IMPLEMENTASI SISTEM DETEKSI VISUAL CACAT PENGELASAN MENGGUNAKAN METODE IMAGE PROCESSING BERBASIS RASPBERRY PI DI PT HIRUTA KOGYO INDONESIA

SKRIPSI

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana

Disusun Oleh:

Taufik Fathoni

220111302006

PRODI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok,4 Januari 2026
Mahasiswa,



Taufik Fathoni
NIM. 220111302006

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh	:	
Nama	:	Taufik Fathoni
NIM	:	220111302006
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Skripsi	:	Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT Hiruta Kogyo Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Pembimbing dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1	: Devan Junesco V., S.ST., M.Sc.Eng	( )
Pembimbing 2	: Ariep Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng	( )
Mengetahui, Ketua Program Studi	: Brainvendra Widi D, S.ST., M.Sc.Eng	( )

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 3 Februari 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh	:	
Nama	:	Taufik Fathoni
NIM	:	220111302006
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Skripsi	:	Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT Hiruta Kogyo Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Legenda Prameswono, S.ST., M.Sc.Eng (.....)

Penguji 2 : Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT. (.....)

Penguji 3 : Sinka Wilyanti, S.ST., M.T. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Februari 2026

HALAMAN REVISI PENGUJI 1

FM/JGU/L.064

JGU Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama mahasiswa : TAUFIK FATHONI

NIM : 220111302006

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT. Hiruta Kogyo Indonesia**

Dosen Penguji 1 : Legenda prameswono, S.ST., M.Sc.Eng.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Abstrak dulis kembali. buat sekitar mengu 250 kata menggunakan BAB 1 – 5	sudah direvisi di hal. ix	[signature]
2	Pada latih (Uji Statis) dilakukan terlebih dahulu. Variasi 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 lux, jarak 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm dan 0, 15, 30, 45 60, 75 90°.	sudah direvisi di sub.bab 4.4.1 di halaman. 53 – 60	[signature]
3	Untuk tingkat akurasi. Gunakan 50 part normal untuk melakukan uji dinamis (Random Sample)	sudah direvisi di subbab 4.4.5 hal. 71 – 72	[signature]
4	banyakkan Gambar hasil Pembacaan pada lampiran	sudah di lakukan dan di lampirkan di lampiran	[signature]
5	Menjadi dari bab 4. kesimpulan dan Analisa data	sudah di revisi	[signature]

Sesuaikan menjadi 3 sub bab 4.1. 4.2. 4.3 dan kesimpulan I, 2, 3.

Depok, 11 Februari 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

(Brainverdra Widi D, S.ST., M.Sc.Eng)

NIK.

HALAMAN REVISI PENGUJI 2

FM/JGU/L.064

Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : TAUFIK FATHONI

NIM : 220111302006

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT. Hiruta Kogyo Indonesia**

Dosen Penguji 2 : Arisa Olivia Putri, S.S.T., M.IT.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji / Tanggal Persetujuan
1.	Proses training algoritma perlu dijelaskan	Sudah direvisi di hal. 50 - 52	
	- grafik iterasi - grafik prediksi vs pengujian.		
2.	- grafik PCA. pengujian random sampling	sudah direvisi di sub bab. 4.4.5 hal. 71 - 72	

Depok, 11 Februari 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

(Brainvendra Widi D, S.ST., M.Sc.Sy)

NIK.

HALAMAN REVISI PENGUJI 3

FM/JGU/L.064

JGU Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : TAUFIK FATHONI

NIM : 220111302006

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT. Hiruta Kogyo Indonesia**

Dosen Penguji 3 : Sinka Wilyanti, S.T., M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Revisi abstrak buat dalam satu paragraf tidak dari 150 – 250 kata memuat bab 1 – 5	sudah di revisi di hal. IX	2/2 26
2.	Batasan masalah terlalu banyak, sehingga akan mengurangi nilai penelitian.	sudah di revisi di hal. 4	2/2 26
3.	Tabel dibuat bergaris Rumus jika ada satuan dituliskan	sudah di revisi semua tabel	2/2 26
4.	Rapikan Tabel antara nama tabel dan tipe penurisan	sudah di revisi	2/2 26
5.	Kesimpulan sesuaikan dengan rumusan masalah	sudah di revisi di hal. 86	2/2 26
6.	Daftar pustaka dibuat rata kiri kanan. Penurisan halaman sesuaikan template	sudah di revisi	2/2 26

Depok, 11 Februari 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Brainvendra Widi D, S.ST., Msg.Eng

NIK.

HALAMAN BIMBINGAN 1

FM/UGJ/L.053

JGU Jakarta Global University

Form B – Lembar Konsultasi Proposal	Revisi ke: 3
	Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Taufik Fathoni
NIM : 220111302006
Judul : Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT Hiruta Kogyo Indonesia
Dosen Pembimbing I : Devan Junesco Vresdian, S.ST., M.Sc.Eng

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	18 Nov '25	Pemilihan kamera yang digunakan (jenis kamera, resolusi, kesesuaian dengan Raspberry)	
2	12 Des '25	Terkait akurasi (Faktor - faktor yang mempengaruhi tingkat keberhasilan)	
3	19 Des '25	Penambahan gambar masing - masing citra pada tahapan pengolahan citra	
4	22 Des '25	Metode pengolahan citra (akuisisi citra, preprocessing, penentuan ROI, ekstraksi fitur dan klasifikasi)	
5	30 Des '25	Pengambilan dan pengolahan data (jumlah data, variasi pengambilan citra dan pelabelan data)	
6	5 Jan '26	Pengujian sistem (prosedur pengujian sistem dan parameter pengujian)	
7	6 Jan '26	Penulisan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian dan penambahan gambar pada lampiran	
8			

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 9 Januari 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi D, S.T., M.Sc.Eng)
NIDN 0415119601

HALAMAN BIMBINGAN 2

FM/UGJ/L.053

JGU Jakarta Global University

Form B – Lembar Konsultasi Proposal	Revisi ke: 3
	Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Taufik Fathoni
NIM : 220111302006
Judul : Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT Hiruta Kogyo Indonesia
Dosen Pembimbing II : Ariep Jaenul, S.Pd, M.Sc. Eng

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	19 Des '25	Penulisan pada abstrak harus mengandung unsur masalah, tujuan penelitian, metode, hasil dan saran	
2	23 Des '25	Penambahan urgensi masalah pada latar belakang Error kotak inspeksi merah dan dampak kotak ada cacat	
3	30 Des '25	Sinkronisasi rumusan masalah dan tujuan penelitian pada point ke 3.	
4	5 Jan '26	Sinkronisasi analisa kesimpangan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian	
5	7 Jan '26	Penambahan narasi teks pada setiap gambar untuk memperjelas gambar.	
6	7 Jan '26	Penambahan narasi pada alur kerja sistem	
7	7 Jan '26	Penyesuaian format sitasi APA style.	
8			

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 9 Januari 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi D, S.T., M.Sc.Eng)
NIDN 0415119601

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan kegiatan skripsi, setelah selesainya skripsi ini banyak tantangan yang harus dihadapi oleh penulis. Oleh sebab itu, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dari penyusunan dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis dengan rendah hati mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk menyempurnakan skripsi ini.

Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu syarat akademis yang harus dipenuhi oleh mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana program studi teknik elektro di Universitas Global Jakarta, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.

Penyelesaian laporan skripsi ini tentunya tidak akan dapat terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang telah membimbing, memberikan semangat dan mendoakan. Sehingga penyusunan laporan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
2. Bapak Hamzah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.
3. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.
4. Bapak Devan Junesco Vresdian, S.ST., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan-nya dalam penyusunan skripsi Program Studi Teknik Elektro S-1 Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.
5. Bapak Ariep Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan-nya dalam penyusunan skripsi Program Studi Teknik Elektro S-1 Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Taufik Fathoni
NIM	:	220111302006
Program Studi	:	Teknik Elektro
Fakultas	:	Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya	:	Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"Implementasi Sistem Deteksi Visual Cacat Pengelasan Menggunakan Metode Image Processing Berbasis Raspberry Pi di PT Hiruta Kogyo Indonesia"

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 4 Januari 2026



Taufik Fathoni

ABSTRAK

Inspeksi pengelasan secara manual rentan terhadap kesalahan akibat subjektivitas dan kelelahan operator. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi visual cacat pengelasan berbasis Raspberry Pi dengan memanfaatkan metode GLCM, HOG, PCA, dan SVM untuk mengidentifikasi cacat *porosity, undercut, burn through, overlap,* dan *spatter*. Sistem memproses citra melalui tahapan pra-pemrosesan, segmentasi *Region of Interest* (ROI), ekstraksi fitur, reduksi dimensi, dan klasifikasi multikelas. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi akuisisi citra berupa pencahayaan, jarak, dan sudut kamera terhadap performa sistem, serta mengukur kemampuan sistem dalam mengklasifikasikan berbagai jenis cacat pengelasan secara akurat. Pengujian pada variasi pencahayaan, jarak, dan sudut kamera menunjukkan kondisi optimal pada 50 lux, jarak 10 cm, dan sudut 20°. Pada kondisi tersebut, akurasi pengujian dinamis part normal mencapai 100%, sedangkan pengujian multikelas mencapai 94,4%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem efektif sebagai solusi inspeksi otomatis *real-time* di lingkungan industri.

Kata Kunci: Deteksi cacat pengelasan, *image processing*, GLCM, HOG, PCA, SVM, Raspberry Pi

ABSTRACT

Manual welding inspection is prone to errors due to operator subjectivity and fatigue. This study develops a Raspberry Pi–based visual welding defect detection system using the GLCM, HOG, PCA, and SVM methods to identify defects such as porosity, undercut, burn-through, overlap, and spatter. The system processes images through several stages, including pre-processing, Region of Interest (ROI) segmentation, feature extraction, dimensionality reduction, and multiclass classification.

Research also aims to evaluate the influence of image acquisition conditions, namely lighting, camera distance, and camera angle, on system performance, as well as to measure the system's ability to accurately classify various types of welding defects. Experimental results under variations of lighting, distance, and angle show that the optimal condition is achieved at 50 lux, a camera distance of 10 cm, and a camera angle of 20°. Under these conditions, the dynamic test accuracy for normal parts reaches 100%, while the multiclass dynamic test achieves an accuracy of 94.4%. These results indicate that the proposed system is effective as a real-time automated inspection solution in industrial environments.

Keywords: *Welding defect detection, image processing, GLCM, HOG, PCA, SVM, Raspberry Pi*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iv
HALAMAN REVISI PENGUJI 1 v
HALAMAN REVISI PENGUJI 2 vi
HALAMAN REVISI PENGUJI 3 vii
HALAMAN BIMBINGAN 1 viii
HALAMAN BIMBINGAN 2 ix
KATA PENGANTAR x
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS xi
ABSTRAK xii
ABSTRACT xiii
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Tujuan Penelitian 3
1.4. Manfaat Penelitian 4
1.5. Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 5
2.1. Tinjauan Pustaka 5
2.1.1. Penelitian Terdahulu 5
2.1.2. Analisa Kesenjangan 12
2.1.3. Penelitian Saat ini 13
2.2. Landasan Teori 14
2.2.1. Definisi Pengelasan 14
2.2.2. Jenis – Jenis Cacat Pengelasan 15
2.2.3. Definisi *Image Processing* 17
2.2.4. Jenis – Jenis Metode *Image Processing* 17

2.2.5. GLCM *(Gray-Level Co-occurrence Matrix)* 18
2.2.6. HOG *(Histogram of Oriented Gradients)* 19
2.2.7. *PCA (Principal Component Analysis)* 20
2.2.8. SVM *(Support Vector Machine)* 20
2.2.9. Raspberry Pi 5 21
2.2.10. Logitech Kamera 21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 22
3.1. Lokasi Penelitian 22
3.2. Metode Penelitian 22
3.3. Alur Penelitian 23
3.4. Alat dan Bahan 24
3.5. Perancangan Sistem 26
3.6. Implementasi Sistem 27
3.6.1. Alur Pengolahan Citra 27
3.6.2. Alur Kerja Sistem 29
3.6.3. Akuisisi dan Format Data Citra 32
3.6.4. Pre-Processing 33
3.6.5. Segmentasi Citra Region of Interest (ROI) 33
3.6.6. Ekstraksi Fitur GLCM dan HOG 33
3.6.7. Reduksi Dimensi *Principal Component Analysis* (PCA) 33
3.6.8. Klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) 34
3.7. Pengujian Dan Evaluasi 34
3.7.1. Pengujian Sistem 34
3.7.2. Evaluasi Sistem 35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 37
4.1. Hasil Implementasi Sistem 37
4.1.1. Perangkat Keras 37
4.1.2. Perakitan Sistem 38
4.1.3. Antarmuka Pengguna 39
4.1.4. Visualisasi Sistem 39
4.2. Hasil Pengolahan Citra 41
4.2.1. Akuisisi Citra 42
4.2.2. Pra-pemrosesan Citra 47
4.2.3. Segmentasi Menggunakan ROI 48
4.2.4. Ekstraksi Fitur GLCM 48
4.2.5. Ekstraksi Fitur HOG 49

4.2.6. Penggabungan Fitur GLCM dan HOG 50
4.3. Hasil Training Sistem 50
4.3.1. Reduksi Dimensi PCA 50
4.3.2. Proses Training Model SVM 51
4.3.2.1. Analisis Kinerja Proses Training 52
4.4. Hasil Pengujian dan Evaluasi Sistem 53
4.4.1. Pengujian Statis Sistem 53
4.4.1.1. Metode Pengujian Statis 53
4.4.1.2. Hasil Pengujian Statis 53
4.4.2. Pengujian Dinamis Sistem Berdasarkan Variasi Pencahayaan 61
4.4.2.1. Metode Pengujian 61
4.4.2.2. Hasil Pengujian 61
4.4.2.3. Analisis Hasil 63
4.4.2.4. Visualisasi Grafik 63
4.4.2.5. Kesimpulan Analisis Pencahayaan 64
4.4.3. Pengujian Dinamis Sistem Berdasarkan Variasi Jarak 64
4.4.3.1. Metode Pengujian 65
4.4.3.2. Hasil Pengujian 65
4.4.3.3. Analisis Hasil 66
4.4.3.4. Visualisasi Grafik 67
4.4.3.5. Kesimpulan Analisis Jarak 67
4.4.4. Pengujian Dinamis Sistem Berdasarkan Variasi Sudut 68
4.4.4.1. Metode Pengujian 68
4.4.4.2. Hasil Pengujian 68
4.4.4.3. Analisis Hasil 70
4.4.4.4. Visualisasi Grafik 70
4.4.4.5. Kesimpulan Analisis Sudut 71
4.4.5. Pengujian Dinamis Part Normal 71
4.4.6. Pengujian Dinamis Seluruh Kelas 73
4.4.7. Hasil Perbandingan Sistem dengan Inspeksi Manual 75
4.4.7.1. Confusion Matrix 76
4.4.7.2. Evaluasi Kinerja Sistem 77
4.4.7.3. Analisis Sistem Klasifikasi 82
4.4.8. Kelebihan dan Keterbatasan Sistem 83
4.4.8.1. Kelebihan Sistem 83
4.4.8.2. Keterbatasan Sistem 84

4.4.9. Pembahasan Umum 84
BAB V PENUTUP 86
5.1. Kesimpulan..... 86
5.2. Saran..... 87
DAFTAR PUSTAKA 88
LAMPIRAN.....91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis-jenis cacat pengelasan 15
Gambar 2. 2 Raspberry Pi 5 21
Gambar 2. 3 Logitech Kamera 21
Gambar 3. 1 Gedung PT. Hiruta Kogyo Indonesia 22
Gambar 3. 2 Flowchart Alur Penelitian 23
Gambar 3. 3 Wiring Diagram Perangkat Keras 26
Gambar 3. 4 Flowchart Alur Pengolahan Citra 28
Gambar 3. 5 Flowchart Alur Kerja Sistem 30
Gambar 4. 1 Area Welding Inspeksi 40
Gambar 4. 2 Alat Deteksi Visual Cacat Pengelasan 40
Gambar 4. 3 Diagram 3D Konfigurasi 41
Gambar 4. 4 Part Normal 43
Gambar 4. 5 Part Porosity 44
Gambar 4. 6 Part Burn through 44
Gambar 4. 7 Part Undercut 45
Gambar 4. 8 Part Overlap 46
Gambar 4. 9 Part Spatter 47
Gambar 4. 10 Hasil Pra-pemrosesan 47
Gambar 4. 11 Hasil Segmentasi ROI 48
Gambar 4. 12 Grafik Variansi PCA 51
Gambar 4. 13 Grafik Iterasi Proses Training 52
Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Statis 0 lux 55
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Statis 50-100 lux 55
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Statis 150-200 lux 56
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Statis 250-300 lux 56
Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Statis Jarak Kamera 10 cm 57
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Statis Variasi Jarak Kamera 15-25 cm 57
Gambar 4. 20 Hasil Pengujian Statis Variasi Jarak Kamera 30–35 cm 58
Gambar 4. 21 Hasil Pengujian Statis Variasi Jarak Kamera 40 cm 58
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Statis Variasi Sudut 0° 59

Gambar 4. 23 Hasil Pengujian Statis Variasi Sudut 10°-20° 59
Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Statis Variasi Sudut 30°-50° 60
Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Statis Variasi Sudut 60°-80° 60
Gambar 4. 26 Grafik Akurasi Pencahayaan 64
Gambar 4. 27 Grafik Akurasi Variasi Jarak 67
Gambar 4. 28 Grafik Akurasi Variasi Sudut 70
Gambar 4. 29 Grafik Pengujian Dinamis Part Normal..... 72
Gambar 4. 30 Grafik Pengujian Dinamis Seluruh Kelas..... 74

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 7
Tabel 3. 1 Daftar Alat..... 24
Tabel 3. 2 Daftar Bahan 25
Tabel 3. 3 Format Data Citra..... 32
Tabel 3. 4 Hasil Prediksi 35
Tabel 4. 1 Nilai parameter GLCM dari sampel citra..... 49
Tabel 4. 2 Ringkasan Hasil Uji Statis..... 54
Tabel 4. 3 Pengaruh Variasi Pencahayaan. 61
Tabel 4. 4 Pengaruh Variasi Jarak Kamera..... 65
Tabel 4. 5 Pengaruh Variasi Sudut Kamera..... 68
Tabel 4. 6 Pengaruh Pengujian Dinamis..... 71
Tabel 4. 7 Pengujian Dinamis Seluruh Kelas 73
Tabel 4. 8 Perbandingan Prediksi SVM dengan Inspeksi Manual. 75
Tabel 4. 9 Tabel Confusion Matrix..... 76
Tabel 4. 10 Tabel Prediksi 77

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pengelasan merupakan tahapan penting dalam industri manufaktur karena kualitas sambungan las secara langsung mempengaruhi kekuatan, keamanan, dan umur pakai suatu produk (Pratama et al., 2020). Namun, di industri proses inspeksi kualitas hasil pengelasan masih didominasi oleh inspeksi visual secara manual oleh operator atau *inspector*. Metode ini memiliki sejumlah keterbatasan, di antaranya ketergantungan pada ketajaman penglihatan, pengalaman *inspector*, serta kelelahan kerja. Akibatnya, sering terjadi kesalahan inspeksi (*inspection error*), seperti cacat berukuran kecil yang tidak terdeteksi (*false negative*) atau area normal yang salah diklasifikasikan sebagai cacat (*false positive*). Kesalahan ini umumnya muncul pada cacat seperti *porosity, overlap,* dan *spatter* yang sulit dibedakan secara visual, terutama pada kondisi produksi dengan kecepatan tinggi serta faktor kelelahan operator.

Cacat pengelasan yang tidak terdeteksi dapat menurunkan kualitas dan keselamatan produk karena melemahkan sambungan las serta memicu retak yang mempercepat kegagalan struktur. Dalam konteks industri manufaktur, khususnya pada komponen otomotif, keberadaan cacat las dapat menyebabkan meningkatnya jumlah produk *reject* dan *rework*, menurunkan efisiensi proses produksi, serta meningkatkan biaya operasional perusahaan. Selain kerugian ekonomi, cacat las yang lolos ke tahap perakitan juga berpotensi menimbulkan masalah keselamatan (*safety*) dan klaim kualitas dari pelanggan, yang pada akhirnya berdampak pada reputasi dan tingkat kepercayaan terhadap perusahaan (Khumaidi & Pradana, 2022).

Keterbatasan inspeksi visual manual tersebut mendorong perlunya sistem inspeksi otomatis berbasis pengolahan citra digital yang mampu bekerja secara konsisten, objektif, dan *real-time*. Sistem inspeksi otomatis berbasis kamera memungkinkan proses pemeriksaan kualitas dilakukan secara kontinu tanpa

dipengaruhi oleh faktor kelelahan operator maupun subjektivitas penilaian. Dengan memanfaatkan citra digital hasil pengelasan, karakteristik visual seperti tekstur permukaan, pola tepi, dan ketidakteraturan struktur las dapat dianalisis menggunakan algoritma pengolahan citra digital, sehingga proses deteksi cacat menjadi lebih akurat dibandingkan metode manual (Saefulloh et al., 2024).

Perkembangan teknologi *image processing* dan *machine learning* telah banyak dimanfaatkan dalam sistem inspeksi visual otomatis di bidang manufaktur. Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu menerapkan pendekatan *deep learning* yang membutuhkan sumber daya komputasi tinggi, penggunaan GPU, serta dataset dalam jumlah besar untuk memperoleh akurasi optimal (Pan et al., 2020) (Khumaidi & Pradana, 2022). Kondisi ini menjadi kendala tersendiri bagi industri kecil dan menengah yang memiliki keterbatasan biaya dan infrastruktur komputasi, sehingga diperlukan metode pengolahan citra dan machine learning yang ringan, efisien, dan tetap mampu memberikan performa deteksi yang baik pada perangkat bersumber daya terbatas.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi visual cacat pengelasan berbasis pengolahan citra digital dengan mengombinasikan metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), *Principal Component Analysis* (PCA), dan *Support Vector Machine* (SVM). Metode GLCM digunakan untuk mengekstraksi fitur tekstur pengelasan, seperti *contrast, correlation, energy,* dan *homogeneity*, yang relevan dalam mengidentifikasi cacat las (Asni et al., 2022). Sementara itu, metode HOG dimanfaatkan untuk menangkap karakteristik bentuk dan tepi (*edge*) pada jalur las yang efektif dalam membedakan cacat struktural seperti *undercut* dan *burn through* (Shi et al., 2025).

Fitur hasil ekstraksi GLCM dan HOG memiliki dimensi yang relatif besar dan berpotensi menimbulkan redundansi data, sehingga diterapkan metode *Principal Component Analysis* (PCA) sebagai teknik reduksi dimensi untuk mempertahankan komponen utama yang paling berkontribusi terhadap variasi data, sekaligus meningkatkan efisiensi komputasi dan kestabilan sistem klasifikasi. Selanjutnya, proses klasifikasi cacat pengelasan dilakukan menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM) multikelas yang memiliki

kemampuan generalisasi tinggi dan performa yang baik pada dataset berdimensi tinggi dengan jumlah data terbatas (Wira Bramantya & Utaminingrum, 2022).

Sebagai platform implementasi, penelitian ini menggunakan Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan utama karena memiliki ukuran yang ringkas, konsumsi daya rendah, serta kemampuan komputasi yang memadai untuk menjalankan algoritma pengolahan citra dan *machine learning* ringan (Bachri et al., 2024). Dengan dukungan kamera sebagai perangkat akuisisi citra, sistem ini diharapkan mampu melakukan deteksi cacat pengelasan secara *real-time* pada kondisi lingkungan produksi yang bervariasi, baik dari sisi pencahayaan, jarak, maupun sudut pengambilan citra.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inspeksi visual otomatis yang akurat untuk mendukung pengendalian kualitas proses pengelasan. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, selanjutnya dirumuskan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta batasan penelitian sebagai dasar pelaksanaan penelitian ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi cacat pengelasan berbasis Raspberry dengan metode GLCM *(Gray-Level Co-occurrence Matrix),* HOG *(Histogram of Oriented Gradients),* PCA *(Principal Component Analysis)* dan SVM (*Support Vector Machine)* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pencahayaan, jarak kamera, serta sudut kamera terhadap akurasi deteksi cacat pengelasan ?
3. Bagaimana tingkat akurasi sistem dalam mengklasifikasikan jenis-jenis cacat pengelasan ?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi visual cacat pengelasan berbasis Raspberry menggunakan metode GLCM *(Gray-Level*

Co-occurrence Matrix), HOG *(Histogram of Oriented Gradients),* PCA *(Principal Component Analysis)* dan SVM (*Support Vector Machine).*

2. Menganalisis pengaruh variasi pencahayaan, jarak kamera, serta sudut kamera terhadap performa sistem.
3. Menentukan tingkat akurasi sistem dalam mengklasifikasikan jenis-jenis cacat pengelasan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu di bidang pengolahan citra digital berbasis raspberry untuk aplikasi industri.
2. Menyediakan alternatif sistem inspeksi otomatis yang efisien dan akurat, mengurangi ketergantungan pada inspeksi manual.
3. Memberikan solusi terjangkau bagi industri kecil dan menengah (IKM) dalam meningkatkan kualitas produksi melalui sistem deteksi cacat otomatis.
4. Menjadi dasar bagi PT Hiruta Kogyo Indonesia dalam pengambilan keputusan untuk menerapkan sistem inspeksi otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas produksi.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, antara lain :

1. Jenis cacat pengelasan yang dianalisis terbatas pada *porosity, undercut, burn through, overlap* dan *spatter*, karena kelima jenis cacat ini merupakan cacat yang paling umum terjadi dan paling signifikan dampaknya pada proses produksi di PT. Hiruta Kogyo Indonesia.
2. Variasi pencahayaan diuji antara 0-300 lux, jarak kamera antara 10-40 cm dan sudut kamera 0-80 derajat.
3. Pengujian dilakukan pada satu lokasi lingkungan industri, sehingga hasil belum mewakili seluruh variasi kondisi produksi di industri lain.
4. Pengujian sistem dilakukan dengan posisi benda kerja (part) yang disesuaikan dengan posisi pada dataset pelatihan.

DAFTAR PUSTAKA

Alamsyah, R., Tarigan, I. J., & Yap, R. (2023). Klasifikasi Jenis Sampah dengan Metode Gray Level Co-Occurence Matrix (GLCM) dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Armada Informatika*, *7*(2), 342–352. http://jurnal.stmikmethodistbinjai.ac.id/jai/article/view/85

Amat, M. A., & Luthfi, M. (2023). *Teknik Pemrosesan Gambar Digital pada Hasil Pengelasan TIG Aluminum Paduan untuk Aplikasi Pengukuran Lebar Manik Las*. *2*(1), 10–18.

Asni, B, M. W., & Mayasa, M. J. (2022). Identifikasi Citra Cacat Las Menggunakan Metode Gray Level Co-Occurance Matrix (GLCM) dan K-NN. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, *7*(1), 261–268. https://doi.org/10.36277/jteuniba.v7i1.176

Azwar, M. T. S., & Gusti. (2022). Identifikasi Cacat Pada Kayu Menggunakan Fitur GLCM Dengan Metode SVM. *Jurnal Algoritme*, *3*(1), 22–32.

Bachri, I. M., Elektro, F. T., Telkom, U., Murti, M. A., Elektro, F. T., Telkom, U., Zamhuri, A., Fakultas, F., Elektro, T., Telkom, U., Noir, R., & Pi, A. R. (2024). *Implementasi Face Detection dan Penghitungan Jumlah Menggunakan Raspberry Pi 4 dan*. *11*(1), 129–132.

Hafid, H., Balfas, M., Habib, F., & Fitrah, M. A. (2022). Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Pada Baja St. 37 Dengan Proses Pengelasan Smaw, Gmaw Dan Gtaw. *J-Move. Jurnal Teknik Mesin FT-UMI.*, *4*(1), 8–13. https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/jmove/article/download/408/271/

Hou, W., Rao, L., Zhu, A., & Zhang, D. (2022). Feature Fusion for Weld Defect Classification with Small Dataset. *Journal of Sensors*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/8088202

Ikhsanudin Ramadhan, Rilo Chandra Muhamadin, I. A. P. et al. (2024). *Analisis kegagalan pada hasil pengelasan di pt. autokorindo pratama*. *1*(1), 36–42.

Jaya, D., Kadnyanan, A., & Astuti, G. (2024). *Etl pipeline di pt sirkadian indonesia sehat*. *2*, 589–594.

Khumaidi, A., & Pradana, R. L. (2022). Identifikasi Penyebab Cacat Pada Hasil

Pengelasan Dengan Image Processing Menggunakan Metode Yolo. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, *9*(3), 107–112. https://doi.org/10.21107/triac.v9i3.15997

Maulana, A., Yuliana, D. E., & Kusumastutie, D. A. W. (2022). Weld Defect Classifier Using GLCM Extraction and ANN. *JTECS : Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem Dan Komputer*, *2*(2), 133. https://doi.org/10.32503/jtecs.v2i2.2701

Normawati, D., & Prayogi, S. A. (2021). Implementasi Naïve Bayes Classifier Dan Confusion Matrix Pada Analisis Sentimen Berbasis Teks Pada Twitter. *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI*, *5*(2), 697–711.

Pan, H. (2020). *Pengenalan dan Klasifikasi Gambar Baru Metode Menggabungkan Pembelajaran Transfer Algoritma dan Model MobileNet untuk Cacat Pengelasan*. 119951–119960.

Paskel, M. P. S., Ariyon, M., Fitrianti, F., Sebayang, A., Tarigan, E., & Tarigan, L. (2024). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Material Hasil Pengelasan Drill Pipe Baja dengan Menggunakan Metode Pengelasan SMAW dan MIG dengan Arus 140 A. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, *7*(9), 9493–9497. https://doi.org/10.54371/jiip.v7i9.5920

Pratama, Y., Basuki, M., Erifive Pranatal, D., & Teknik Perkapalan FTMK-ITATS Jl Arief Rachman Hakim, J. (2020). Pada Material Baja Kapal Ss 400 Terhadap Cacat Pengelasan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, *2*(1), 1–7.

Saefulloh, N., Indra, J., & Ratna Juwita, A. (2024). Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Kecacatan Pada Proses Welding di Perusahaan Manufacturing. *Technology and Science (BITS)*, *6*(1), 387–394. https://doi.org/10.47065/bits.v6i1.5321

Shi, C., Yan, S., Wang, L., Zhu, C., Yu, Y., Zang, X., Liu, A., Zhang, C., & Feng, X. (2025). A Welding Defect Detection Model Based on Hybrid-Enhanced Multi-Granularity Spatiotemporal Representation Learning. *Sensors*, *25*(15), 1–21. https://doi.org/10.3390/s25154656

Sriani, S., & Rizky, Y. (2024). Klasifikasi Kualitas Daun Tembakau Menggunakan Glcm (Gray Level Co-Occurrence Matrix) Dan Svm (Support Vector Machine). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *12*(3), 3342–3349.

https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4599

Sujana, N., Mutoffar, M. M., & Haryanto, A. A. (2024). *UNTUK DETEKSI EKSPRESI WAJAH EMOSIONAL*. *06*(02), 115–124.

Sukarman, S.-, & Abdulah, A. (2020). Optimasi Single Response Proses Resistance Spot Welding Pada Penggabungan Baja Beda Material Menggunakan Metode Eksperimental Taguchi. *Multitek Indonesia*, *14*(2), 69–79. https://doi.org/10.24269/mtkind.v14i2.3076

Ur Rahman, A., Noori Qadir, A., & Othman Sabir, P. (2025). An abstract approach to sequences and series using soft complex numbers. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, *43*(5), 1751–1759. https://doi.org/10.14744/sigma.2025.00000

Wira Bramantya, A., & Utaminingrum, F. (2022). Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Tipe Permukaan Jalan menggunakan Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) dan Support Vector Machine (SVM) berbasis Raspberry Pi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, *6*(2), 552–558. http://j-ptiik.ub.ac.id