnya.
11. Teman-teman Pickme Rangers, *proof that the best stories sometimes come from unexpected people. Different majors, same chaos*. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, melepas penat, dan menciptakan kenangan di luar dunia perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, civitas akademika, serta pembaca, dan dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan sistem inspeksi visual berbasis pengolahan citra digital di bidang otomasi industri.

Semarang, 06 Agustus 2026



Hafidz Maulana

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
INTISARI.....	xviii
ABSTRACT	xix
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xx
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Proposal Tugas Akhir.....	6
BAB II	8
DASAR TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka.....	8
2.2 Pengolahan Citra Digital	10
2.3 Sistem Inspeksi Visual.....	12

2.4 Perangkat Lunak Sistem.....	14
2.4.1 <i>OpenCV</i>	14
2.4.2 Delphi (GUI).....	15
2.4.3 Arduino IDE.....	16
2.5 Metode yang Digunakan.....	18
2.5.1 <i>thresholding</i> Otsu.....	18
2.5.2 Deteksi Kontur.....	19
2.6 Ekstraksi Fitur Objek (<i>Feature Extraction</i>).....	21
2.7 Komponen Sistem Perangkat Keras	22
2.7.1 Arduino Mega 2560	22
2.7.2 Motor <i>Stepper</i> NEMA 23.....	26
2.7.3 Driver Motor <i>Stepper</i> TB6600.....	27
2.7.4 Kamera USB	29
2.7.5 Sistem Pencahayaan.....	31
2.7.6 Sensor VL53L0X.....	32
2.7.7 Endstop Limit Switch Module.....	34
2.7.8 Power Supply	35
2.7.9 LCD I2C	37
2.7.10 Buck Converter XL4015.....	38
2.7.11 Tombol Kontrol Sistem.....	40
2.7.12 Indikator Pilot Lamp.....	42
2.7.13 Pendingin Sistem Fan	44
2.8 Sistem Gerak Linear (<i>Linear Rail dan Lead Screw</i>)	46
2.9 Confusion Matrix.....	47
BAB III.....	50

METODE PENELITIAN	50
3.1 Diagram Blok Sistem dan Flowchart	50
3.1.1 Diagram Blok Sistem.....	50
3.1.2 Rangkaian Elektrikal Keseluruhan	55
3.1.3 Flowchart Sistem Keseluruhan	56
3.1.4 Flowchart Pengolahan Citra.....	58
3.2 Desain 3D	60
3.2.1 Tampilan Isometrik Sistem	60
3.2.2 Panel Elektrikal.....	61
3.3 Spesifikasi dan Fitur	62
3.3.1 Sistem Akuisisi Citra	63
3.3.2 Sistem Pengolahan Citra.....	63
3.3.3 Sistem Gerak Linear	63
3.3.4 Sistem Sensor dan Kontrol	63
3.4 Teknik Fabrikasi	64
3.4.1 Alat dan Bahan.....	64
3.4.2 Perancangan Perangkat Keras.....	64
3.4.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	65
BAB IV	67
ANALISIS DAN HASIL.....	67
4.1 Pengujian Komponen	67
4.1.1 Pengujian Kamera USB	67
4.1.2 Pengujian Motor <i>Stepper</i> dan Driver TB6600	69
4.1.3 Pengujian Sensor VL53L0X.....	73
4.1.4 Pengujian LCD I2C	77

4.1.5 Pengujian Limit Switch	79
4.1.6 Pengujian Catu Daya	83
4.1.7 Step Down Buck Converter XL4015.....	85
4.2 Pengujian Aplikasi Kontrol Delphi	88
4.2.1 Tampilan Aplikasi Delphi	88
4.2.2 Pengujian Fungsi Tombol Aplikasi Delphi	93
4.3 Pengujian Pengolahan Citra	95
4.3.1 Hasil Akuisisi Citra.....	96
4.3.2 Hasil Grayscale.....	100
4.3.3 Hasil <i>thresholding</i> Otsu	104
4.3.4 Hasil Deteksi Kontur	107
4.3.5 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan	111
4.4 Pengujian Ekstraksi Fitur Objek.....	117
4.5 Pengujian Klasifikasi dan Pengukuran Diameter Objek	127
4.5.1 Pengujian Klasifikasi Objek Berdasarkan Kondisi Aktual	129
4.5.2 Evaluasi Hasil Klasifikasi Sistem	132
4.5.3 Pengujian Pengukuran Diameter Objek Menggunakan Jangka Sorong	135
4.6 Pengujian Variasi Posisi Kamera.....	139
4.7 Pengujian Keseluruhan Sistem	145
BAB V.....	153
PENUTUP.....	153
5.1 Kesimpulan.....	153
5.2 Saran.....	154
DAFTAR PUSTAKA.....	155

LAMPIRAN.....	160
----------------------	------------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka.....	8
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	23
Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Stepper NEMA 23	27
Tabel 2.4 Spesifikasi Driver Stepper TB6600	29
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor VL53L0X	33
Tabel 2.6 Spesifikasi Endstop Limit Switch Module	35
Tabel 2.7 Spesifikasi Power Supply	36
Tabel 2.8 Spesifikasi LCD I2C.....	38
Tabel 2.9 Spesifikasi Buck Converter XL4015	40
Tabel 2. 10 Spesifikasi Tombol Kontrol Sistem	41
Tabel 2. 11 Spesifikasi Indikator Pilot Lamp	43
Tabel 2. 12 Spesifikasi Pendingin Sistem Fan.....	45
Tabel 2.13 Komponen Sistem Linear Motion	47
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kamera USB	68
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Motor Stepper dan Driver TB6600	72
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Jarak VL53L0X.....	75
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian LCD I2C	78
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Limit Switch.....	81
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Catu Daya.....	84
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Step Down Buck Converter XL4015	86
Tabel 4. 8 Fungsi Tampilan Aplikasi Delphi	92
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Fungsi Tombol Aplikasi Delphi	94
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Akuisisi Citra.....	98
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Grayscale	102
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Thresholding Otsu	106
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Deteksi Kontur	110
Tabel 4. 14 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan	115
Tabel 4. 15 Hasil Ekstraksi Fitur Objek pada Siklus Pengujian Siklus 3 Objek 3 OK 2 NG	120

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Hasil Ekstraksi Fitur Objek	122
Tabel 4. 17 Parameter Klasifikasi Objek OK dan NG Berdasarkan Program Python	125
Tabel 4. 18 Data Pengujian Klasifikasi Objek.....	130
Tabel 4. 19 Perbandingan Kondisi Aktual dan Hasil Klasifikasi Sistem.....	132
Tabel 4. 20 Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Objek	133
Tabel 4. 21 Hasil Evaluasi Klasifikasi Objek	134
Tabel 4. 22 Data Pengukuran Manual Objek Uji Menggunakan Jangka Sorong	137
Tabel 4. 23 Perbandingan Hasil Pengukuran Diameter Menggunakan Jangka Sorong dan Sistem.....	138
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Variasi Posisi Kamera.....	142
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem per Siklus.....	149
Tabel 4. 26 Rekapitulasi Tahapan Pengujian Keseluruhan Sistem.....	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode <i>thresholding</i> Otsu[21]	19
Gambar 2.2 Metode Deteksi Kontur [28]	20
Gambar 2.3 Arduino Mega2560[33]	23
Gambar 2.4 Motor <i>Stepper</i> NEMA23[34]	26
Gambar 2.5 Driver <i>Stepper</i> TB6600[35]	28
Gambar 2.6 Kamera USB[6]	30
Gambar 2.7 Lampu LED Ring Light[20]	32
Gambar 2.8 Sensor VL53L0X[36]	33
Gambar 2.9 Endstop Limit Switch Module[37]	34
Gambar 2.10 Power Supply [38]	36
Gambar 2.11 LCD I2C 16x2[39]	37
Gambar 2. 12 Buck Converter XL4015[40]	39
Gambar 2. 13 Tombol kontrol sistem Start, Stop, dan Emergency[41]	41
Gambar 2. 14 Indikator pilot lamp pada sistem inspeksi visual[42]	43
Gambar 2. 15 Fan[43]	45
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	51
Gambar 3. 2 Wiring Elektrikal Sistem	55
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Inspeksi Visual	57
Gambar 3. 4 Flowchart Pengolahan Citra	59
Gambar 3.5 Desain 3D Sistem Inspeksi Visual	61
Gambar 3.6 Elektrikal Panel Box	62
Gambar 4. 1 Koneksi Kamera USB dengan Sistem	67
Gambar 4. 2 Hasil Akuisisi dan Deteksi Objek Menggunakan Kamera USB	68
Gambar 4. 3 Pergerakan Motor Stepper ke Posisi Kiri	70
Gambar 4. 4 Pergerakan Motor Stepper ke Posisi Tengah	70
Gambar 4. 5 Pergerakan Motor Stepper ke Posisi Kanan	70
Gambar 4. 6 Driver TB6600 dan Wiring Sistem	71
Gambar 4. 7 Pengujian Respon Perintah dan Kontrol Motor	71

Gambar 4. 8 Pengujian Sensor VL53L0X Posisi Kiri	74
Gambar 4. 9 Pengujian Sensor VL53L0X Posisi Tengah.....	74
Gambar 4. 10 Pengujian Sensor VL53L0X Posisi Kanan	75
Gambar 4. 11 Potongan program sensor jarak.....	75
Gambar 4. 12 Pengujian LCD I2C	77
Gambar 4. 13 Tampilan Status Limit Switch kanan pada Serial Monitor	79
Gambar 4. 14 Pengujian Limit Switch Kanan	80
Gambar 4. 15 Tampilan Status Limit Switch kiri pada Serial Monitor	80
Gambar 4. 16 Pengujian Limit Switch Kiri	81
Gambar 4. 17 Pengujian Power Supply pada Sistem	83
Gambar 4. 18 Hasil Buck Converter	86
Gambar 4. 19 Tampilan Monitoring Aplikasi Kontrol Delphi	89
Gambar 4. 20 Tampilan Hasil Inspeksi Aplikasi Kontrol Delphi	90
Gambar 4. 21 Tampilan Pengaturan Aplikasi Kontrol Delphi.....	91
Gambar 4. 22 Pengujian tombol sistem pada aplikasi Delphi saat proses Start..	93
Gambar 4. 23 Hasil Akuisisi Citra Pada Posisi Kamera Kiri	97
Gambar 4. 24 Hasil Akuisisi Citra Pada Posisi Kamera Tengah	97
Gambar 4. 25 Hasil Akuisisi Citra Pada Posisi Kamera Kanan	97
Gambar 4. 26 Posisi Kamera Pada Proses Akuisisi Citra.....	98
Gambar 4. 27 Hasil Konversi Citra Grayscale Pada Posisi Kamera Kiri.....	101
Gambar 4. 28 Hasil Konversi Citra Grayscale Pada Posisi Kamera Tengah.....	101
Gambar 4. 29 Hasil Konversi Citra Grayscale Pada Posisi Kamera Kanan.....	101
Gambar 4. 30 Hasil thresholding Otsu Pada Posisi Kamera Kiri	104
Gambar 4. 31 Hasil thresholding Otsu Pada Posisi Kamera Tengah.....	105
Gambar 4. 32 Hasil thresholding Otsu Pada Posisi Kamera Kanan.....	105
Gambar 4. 33 Hasil Deteksi Kontur Pada Posisi Kamera Kiri	108
Gambar 4. 34 Hasil Deteksi Kontur Pada Posisi Kamera Tengah.....	109
Gambar 4. 35 Hasil Deteksi Kontur Pada Posisi Kamera Kanan	109
Gambar 4. 36 Hasil pengolahan Citra Keseluruhan Pada Siklus 1 Dengan Kondisi Semua Objek OK.....	112

Gambar 4. 37 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan Pada Siklus 2 Dengan Kondisi Semua Objek NG.....	112
Gambar 4. 38 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan Pada Siklus 3 Dengan Kondisi Objek Campuran 3 OK Dan 2 NG	113
Gambar 4. 39 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan Pada Siklus 4 Dengan Kondisi Mayoritas Objek OK	113
Gambar 4. 40 Hasil Pengolahan Citra Keseluruhan Pada Siklus 5 Dengan Kondisi Mayoritas Objek NG	114
Gambar 4. 41 Hasil Ekstraksi Fitur Objek Pada Sistem Inspeksi Visual	118
Gambar 4. 42 Detail Hasil Ekstraksi Fitur Objek Pada Sistem Inspeksi Visual.	119
Gambar 4. 43 Tampilan Data Hasil Ekstraksi Fitur Objek.....	119
Gambar 4. 44 Hasil Klasifikasi Objek Pada Siklus Ke-3 Dengan Kondisi Campuran 3 Objek OK Dan 2 Objek NG	129
Gambar 4. 45 Tampilan Hasil Klasifikasi Objek OK Dan NG Pada Program Python Opencv	129
Gambar 4. 46 Pengukuran Manual Objek OK Menggunakan Jangka Sorong ..	136
Gambar 4. 47 Pengukuran Manual Objek NG Menggunakan Jangka Sorong ..	136
Gambar 4. 48 Pengukuran Manual Objek NG (Deformasi) Menggunakan Jangka Sorong	136
Gambar 4. 49 Grafik Perbandingan Diameter Manual dan Sistem	139
Gambar 4. 50 Posisi Kamera Pada Sisi Kiri Area Inspeksi	140
Gambar 4. 51 Posisi Kamera Pada Bagian Tengah Area Inspeksi.....	141
Gambar 4. 52 Posisi Kamera Pada Sisi Kanan Area Inspeksi	141
Gambar 4. 53 Tampilan Posisi Kamera Pada Delphi	142
Gambar 4. 54 Grafik Rata-rata Circularity pada Setiap Posisi Kamera	144
Gambar 4. 55 Grafik Rata-rata Area pada Setiap Posisi Kamera	144
Gambar 4. 56 Grafik Rata-rata Aspect Ratio pada Setiap Posisi Kamera.....	144
Gambar 4. 57 Perangkat Sistem Inspeksi Visual Secara Keseluruhan	146
Gambar 4. 58 Tampilan Aplikasi Delphi Saat Sistem Melakukan Monitoring Dan Kontrol	147
Gambar 4. 59 Tampilan Hasil Akhir Klasifikasi Objek OK Dan NG	147

Gambar 4. 60 Bukti Komunikasi Dan Log Proses Sistem Pada Antarmuka Delphi	148
--	-----

INTISARI

RANCANG BANGUN SISTEM INSPEKSI VISUAL BERBASIS METODE *THRESHOLDING* OTSU DAN DETEKSI KONTUR UNTUK KLASIFIKASI OBJEK GEOMETRIS LINGKARAN DENGAN KENDALI MOTOR *STEPPER*

Hafidz Maulana

Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas
Diponegoro

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital memungkinkan penerapan sistem inspeksi visual secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pemeriksaan objek. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem inspeksi visual berbasis *computer vision* untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan objek geometris berbentuk lingkaran. Sistem menggunakan kamera USB untuk akuisisi citra, Arduino Mega 2560 sebagai pengendali, serta motor *stepper* untuk mengatur posisi kamera secara linear. Pengolahan citra dilakukan melalui konversi *grayscale*, *thresholding* Otsu, deteksi kontur, dan ekstraksi fitur geometris untuk mengklasifikasikan objek ke dalam kategori OK dan NG. Hasil pengujian terhadap 75 data menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan 72 data dengan benar dan 3 data tidak sesuai. Sistem memperoleh akurasi sebesar 96,00%, *precision* 97,14%, *recall* 94,44%, dan *F1-score* 95,77%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan inspeksi dan klasifikasi objek secara otomatis dengan tingkat akurasi yang baik.

Kata Kunci: Inspeksi Visual, Pengolahan Citra Digital, *OpenCV*, *Thresholding* Otsu, Deteksi Kontur, Klasifikasi Objek.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A VISUAL INSPECTION SYSTEM BASED ON OTSU *THRESHOLDING* AND CONTOUR DETECTION METHODS FOR THE CLASSIFICATION OF CIRCULAR GEOMETRIC OBJECTS USING A *STEPPER* MOTOR CONTROL

Hafidz Maulana

Automation Engineering Technology Study Program, Vocational School,
Diponegoro University

Advances in digital image processing have enabled the implementation of automated visual inspection systems to improve the efficiency and accuracy of object inspection. This study aims to design and develop a computer vision-based visual inspection system for detecting and classifying circular geometric objects. The system uses a USB camera for image acquisition, an Arduino Mega 2560 as the controller, and a stepper motor to linearly adjust the camera position. Image processing consists of grayscale conversion, Otsu thresholding, contour detection, and geometric feature extraction to classify objects into OK and NG categories. Testing on 75 data samples showed that the system correctly classified 72 samples, while 3 samples were incorrectly classified. The system achieved an accuracy of 96.00%, precision of 97.14%, recall of 94.44%, and F1-score of 95.77%. These results indicate that the developed system is capable of performing automated object inspection and classification with good accuracy.

Keywords: Visual Inspection, Digital Image Processing, *OpenCV*, Otsu Thresholding, Contour Detection, Object Classification.

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Keterangan
AC	Alternating Current
ADC	Analog-to-Digital Converter
CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Current
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GUI	Graphical User Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IOREF	Input Output Reference
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
NG	Not Good
OK	Okay
<i>OpenCV</i>	<i>Open</i> Source Computer Vision Library
PCB	Printed Circuit Board
PWM	Pulse <i>Width</i> Modulation
RGB	Red, Green, Blue
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
ToF	<i>Time of Flight</i>

USB	Universal Serial Bus
VIN	Voltage Input

Simbol	Keterangan
(A)	Luas area objek (<i>Area</i>)
(w)	Lebar objek (<i>Width</i>)
(h)	Tinggi objek (<i>Height</i>)
(AR)	<i>Aspect ratio</i>
(C)	<i>Circularity</i>
(SOL)	<i>Solidity</i>
(EXT)	<i>Extent</i>
(HR)	<i>Hole Ratio</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian mengenai sistem inspeksi visual berbasis pengolahan citra digital telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses inspeksi. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Arini Trianingsih, dkk. (2024) mengembangkan sistem inspeksi visual untuk mendeteksi cacat produk secara otomatis menggunakan pendekatan pengolahan citra digital. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dibangun mampu meningkatkan akurasi serta mengurangi ketergantungan terhadap pengamatan manual oleh operator[1].

Seiring dengan perkembangan tersebut, teknologi otomasi industri dalam satu dekade terakhir menunjukkan peningkatan, khususnya pada penerapan sistem berbasis sensor dan pengolahan data digital. Transformasi menuju konsep Industri 4.0 mendorong integrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dalam suatu sistem yang mampu bekerja secara otomatis, presisi, dan konsisten[2]. Salah satu implementasi dalam lingkungan industri modern adalah sistem inspeksi visual otomatis (*automatic visual inspection system*), yang digunakan untuk mendeteksi dan mengevaluasi kualitas objek atau produk secara *real-time* tanpa ketergantungan pada operator[3].

Secara konvensional, proses inspeksi kualitas dilakukan melalui pengamatan visual oleh operator. Metode ini memiliki keterbatasan berupa subjektivitas dalam penilaian, penurunan performa akibat kelelahan, serta keterbatasan dalam kecepatan inspeksi pada sistem produksi berskala besar. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan kesalahan dalam proses identifikasi dan klasifikasi objek yang berdampak pada kualitas produk secara keseluruhan[4].

Sistem inspeksi visual berbasis pengolahan citra memanfaatkan kamera sebagai sensor utama untuk menangkap informasi visual dari objek yang diamati. Data citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan algoritma tertentu untuk mengekstraksi informasi seperti bentuk, ukuran, dan karakteristik geometris

lainnya[5]. Salah satu metode segmentasi yang digunakan adalah *thresholding* Otsu, yaitu metode yang mampu menentukan nilai ambang secara otomatis berdasarkan distribusi intensitas piksel sehingga objek dapat dipisahkan dari latar belakang secara efektif[6].

Selain proses segmentasi, deteksi kontur digunakan untuk mengidentifikasi batas objek sehingga informasi bentuk dapat diperoleh dengan lebih akurat. Kombinasi metode *thresholding* Otsu dan deteksi kontur banyak digunakan karena memiliki kompleksitas komputasi yang relatif rendah serta mampu memberikan hasil yang baik dalam proses identifikasi objek berbasis citra [7].

Dalam penelitian ini, objek yang digunakan difokuskan pada objek geometris berbentuk lingkaran karena memiliki karakteristik bentuk yang simetris dan mudah dianalisis menggunakan pendekatan berbasis kontur. Objek berbentuk lingkaran dapat dijumpai dalam berbagai aplikasi, seperti koin, tutup botol, serta komponen mekanik berbentuk disk[8]. Karakteristik tersebut mendukung proses segmentasi citra dan ekstraksi fitur sehingga proses klasifikasi kondisi objek dapat dilakukan secara lebih terukur[9].

Keberhasilan sistem inspeksi visual tidak hanya ditentukan oleh algoritma pengolahan citra, tetapi juga oleh kualitas akuisisi citra. Variasi posisi kamera dapat menyebabkan perubahan perspektif dan distribusi intensitas piksel yang berdampak pada hasil segmentasi dan deteksi kontur[10]. Oleh karena itu, diperlukan integrasi antara sistem pengolahan citra dan sistem kendali mekanik untuk memperoleh hasil inspeksi yang lebih stabil dan konsisten[11].

Motor *stepper* sebagai aktuator memiliki keunggulan dalam menghasilkan pergerakan presisi berbasis langkah diskrit, sehingga sesuai digunakan untuk mengatur posisi kamera secara terkontrol. Dengan bantuan mikrokontroler, sistem dapat mengatur variasi posisi kamera secara sistematis untuk mendukung proses analisis performa deteksi. Integrasi ini membentuk sistem inspeksi visual yang tidak hanya mampu melakukan deteksi dan klasifikasi objek, tetapi juga menganalisis pengaruh posisi terhadap hasil inspeksi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun sistem inspeksi visual berbasis deteksi dan klasifikasi objek geometris lingkaran yang terintegrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis performa sistem serta pengaruh variasi posisi kamera terhadap hasil inspeksi, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem inspeksi visual yang sederhana, efisien, dan terukur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, terdapat beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem inspeksi visual yang terintegrasi dengan kendali motor *stepper* untuk melakukan akuisisi citra objek geometris lingkaran pada beberapa posisi kamera secara konsisten?
2. Bagaimana performa metode *thresholding* Otsu dan deteksi kontur dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan objek geometris lingkaran ke dalam kategori OK dan NG berdasarkan fitur geometris yang diekstraksi?
3. Bagaimana pengaruh variasi posisi kamera yang dikendalikan oleh motor *stepper* terhadap hasil segmentasi citra dan tingkat akurasi deteksi serta klasifikasi objek?
4. Bagaimana evaluasi kinerja sistem inspeksi visual dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek geometris lingkaran berdasarkan parameter akurasi, tingkat kesalahan (*error*), serta konsistensi hasil pengukuran dibandingkan dengan pengukuran menggunakan alat ukur konvensional?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian dan penyusunan laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem inspeksi visual yang terintegrasi dengan kendali motor *stepper* untuk melakukan akuisisi citra objek geometris lingkaran pada beberapa posisi kamera secara terkontrol dan konsisten.
2. Mengimplementasikan metode pengolahan citra berbasis *thresholding* Otsu dan deteksi kontur untuk mendeteksi serta mengklasifikasikan objek

geometris lingkaran ke dalam kategori OK dan NG berdasarkan fitur geometris yang diekstraksi.

3. Menganalisis pengaruh variasi posisi kamera terhadap hasil segmentasi citra serta tingkat akurasi deteksi dan klasifikasi objek secara kuantitatif.
4. Mengevaluasi kinerja sistem inspeksi visual dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek geometris lingkaran berdasarkan parameter akurasi, tingkat kesalahan (*error*), serta kesesuaian hasil klasifikasi sistem dengan kondisi aktual objek yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan alat ukur konvensional.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan selama pembuatan Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Manfaat secara Teoritis

Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan ilmu di bidang sistem inspeksi visual dan pengolahan citra digital melalui kajian eksperimental mengenai implementasi metode *thresholding* Otsu dan deteksi kontur dalam sistem yang terintegrasi dengan kendali mekanik. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi performa algoritma dari sisi akurasi deteksi dan klasifikasi objek geometris lingkaran, tetapi juga menganalisis pengaruh variasi posisi kamera terhadap hasil segmentasi citra dan ekstraksi fitur geometris secara kuantitatif. Dengan demikian, penelitian ini dapat memperkaya literatur terkait integrasi sensor, pengendali (*controller*), dan aktuator dalam sistem inspeksi visual, serta memperkuat pemahaman bahwa stabilitas akuisisi citra merupakan faktor penting dalam menghasilkan sistem deteksi yang konsisten dan terukur.

2. Manfaat secara Praktis

Secara praktis, penelitian ini menghasilkan prototipe sistem inspeksi visual berbasis kamera dan kendali motor *stepper* yang dapat digunakan sebagai solusi inspeksi otomatis dengan biaya relatif rendah. Sistem yang dirancang mampu melakukan akuisisi citra pada beberapa posisi kamera secara terkontrol serta mengklasifikasikan objek geometris lingkaran ke dalam kategori OK dan

NG secara objektif. Hal ini berpotensi meningkatkan konsistensi dan efisiensi dibandingkan dengan metode inspeksi manual. Selain itu, sistem ini juga dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran pada bidang otomasi, pengolahan citra, dan mekatronika, serta menjadi dasar pengembangan sistem inspeksi visual yang lebih kompleks, khususnya pada skala industri kecil dan menengah.

1.5 Batasan Masalah

Supaya penyusunan Tugas Akhir ini dapat lebih terarah, maka terdapat, batasan-batasan masalah pada alat, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan sistem inspeksi visual yang terintegrasi antara kamera sebagai sensor, mikrokontroler sebagai pengendali, dan motor *stepper* sebagai aktuator untuk mengatur posisi kamera secara terkontrol.
2. Metode pengolahan citra yang digunakan dibatasi pada *thresholding* Otsu untuk segmentasi dan deteksi kontur untuk identifikasi objek serta ekstraksi fitur geometris (luas area, lebar, tinggi, rasio aspek, *circularity*, *solidity*, *extent*, dan *hole ratio*), tanpa menggunakan pendekatan *machine learning* atau *deep learning*.
3. Objek uji dibatasi pada objek dengan karakteristik geometris sederhana berbentuk lingkaran, sehingga proses segmentasi dan analisis fitur dapat dilakukan secara lebih konsisten dan terukur.
4. Variasi posisi kamera dibatasi pada beberapa titik tetap yang dikendalikan motor *stepper*, tanpa pengembangan algoritma optimasi posisi adaptif atau sistem pencarian posisi terbaik secara otomatis.
5. Parameter evaluasi penelitian meliputi nilai threshold Otsu, fitur geometris objek, tingkat akurasi klasifikasi OK/NG berdasarkan confusion matrix, serta analisis pengaruh variasi posisi kamera terhadap hasil deteksi dengan kondisi pencahayaan, jarak, dan latar belakang yang dikontrol tetap.

6. Sistem diuji pada kondisi pencahayaan yang dikontrol dan relatif stabil untuk meminimalkan pengaruh variasi intensitas cahaya terhadap proses segmentasi citra.
7. Sistem mekanik yang digunakan dibatasi pada pergerakan satu derajat kebebasan (1-DOF), yaitu pergerakan kamera secara horizontal (sumbu X) menggunakan mekanisme rel (rail), tanpa pergerakan vertikal (sumbu Y) maupun kedalaman (sumbu Z).

1.6 Sistematika Proposal Tugas Akhir

Proposal Tugas Akhir ini dibagi menjadi tiga bab yang saling berhubungan satu sama lain. Sistematika penulisan dan pembahasan dalam penulisan ini yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada BAB ini akan dibahas hal yang melatarbelakangi pembuatan suatu alat atau sistem pada Tugas Akhir, rumusan masalah alat atau sistem, tujuan alat atau sistem, manfaat alat atau sistem, batasan masalah alat atau sistem, dan juga sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada BAB ini akan dibahas tinjauan pustaka yang berisikan mengenai penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dan juga teori-teori tentang komponen maupun *tools* yang dipakai dalam pembuatan Tugas Akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada BAB ini akan dibahas mengenai tentang komponen-komponen yang dibutuhkan untuk pembuatan alat, BAB ini juga membahas tentang bagaimana sistem berjalan, spesifikasi sistem dan teknik fabrikasinya.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada BAB ini membahas terkait pengujian alat dan sistem serta analisa alat yang sudah dirancang sebelumnya.

BAB V PENUTUP

Pada BAB ini membahas terkait kesimpulan yang didapatkan dari hasil yang sudah diuji dan dianalisa serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini memuat referensi penulisan serta sumber yang dikutip oleh penulis.

LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi hal-hal sisipan dan keterangan oleh penulis yang berisikan tentang apa yang penulis tulis.