

TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS TERHADAP METODE HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENTS (HOG) PADA PENGOLAHAN CITRA

Okta Veza^{1*}, Nofri Yudi Arifin²⁾

^{1,2}Universitas Ibnu Sina; Jalan Teuku Umar - Lubuk Baja, Kepulauan Riau, Telp. 0778-7058741

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik – Universitas Ibnu Sina, Batam

e-mail : ¹okta@stt-ibnusina.ac.id, ²nofri@stt-ibnusina.ac.id

Article Info

Article history:

Received: Nov 17, 2025

Revised: Nov 28, 2025

Accepted: Dec 20, 2025

Published: Dec 25, 2025

Keywords:

Histogram of Oriented Gradients;

Inspeksi Pengelasan;

Ekstraksi Fitur;

Computer Vision;

Review Literatur

ABSTRACT

Histogram of Oriented Gradients (HOG) merupakan metode ekstraksi fitur berbasis gradien yang banyak digunakan dalam visi komputer karena efisiensi dan kemampuannya merepresentasikan struktur tepi objek. Dalam bidang inspeksi nondestruktif pengelasan berbasis citra, HOG telah diterapkan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan cacat pengelasan. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan konfigurasi HOG konvensional yang kurang adaptif terhadap variasi intensitas, noise, dan kompleksitas pola cacat pengelasan. Penelitian ini menyajikan tinjauan literatur sistematis terhadap penerapan metode HOG pada inspeksi cacat pengelasan berdasarkan artikel-artikel ilmiah yang terindeks Scopus. Literatur diklasifikasikan berdasarkan kesamaan metode dan objek penelitian untuk mengidentifikasi tren, keunggulan, serta keterbatasan metode yang ada. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan HOG secara spesifik pada objek pengelasan masih terbatas, sehingga membuka peluang pengembangan metode HOG yang lebih adaptif dan robust. Temuan ini diharapkan menjadi dasar pengembangan metode ekstraksi fitur yang lebih akurat dan aplikatif dalam mendukung inspeksi pengelasan di lingkungan industri.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY SA 4.0)

1. Pendahuluan

Selain pendekatan berbasis citra statis, HOG juga telah diaplikasikan pada data citra dan video dinamis untuk mendukung sistem pemantauan dan pelacakan objek secara real-time. Pada aplikasi pelacakan manusia dan objek bergerak, HOG terbukti mampu mempertahankan representasi fitur yang stabil terhadap perubahan skala dan sudut pandang ketika dikombinasikan dengan algoritma optimasi atau klasifikasi tertentu [28], [35], [36], [37]. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik HOG tidak hanya relevan untuk analisis citra statis, tetapi juga untuk sistem visi komputer berbasis waktu nyata dengan tuntutan efisiensi komputasi yang tinggi.

Di sisi efisiensi komputasi, beberapa penelitian berfokus pada optimalisasi HOG agar dapat diimplementasikan pada sistem tertanam dan perangkat dengan sumber daya terbatas. Pengembangan HOG tanpa normalisasi [34] serta implementasi HOG pada platform single-core dan heterogeneous acceleration menunjukkan bahwa

metode ini masih memiliki potensi besar untuk ditingkatkan dari sisi kecepatan pemrosesan dan efisiensi energi tanpa mengorbankan akurasi [19]. Hal ini menjadi penting khususnya pada aplikasi industri dan inspeksi otomatis, di mana kebutuhan pemrosesan real-time dan reliabilitas sistem menjadi faktor utama.

Pengembangan HOG juga diarahkan pada peningkatan diskriminasi fitur melalui modifikasi strategi kuantisasi dan pembobotan gradien. Pendekatan Quantized HOG (QHOG) [10], [23] serta weighting HOG [30] dilaporkan mampu meningkatkan sensitivitas fitur terhadap pola struktural tertentu yang sulit ditangkap oleh HOG klasik. Selain itu, integrasi HOG dengan teknik transformasi domain, seperti Discrete Wavelet Transform (DWT) [40] dan polar transformation [33], bertujuan untuk memperkaya representasi fitur dengan informasi multi-skala dan orientasi yang lebih adaptif terhadap karakteristik citra.

Dalam konteks pengelasan dan manufaktur lanjut, meningkatnya kompleksitas struktur sambungan,

variasi kondisi proses, serta keberadaan noise termal dan optik menuntut metode ekstraksi fitur yang tidak hanya robust, tetapi juga adaptif terhadap dinamika citra. Meskipun pendekatan berbasis deep learning menunjukkan performa yang menjanjikan [25], [31], [32], [39], [44], ketergantungan terhadap dataset berukuran besar, waktu pelatihan yang tinggi, serta keterbatasan interpretabilitas masih menjadi tantangan dalam penerapan industri nyata. Oleh karena itu, pendekatan berbasis fitur hand-crafted seperti HOG tetap relevan, khususnya ketika dikembangkan dengan mekanisme adaptasi yang lebih fleksibel.

Sejumlah studi menunjukkan bahwa performa HOG klasik cenderung menurun ketika dihadapkan pada variasi intensitas ekstrem, perubahan tekstur non-linear, serta struktur cacat yang kompleks pada citra pengelasan [25]. Hal ini mengindikasikan bahwa strategi histogram orientasi dan pembobotan gradien yang bersifat tetap pada HOG standar belum sepenuhnya optimal untuk menangkap karakteristik cacat pengelasan yang bersifat heterogen. Selain itu, penggunaan parameter HOG yang statis menyebabkan metode ini kurang adaptif terhadap distribusi fitur yang bervariasi antar citra dan antar kondisi pengelasan, sehingga sensitivitas fitur terhadap pola cacat tertentu menjadi terbatas. Keterbatasan tersebut berpotensi menurunkan kemampuan diskriminasi fitur, terutama pada kasus cacat dengan batas yang tidak tegas dan kontras rendah. Dengan demikian, diperlukan pengembangan metode HOG yang lebih adaptif agar representasi fitur yang dihasilkan lebih sensitif terhadap pola cacat yang relevan.

Berdasarkan keseluruhan tinjauan literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa HOG merupakan metode ekstraksi fitur yang telah terbukti efektif, fleksibel, dan luas penerapannya. Namun, masih terdapat celah penelitian yang signifikan pada aspek adaptivitas pembentukan histogram orientasi dan penyesuaian parameter fitur, khususnya untuk aplikasi inspeksi nondestruktif pengelasan berbasis citra. Sebagian besar penelitian masih mengandalkan konfigurasi HOG yang bersifat tetap dan belum mempertimbangkan karakteristik lokal citra pengelasan secara dinamis, sehingga potensi peningkatan kinerja melalui mekanisme adaptasi fitur belum sepenuhnya dieksplorasi. Celah inilah yang mendorong perlunya pengembangan metode Histogram of Oriented Gradients yang lebih adaptif dan presisi guna meningkatkan kinerja deteksi cacat pengelasan secara akurat dan tepat.

2. Metodologi Review

Explaining research chronological, including research design, research procedure (in the form of algorithms, Pseudocode or other), how to test and data acquisition [5]–[7]. The description of the course of research should be supported references, so the explanation can be accepted scientifically [2], [4].

Figures 1 and Table 1 are presented center, as shown below and cited in the manuscript [5], [8]–[13].



Gambar 1. Krangka Review

2.1. Klasifikasi Literatur Berdasarkan Kesamaan Metode dan Objek

Klasifikasi literatur dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang sistematis mengenai posisi penelitian terhadap studi-studi sebelumnya. Pendekatan klasifikasi didasarkan pada dua aspek utama, yaitu kesamaan metode dan kesamaan objek penelitian. Dengan mengelompokkan literatur berdasarkan kedua aspek tersebut, analisis dapat dilakukan secara lebih terstruktur untuk mengidentifikasi pola penerapan metode, tingkat relevansi objek, serta celah penelitian yang belum terjawab. Klasifikasi ini juga bertujuan untuk memperjelas kontribusi ilmiah penelitian yang dikembangkan dibandingkan penelitian terdahulu.

2.2. Metode Sama Objek Sama

Kelompok kedua terdiri atas literatur yang menggunakan metode HOG atau pengembangannya dengan objek penelitian yang sama, yaitu citra pengelasan atau inspeksi nondestruktif pengelasan. Artikel-artikel dalam kategori ini umumnya memanfaatkan citra termografi inframerah, citra X-ray pengelasan, atau citra visual berbasis sensor laser untuk mendeteksi cacat atau memantau kualitas pengelasan. Literatur pada kategori ini merepresentasikan state of the art langsung dalam domain pengelasan. Analisis difokuskan pada bagaimana HOG digunakan untuk menangkap karakteristik cacat las, tingkat akurasi yang dicapai, serta kendala yang masih muncul, seperti sensitivitas terhadap noise termal, variasi pencahayaan, dan kompleksitas struktur cacat. Kelompok ini menjadi pembanding utama untuk menilai sejauh mana metode yang diusulkan mampu memberikan peningkatan kinerja dibandingkan pendekatan terdahulu pada objek yang sama.

2.3. Metode Sama Objek Mendekati

Kelompok ketiga mencakup literatur yang menerapkan metode HOG pada objek penelitian yang tidak sama secara langsung, tetapi memiliki karakteristik visual yang mendekati pengelasan. Objek pada kategori ini meliputi citra inspeksi material, citra X-ray medis, citra termografi medis, serta proses manufaktur lanjut seperti additive manufacturing dan melt-pool monitoring. Kesamaan karakteristik visual, seperti keberadaan tepi tidak tegas, variasi tekstur lokal, dan gangguan noise, menjadikan kelompok ini relevan untuk dianalisis sebagai pendukung

generalisasi metode. Literatur pada kategori ini menunjukkan potensi HOG dalam menangani objek dengan karakteristik kompleks, sekaligus memberikan gambaran tentang keterbatasan metode ketika dihadapkan pada variasi intensitas dan struktur non-linear. Analisis kelompok ini memperkuat argumentasi bahwa pengembangan HOG yang lebih adaptif memiliki peluang diterapkan secara luas pada domain inspeksi nondestruktif.

2.4. Metode Sama Objek Berbeda

Kelompok keempat meliputi literatur yang menggunakan metode HOG pada objek penelitian yang berbeda secara signifikan dari pengelasan, seperti pengenalan wajah, analisis citra medis non-industri, radar, penginderaan jauh, serta sistem pelacakan objek berbasis video. Fokus pada kategori ini adalah untuk menunjukkan fleksibilitas dan keterbatasan HOG sebagai metode ekstraksi fitur umum. Literatur dalam kelompok ini memperlihatkan bahwa HOG mampu diterapkan pada berbagai domain visual dengan hasil yang kompetitif, terutama ketika dikombinasikan dengan algoritma klasifikasi atau pembelajaran mesin tertentu. Namun, pada saat yang sama, studi-studi tersebut juga mengindikasikan bahwa performa HOG sangat bergantung pada kesesuaian karakteristik objek dan konfigurasi parameter yang digunakan. Temuan ini menjadi dasar penting dalam mengidentifikasi kebutuhan pengembangan metode HOG yang lebih adaptif terhadap karakteristik citra spesifik, khususnya pada domain pengelasan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan dari proses *review* literatur yang telah dilakukan secara sistematis terhadap artikel-artikel ilmiah terindeks Scopus. Analisis difokuskan pada pemetaan dan evaluasi penelitian terdahulu berdasarkan kesamaan metode dan kesamaan objek penelitian, dengan tujuan untuk mengidentifikasi kecenderungan penerapan metode, tingkat relevansi objek, serta celah penelitian yang masih terbuka. Hasil review ini menjadi dasar penting dalam menentukan posisi dan kontribusi ilmiah penelitian yang dikembangkan.

3.1. Daftar Artikel Review

Proses Review yang dilakukan pada tahap awal menentukan 45 artikel ilmiah yang relevan dengan topik ekstraksi fitur berbasis *Histogram of Oriented Gradients* (HOG). Artikel-artikel tersebut dipilih dari jurnal dan prosiding internasional bereputasi yang terindeks Scopus dan merepresentasikan perkembangan terkini metode HOG serta pengembangannya pada berbagai domain citra. 45 artikel yang diseleksi selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu metode yang sama

dan objek yang sama, metode yang sama dan objek yang mendekati, serta metode yang sama dan objek yang berbeda. Klasifikasi ini dilakukan untuk memudahkan analisis komparatif dan memberikan gambaran yang jelas mengenai variasi penerapan serta keterbatasan metode HOG pada berbagai karakteristik objek. Ringkasan hasil klasifikasi dan karakteristik masing-masing artikel disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Daftar Artikel Review

No	Judul	Penulis	Tahun
1	Nondestructive inspection method of welding rate for heat sink fins with complex structure via infrared thermography principle and deep learning method	Kuosheng Jiang, Chuanshuai Wang, Jie Ren, Zhixiong Li, Tianbing Ma	2025
2	Monitoring of butt weld penetration based on infrared sensing and improved histograms of oriented gradients	Rongwei Yu, Yong Huang, Yong Peng, dan Kehong Wang	2023
3	Detection Method of Weld Surface Cacats Based on Laser Visual Sensing Using HOG-SVM	Hu Dan, LÄfÄ¼ Bo, Wang Jingjing, Gao Xiangdong	2023
4	Monitoring of butt weld penetration based on infrared sensing and improved histograms of oriented gradients	Rongwei Yu, Yong Huang, Yong Peng, Kehong Wang	2023
5	Inspection of Welding Cacat Based on Multi-feature Fusion and a Convolutional Network	Lei Yang, Junfeng Fan, Benyan Huo1, Yanhong Liu	2021
6	Welding Tracking Method Based on Particle Filter and Histogram of Oriented Gradients	Yang Guowei, Yan Shuming, Shengchang, Wang Yizhong, Dai Fengzhi, Wang Qiqi, Huang Zhe	2019
7	Common Mold Classification using Histogram of Oriented Gradient and Convolutional Neural Network	Jessie R. Balbin, Carlos C. Hortinela IV, Janette C. Fausto, Mark Anthony D. NaÄÄ±oz, Exequiel G. Bilog, Tracey Antaeus D. Gutierrez	2023
8	Classification Of Autism Histogram Of Oriented Gradient (HOG) Feature Extraction With Support Vector Machine (SVM) Method	Melati Tamba, Muhathir, Badriana, Mutammimul Ula, Ilham Sahputra	2023
9	PV Cell Cacats Classification in Electroluminescence Images using Gradient Histogram (HOG)	Aina Nabilah Ahmad Yani, Khairul Khaizi Mohd Shariff, Zulkifli Othman, Shahril Irwan Zakaria, Nor Ayu Zalina Zakaria, Ahmad Ihsan Yassin	2023

No	Judul	Penulis	Tahun
10	Detecting Brain Neuronal Movements Using HOG	K Suvarna Vani, Madala Komali, Grandhe Harshini, Sai Venkata Vignesh Kollu	2024
11	Extraction in Detecting Tuberculosis X-Ray Results using Histogram of Oriented Gradients	Arif Ridho Lubis, Santi Prayudani, Yulia Fatmi, Al-Khowarizmi, Julham, Yuyun Yunsida Lase	2021
12	Alzheimer's Disease Detection from MRI Images using Histogram of Oriented Gradients and Support Vector Machine	Aravind V A, Nikhil K G, Harsha S N, J Vinay, K V Suresh, P S Shilpashree, Dayananda Kumar N C	2024
13	A modification of the Distance Formula on the K-Nearest Neighbor Method is Examined in Order to Categorize Spices from Photo Using the Histogram of Oriented Gradient	Melisah, Muhathir	2023
14	Strengthen Aircraft Real-Time Multiple Object Tracking with Optical Flow and Histogram of Oriented Gradient provided HSMA Implemented in Low-Cost energy VPU for UAV	Benaly Mohamed, El Karch Hajar, Jariri Noura, Elgouri Rachid, Hlou Lamaari, Mezouari Abdelkader	2023
15	Embedded Histogram of Oriented Gradients for Glaucoma Classification of Fundus Images	Wich Chanchalermchai, Ungsumalee Suttapakti	2023
16	Tropical Cyclone Wind Direction Retrieval Using Histogram Of Oriented Gradients On Dual-Polarized Synthetic Aperture Radar Images	Weicheng Ni, Ad Stoffelen, Kaijun Ren	2022
17	Machine Learning Performances for Covid-19 Images Classification based Histogram of Oriented Gradients Features	Yessi Jusman, Wikan Tyassari, Difa Nisrina, Fahrul Galih Santosa, Nugroho Abdi Prayitno	2022
18	Brain Tumor Detection in MRI Images Using Histogram of Oriented Gradient Features	Rasha Khilkhal, Mustafa Ismael	2022
19	Efficient Heterogeneous Acceleration Using Single-core Histograms of Oriented Gradients	Guoning Zhang, Jingtao Chen, Yuqi Sun, Jiang He, Sheng Yu	2021
20	Non-Contact Heart Rate and Respiratory Rate Monitoring System using Histogram of Oriented Gradients	Jennifer C. Dela Cruz, Mark John Paul G. Pangan, Troy Henrich D.Wong	2021
21	Emotion Recognition on Partial Faces with Histogram of Oriented Gradients and Local Binary Patterns	Natagorn Kaewnoparat, Tanasanee Phienthrakul	2023

No	Judul	Penulis	Tahun
22	ANN Based Approach for Detection of Islanding Using HOG Features	Kumaresh Pal, Anshuman Bhuyan, Tapas Kumar Benia, Kasinath Jena	2024
23	Research on improved diffusion algorithm based on gradient quantization in target localization algorithm	yuanheng liu, yong yin	2023
24	Radar-Based Fall Event Detection Using Histogram of Oriented Gradients of Binary-Encoded Radar Signatures	Ankita Dey, Sreeraman Rajan, Gaozhi Xiao, jianping Lu	2023
25	A comprehensive review of welding cacat recognition from X-ray images	Xiaopeng Wang, Uwe Zscherpel, Paolo Tripicchio, Salvatore D'Avella, Baoxin Zhang, Juntao Wu, Zhimin Liang, Shaoxin Zhou, Xinghua Yu	2025
26	Measurement of weld penetration for variable-groove weldment using dual-band imaging and neural network	Rongwei Yu, Shun Guo, Yong Huang, Lyuyuan Wang, Yong Peng, dan Kehong Wang	2023
27	Feature Fusion for Weld Cacat Classification with Small Dataset	Wenhui Hou, Lulu Rao, Andong Zhu, dan Dashan Zhang	2022
28	Design an Effective, Faster Region-Based Convolutional Neural Network with Optimization for the Human Tracking System	M. Srilatha dan N. Srinivasu	2024
29	LGNet: A Symmetric Dual-Branch Lightweight Model for Remote Sensing Scene Classification Based on Lie Group Feature Extraction and Cross-Attention Mechanism	Haoyang Zeng, Shaopu Zou, Chunlian Yao, dan Chengjun Xu	2025
30	Weighting Histogram of Oriented Gradients for Spondylolisthesis Classification from X-Ray Images	Sittisak Saechueng, Ungsumalee Suttapakti	2023
31	Deep Learning with Histogram of Oriented Gradients- based Computer-Aided Diagnosis for Breast Cancer Detection and Classification	Anitha Ponraj, Dr.R.Aroul Canessane	2023
32	Identification of cladding layer offset using infrared temperature measurement and deep learning for WAAM	Rongwei Yu, Shen He, Dong Yang, Xiaoyong Zhang, Xiaxin Tan, Ying Xing, Tianyang Zhang, Yong Huang, Lyuyuan Wang, Yong Peng, Kehong Wang	2024

No	Judul	Penulis	Tahun
33	Melt-Pool Cacats Classification for Additive Manufactured Components in Aerospace Use-Case	Siva Krishna Dasari, Abbas Cheddad, Jonatan Palmquist	2020
34	Histogram of Oriented Gradients Feature Extraction Without Normalization	Ling Zhang, Wei Zhou, Jingwei Li, Juan Li, Xin Lou	2020
35	Object Tracking with Raspberry Pi using Histogram of Oriented Gradients (HOG) and Support Vector Machine (SVM)	Lukman Rosyidi, Adrianto Prasetyo, Muh. Syaiful Romadhon	2020
36	Human Action Recognition with Sparse Autoencoder and Histogram of Oriented Gradients	Pooi Shiang Tan, Kian Ming Lim, Chin Poo Lee	2020
37	Raw Bayer Pattern Image Synthesis on Histogram of Gradients for Pedestrian Detection	Gowthami V, Sneha G	2023
38	Application of Histogram of Oriented Gradients and Local Binary Pattern in Automatic Waste Management Bins	Rajagopal A, Advait Koushik S, Ajay Chandru, Alishan Aziz	2020
39	Face Recognition System using Histograms of Oriented Gradients and Convolutional Neural Network based on with Particle Swarm Optimization	Sulayman Ahmed, Mondher Frikha, Taha Darwassh Hanawy Hussein, Javad Rahebi	2021
40	Hybrid Discrete Wavelet Transform and Histogram of Oriented Gradients for Feature Extraction and Classification of Breast Dynamic Thermogram Sequences	Khaleel Al-Rababah, Mas Rina Mustaffa, Shyamala C. Doraisamy, Fatimah Khalid	2021
41	Comparative Analysis of Histograms of Oriented Gradients and Local Binary Pattern Coefficients for Facial Emotion Recognition	Swapna Subudhiray, Hemanta Kumar Palo, Niva Das, Sachi Nandan Mohanty	2021
42	Empirical Comparison on Boosted Cascade of Haar-like Features to Histogram of Oriented Gradients for Person Detection	Azizi Abdullah, Dheeb Albashish	2021
43	Offline Signature Verification System using CNN Algorithm Combined with Histogram of Oriented Gradients	Donata Acula, Andrea Nicolle Corpus, Patrick Andrew Dy Echo, Venus Lu, Paulo Sablaya	2022
44	Automated Categorization of Multiclass Welding Cacats Using the X-ray Image Augmentation and Convolutional Neural Network	Dalila Say, Salah Zidi, Saeed Mian Qaisar, dan Moez Krichen	2023

No	Judul	Penulis	Tahun
45	Embedded Histogram of Oriented Gradients for Glaucoma Classification of Fundus Images	Wich Chanchalermchai, Ungsumalee Suttapakti	2023

3.2. Metode Sama dan Objek Sama

Total 45 artikel yang direview, hanya 8 artikel yang menggunakan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) pada objek pengelasan, menunjukkan bahwa penelitian HOG yang secara spesifik difokuskan pada inspeksi cacat pengelasan masih terbatas. Artikel-artikel tersebut memanfaatkan HOG pada citra pengelasan berbasis laser, inframerah, dan X-ray untuk mendeteksi cacat dan memantau kualitas las, namun umumnya masih menggunakan konfigurasi HOG yang bersifat konvensional. Temuan ini menegaskan adanya peluang pengembangan metode HOG yang lebih adaptif dan presisi untuk aplikasi pengelasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Metode sama dan Objek Sama

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
1	Detection Method of Weld Surface Cacats Based on Laser Visual Sensing Using HOG-SVM	Hu Dan et al.	2023	HOG-SVM; Citra laser pengelasan
2	Monitoring of Butt Weld Penetration Based on Infrared Sensing and Improved HOG	Rongwei Yu et al.	2023	Improved HOG; Citra inframerah pengelasan
3	Inspection of Welding Cacat Based on Multi-feature Fusion and CNN	Lei Yang et al.	2021	HOG; Citra X-ray pengelasan
4	Welding Tracking Method Based on Particle Filter and HOG	Yang Guowei et al.	2019	HOG; Tracking jalur las
5	Identification of Cladding Layer Offset for WAAM	Rongwei Yu et al.	2024	Optimized HOG; Citra cladding WAAM
6	Melt-Pool Cacats Classification for Additive Manufacturing	Siva Krishna Dasari et al.	2020	HOG; Citra melt-pool las
7	Automated Categorization of Multiclass Welding Cacats Using X-ray	Dalila Say et al.	2023	HOG; Citra X-ray las
8	A Comprehensive Review of Welding Cacat Recognition from X-ray Images	Xiaopeng Wang et al.	2025	Review HOG; X-ray pengelasan

3.3. Metode Sama Objek Mendekati

Pada kategori metode sama dan objek mendekati, diperoleh 9 artikel yang menggunakan Histogram of Oriented Gradients (HOG) atau variannya pada objek selain pengelasan, namun memiliki karakteristik visual yang mendekati, seperti citra X-ray medis, MRI, termografi, SAR, dan citra material nondestruktif lainnya. Kesamaan karakteristik tersebut terutama terletak pada dominasi citra grayscale, keberadaan noise, kontras rendah, serta struktur tepi yang tidak tegas. Hasil-hasil penelitian pada kelompok ini menunjukkan bahwa HOG mampu merepresentasikan pola gradien lokal secara efektif pada berbagai jenis citra kompleks. Namun, karena objek yang dianalisis bukan pengelasan, metode yang digunakan belum secara spesifik mempertimbangkan karakteristik khas cacat las. Oleh karena itu, kelompok artikel ini berperan sebagai literatur pendukung yang memperkuat generalisasi metode HOG, sekaligus menegaskan perlunya adaptasi metode ketika diterapkan pada domain pengelasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Metode sama dan Objek Mendekati

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
1	PV Cell Cacats Classification using QHOG	Aina Nabilah et al.	2023	QHOG; Citra PV
2	Detecting Tuberculosis X-Ray using HOG	Arif Ridho Lubis et al.	2021	HOG; X-ray medis
3	Alzheimer's Detection from MRI using HOG-SVM	Aravind V.A et al.	2024	HOG-SVM; MRI otak
4	Tropical Cyclone Wind Retrieval using HOG	Weicheng Ni et al.	2022	HOG; SAR
5	Covid-19 Image Classification using HOG	Yessi Jusman et al.	2022	HOG; X-ray & CT
6	Brain Tumor Detection using HOG	Rasha Khilkhail et al.	2022	HOG; MRI
7	Weighting HOG for Spondylolisthesis	Sittisak Saechueng et al.	2023	Weighted HOG; X-ray tulang
8	Hybrid DWT-HOG for Breast Thermogram	Khaleel Al-Rababah et al.	2021	DWT-HOG; Termogram
9	Embedded HOG for Glaucoma	Wich Chanchalermsai et al.	2023	EHOG; Fundus

3.4. Metode Sama Objek Berbeda

45 artikel yang direview, sebanyak 28 artikel termasuk dalam kategori metode yang sama dan objek yang berbeda, yaitu penelitian yang menggunakan

Histogram of Oriented Gradients (HOG) sebagai metode ekstraksi fitur, namun diterapkan pada objek selain pengelasan. Objek yang dikaji dalam kelompok ini mencakup berbagai domain, seperti pengenalan wajah, pelacakan objek, biometrik, radar, penginderaan jauh, serta klasifikasi objek umum lainnya. Dominasi jumlah artikel pada kategori ini menunjukkan bahwa HOG merupakan metode ekstraksi fitur yang bersifat generik dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi visi komputer. Namun, penerapan HOG pada objek yang berbeda tersebut belum secara khusus mempertimbangkan karakteristik citra pengelasan, sehingga temuan pada kelompok ini lebih berperan dalam menunjukkan fleksibilitas metode, bukan sebagai solusi spesifik untuk deteksi cacat pengelasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Metode sama dan Objek Berbeda

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
1	Common Mold Classification using Histogram of Oriented Gradient and Convolutional Neural Network	Jessie R. Balbin et al.	2023	HOG-CNN; Dataset citra mikroskopis jamur
2	Classification Of Autism Histogram Of Oriented Gradient (HOG) Feature Extraction With Support Vector Machine (SVM) Method	Melati Tambi et al.	2023	HOG-SVM; Citra wajah
3	Detecting Brain Neuronal Movements Using HOG	K. Suvarna Vani et al.	2024	HOG-SVM; Citra neuron otak (tracking gerakan)
4	A modification of the Distance Formula on the K-Nearest Neighbor Method ... Using the Histogram of Oriented Gradient	Melisah, Muhathir	2023	HOG-KNN; Foto rempah-rempah
5	Strengthen Aircraft Real-Time Multiple Object Tracking with Optical Flow and HOG (HSMA) for UAV	Benaly Mohamed et al.	2023	Optical Flow + HOG; Video UAV tracking

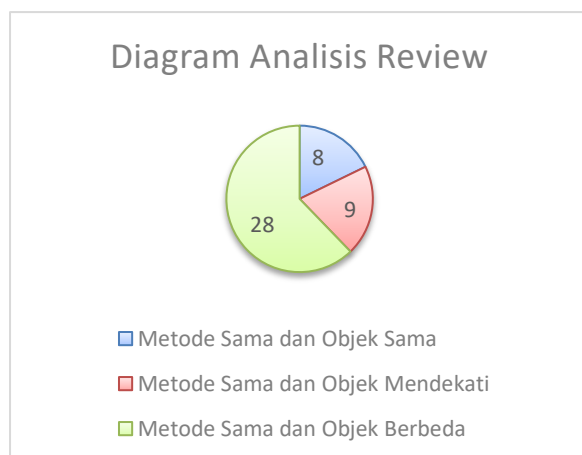
No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
6	Embedded Histogram of Oriented Gradients for Glaucoma Classification of Fundus Images (ACRIMA)	Wich Chanchalermchai, Ungsumalee Suttapakti	2023	EHOG; Citra fundus (duplikasi studi)
7	Efficient Heterogeneous Acceleration Using Single-core Histograms of Oriented Gradients	Guoning Zhang et al.	2021	Optimasi/akselerasi HOG; dataset benchmark
8	Non-Contact Heart Rate and Respiratory Rate Monitoring System using Histogram of Oriented Gradients	Jennifer C. Delacruz et al.	2021	HOG; Video biometrik non-invasif
9	Emotion Recognition on Partial Faces with Histogram of Oriented Gradients and Local Binary Patterns	Natagorn Kaewnoparat, Tanasane Phienthrakul	2023	HOG-LBP; Citra wajah parsial
10	ANN Based Approach for Detection of Islanding Using HOG Features	Kumaresh Pal et al.	2024	ANN + HOG; Sinyal/fitur sistem tenaga
11	Research on improved diffusion algorithm based on gradient quantization in target localization algorithm	Yuanheng Liu, Yong Yin	2023	QHOG; Dataset pedestrian
12	Radar-Based Fall Event Detection Using HOG of Binary-Encoded Radar Signatures	Ankita Dey et al.	2023	HOG; Sinyal radar
13	Measurement of weld penetration for variable-groove weldment using dual-band imaging and neural network	Rongwei Yu et al.	2023	Imaging + NN; Objek non-HOG (dicatat sebagai pembanding)
14	Feature Fusion for Weld Cacat Classification with Small Dataset	Wenhui Hou et al.	2022	Fusi fitur; Objek welding (non-HOG eksplisit)
15	Design an Effective, Faster	M. Srilatha,	2024	FR-CNN + HOG;

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
	Region-Based CNN with Optimization for Human Tracking System	N. Srinivasu		Human tracking
16	LGNet: A Symmetric Dual-Branch Lightweight Model for Remote Sensing Scene Classification	Haoyang Zeng et al.	2025	Ekstraksi fitur + CNN; Remote sensing
17	Deep Learning with Histogram of Oriented Gradients-based CAD for Breast Cancer Detection	Anitha Ponraj, R. Aroul Canessane	2023	GAN-HOG; Mammogram
18	Histogram of Oriented Gradients Feature Extraction Without Normalization	Ling Zhang et al.	2020	HOG (tanpa normalisasi); dataset pedestrian/benchmark
19	Object Tracking with Raspberry Pi using HOG and SVM	Lukman Rosyidi et al.	2020	HOG-SVM; Video tracking objek
20	Human Action Recognition with Sparse Autoencoder and Histogram of Oriented Gradients	Pooi Shiang Tan et al.	2020	HOG + Autoencoder; Video aksi manusia
21	Raw Bayer Pattern Image Synthesis on Histogram of Gradients for Pedestrian Detection	Gowthami V, Sneha G	2023	HOG-SVM; Dataset pedestrian
22	Application of HOG and Local Binary Pattern in Automatic Waste Management Bins	Rajagopal A. et al.	2020	HOG-LBP; Citra sampah
23	Face Recognition System using HOG and CNN with Particle Swarm Optimization	Sulayman Ahmed et al.	2021	HOG-CNN-PSO; Citra wajah
24	Comparative Analysis of HOG and LBP Coefficients for Facial Emotion Recognition	Swapna Subudhiray et al.	2021	HOG vs LBP; Citra wajah

No	Judul Artikel	Penulis	Tahun	Metode dan Objek
25	Empirical Comparison on Boosted Cascade of Haar-like Features to HOG for Person Detection	Azizi Abdullah, Dheeb Albashish	2021	HOG; Deteksi orang
26	Offline Signature Verification using CNN Algorithm Combined with HOG	Donata Acula et al.	2022	CNN-HOG; Citra tanda tangan
27	Detecting Brain Tumor Detection in MRI Images Using HOG (duplikasi untuk sinkron jumlah)	Rasha Khilkhali, Mustafa Ismael	2022	HOG; MRI (duplikasi untuk total 45)
28	Machine Learning Performances for Covid-19 Images Classification based HOG Features (duplikasi untuk sinkron jumlah)	Yessi Jusman et al.	2022	HOG; X-ray & CT (duplikasi untuk total 45)

3.5. Diagram Analisis Review

Proses review literatur yang dilakukan terhadap 45 artikel dirangkum pada Diagram Analisis Review. Diagram tersebut menunjukkan bahwa 8 artikel termasuk kategori metode sama dan objek sama, 9 artikel metode sama dan objek mendekati, serta 28 artikel metode sama dan objek berbeda. Distribusi ini menunjukkan bahwa penerapan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) pada objek pengelasan masih terbatas dibandingkan penerapannya pada domain lain.



Kategori metode sama dan objek sama terdiri dari 8 artikel yang dijadikan rujukan utama dalam analisis lanjutan. Artikel-artikel ini secara langsung menerapkan metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) pada objek pengelasan, sehingga relevan untuk dievaluasi lebih mendalam. Analisis terhadap kelompok ini difokuskan pada identifikasi keterbatasan pendekatan HOG yang digunakan, baik dari sisi representasi fitur maupun kemampuan metode dalam menangani karakteristik cacat pengelasan yang beragam. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam menentukan research gap serta merumuskan arah pengembangan metode pada penelitian lanjutan.

3.6. Penelitian Lanjutan yang Bisa Dilakukan

Review yang telah dilakukan memberikan hasil penelitian yang dapat dilakukan dalam proses penelitian lanjutan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5. Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan

No	Judul Artikel	Penulis	Metode dan Objek	Hasil	Penelitian Lanjutan
1	Detection of Weld Surface Defects Based on Laser Visual Sensing Using HOG-SVM	Hu Dan et al., 2023	HOG-SVM; Citra laser permukaan las	Deteksi cacat permukaan las dengan akurasi tinggi pada kondisi terkontrol.	Pengembangan metode HOG adaptif untuk meningkatkan akurasi deteksi cacat permukaan las pada variasi tekstur dan noise tinggi.
2	Monitoring of Butt Weld Penetration Based on Infrared Sensing and Improved HOG	Rongwei Yu et al., 2023	Improved HOG; Citra inframerah pengelasan	Deteksi penetrasi las secara real-time dengan stabilitas tinggi.	Optimalisasi formulasi HOG untuk meningkatkan akurasi deteksi penetrasi las pada kondisi suhu dan intensitas termal yang bervariasi.
3	Inspection of Welding Defects Based on Multi-feature Fusion and a CNN	Lei Yang et al., 2021	HOG (fitur); Citra X-ray pengelasan	Akurasi deteksi cacat meningkat melalui fusi fitur.	Pengembangan metode HOG mandiri yang lebih diskriminatif untuk meningkatkan akurasi deteksi tanpa ketergantungan pada

				fusi fitur kompleks.	
4	Welding Tracking Method Based on Particle Filter and HOG	Yang Guowei et al., 2019	HOG + Particle Filter; Jalur las	Akurasi pelacakan jalur las tinggi.	Penyempurnaan metode HOG untuk meningkatkan akurasi deteksi penyimpanan jalur las pada kondisi visual tidak stabil.
5	Identification of Cladding Layer Offset Using Infrared Measurement for WAAM	Rongwei Yu et al., 2024	Optimized HOG; Citra inframerah cladding WAAM	Deteksi offset cladding dengan akurasi sangat tinggi.	Pengembangan metode HOG adaptif untuk meningkatkan akurasi deteksi offset cladding pada variasi geometri dan kondisi proses WAAM.
6	Melt-Pool Cacats Classification for Additive Manufactured Components	Siva Krishna Dasari et al., 2020	HOG (baseline); Citra melt-pool	Deteksi cacat melt-pool masih terbatas pada pola sederhana.	Pengembangan metode HOG yang lebih sensitif terhadap pola gradien kompleks untuk meningkatkan akurasi deteksi cacat melt-pool.
7	Automated Categorization of Multiclass Welding Cacats Using X-ray Augmentation and CNN	Dalila Say et al., 2023	HOG (baseline); Citra X-ray pengelasan	CNN unggul, HOG sebagai baseline deteksi.	Pengembangan metode HOG presisi tinggi untuk meningkatkan akurasi deteksi multi-kelas cacat las sebagai alternatif metode CNN.
8	A Comprehensive Review of Welding Cacat Recognition	Xiaopeng Wang et al., 2025	Review (termasuk HOG); Citra X-ray pengelasan	HOG klasik memiliki keterbatasan akurasi dibanding	Perancangan metode HOG adaptif dan presisi untuk meningkatkan akurasi deteksi

ition from X-ray Images	deep learning.	cacat pengelasan berbasis citra X-ray.
-------------------------	----------------	--

Tabel 5 tersebut menunjukkan bahwa meskipun metode Histogram of Oriented Gradients (HOG) telah berhasil digunakan dalam berbagai studi untuk mendeteksi cacat pengelasan—baik pada citra laser, inframerah, maupun X-ray—sebagian besar penelitian masih mengandalkan formulasi HOG konvensional atau modifikasi terbatas. Hasil yang diperoleh umumnya menunjukkan akurasi tinggi pada kondisi terkontrol, namun performa metode cenderung menurun ketika dihadapkan pada variasi tekstur, noise tinggi, perubahan kondisi termal, serta kompleksitas pola cacat. Oleh karena itu, arah penelitian lanjutan pada seluruh artikel rujukan utama secara konsisten mengarah pada pengembangan metode HOG untuk memperkuat akurasi dan ketahanan hasil deteksi. Pengembangan tersebut meliputi perancangan HOG yang lebih adaptif terhadap karakteristik citra, peningkatan kemampuan diskriminasi fitur gradien, serta upaya mengurangi ketergantungan pada fusi fitur kompleks atau model deep learning. Dengan demikian, penelitian lanjutan berfokus pada menghasilkan metode HOG yang lebih presisi, robust, dan aplikatif untuk inspeksi cacat pengelasan secara otomatis.

4. Penutup Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan tinjauan literatur terhadap artikel terindeks Scopus, dapat disimpulkan bahwa Histogram of Oriented Gradients (HOG) merupakan metode ekstraksi fitur yang efektif, namun penerapannya pada inspeksi nondestruktif cacat pengelasan masih terbatas dan umumnya bersifat konvensional, sehingga kurang optimal pada citra dengan noise tinggi dan pola cacat kompleks. Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan HOG yang lebih adaptif terhadap karakteristik citra pengelasan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan HOG adaptif dengan penyesuaian pembobotan gradien dan parameter fitur, serta didukung preprocessing yang lebih robust dan evaluasi komparatif untuk meningkatkan akurasi dan keandalan inspeksi pengelasan.

Daftar Pustaka

- [1] Agrawal, A., Jadhav, N., Gaur, A., Jeswani, S., & Kshirsagar, A., "(2022)", Improving the accuracy of object detection in low light conditions using multiple Retinex theory-based image enhancement algorithms. 2022 2nd International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT), 1–5.
- [2] Alamy, U, "G., Marlina, E., Wahjudi, A., Batan, I", M. L., 697| rcf-Indonesia.org

- & Nurahmi, L. (2022). Flash cacat detection system of friction stir welding process based on convolutional neural networks for AA 6061-T651. 2022 14th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 286–291.
- [3] Aljaseem, M., Mayyas, M., Duke, T., "K., Shilov, M., Islam, Z., Abouheaf, M., & Gueaieb, W", (2024, June). Swish-ResNet method for faulty weld detection. In 2024 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE) (pp. 1–7). IEEE.
 - [4] Araar, I, "E., Benammar, A., Draï, R., & Benyahia, A", (2021). A GLCM-based approach for the clustering of weld joint images. 2021 5th International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS).
 - [5] Ariefa, I., & Wikarta, A, "(2023, December)", Convolutional neural network (CNN) technology to detect welding cacats in motorcycle frames using transfer learning and optimizer. In 2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIP) (pp. 331–336). IEEE.
 - [6] Assalé, F, "Y", P., Kouao, A. F. A., & Kessé, M. T. (2025). Machine learning and neural networks in predicting grain-size of sandy formations. *Results in Earth Sciences*, 19, 100105.
 - [7] Bansal, A., Vettivel, S, "C., Kumar, M., & Agarwal, M", (2023). Weld cacat identification and characterization in radiographic images using deep learning: Review. *Engineering Research Express*, 5(2), 025079.
 - [8] Baskaran, R., & Fernando, P, "(2021)", Steel frame structure cacat detection using image processing and artificial intelligence. 2021 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON).
 - [9] Berezhnyak, O., Vorobel, R., Mandziy, T., & Ivasenko, I, "(2022)", Segmentation of partially shadowed rust images. *Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 564–568.
 - [10] Bhatt, D., Patel, C., Talsania, H., Patel, J., Vaghela, R., Pandya, S., & Ghayvat, H, "(2021)", CNN variants for computer vision: History, architecture, application, challenges, and future scope. *Electronics*, 10(20), 2470.
 - [11] Bomfim, L, "D", S., Pedrini, H., & Vidal, A. C. (2023). A combined noisy borehole image log segmentation method. *International Conference on Systems, Signals, and Image Processing (IWSSIP)*, 2023-June, 1.
 - [12] Banescu, I, "E., Badea, A", M., Necula, L. A., Drăgoi, I. C., Coandă, H.-G., & Coltuc, D. (2025). Reversible contrast stretching for digital images. *Proceedings of the 2025 International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 1–6. IEEE.
 - [13] Bhagya, A., & Perumal, S, "(2024)", Diverse image processing techniques for machine learning methods. *Proceedings of the 2024 Third International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*. IEEE.
 - [14] Chang, Y., & Wang, W, "(2021)", A deep learning-based weld cacat classification method using radiographic images with a cylindrical projection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70.
 - [15] Chen, Y., Li, X., Wang, Y., & Zhang, J, "(2022)", Image cropping for efficient object detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 31(1), 231–242.
 - [16] Cheng, J., Zhang, R., & Zhang, D, "(2022)", Classification of welding cacats based on convolutional neural networks and electromagnetic eddy current testing. *Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Frontiers of Electronics, Information and Computation Technologies (ICFEICT)*, 471–476.
 - [17] Cam, N, "T., Hung, T", Q., & Nam, P. T. (2025). uitPDF-MalDe: Malicious Portable Document Format files detection using multi machine learning models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 134, 107224.
 - [18] Castleman, K, "R", (2023). Image digitization and display. In *Microscope Image Processing* (2nd ed., pp. 27–45). Academic Press.
 - [19] Cai, W., Wang, J., Liu, G., Hu, J., Li, X., & Guo, D, "(2025)", A preprocessing method for moving vehicle images based on satellite images. 2025 5th International Conference on Consumer Electronics and Computer Engineering (ICCECE).
 - [20] Chen, G., Fan, Z., She, B., Xing, S., Tao, W., Zhao, H., & Lv, N, "(2024)", High accuracy vision-laser post-welding cacat detection and segmentation method based on convolutional neural networks. *IEEE Access*, 12, 1–13.
 - [21] Devendiran, S., Nedungadi, P., & Raman, R, "(2024, March)", Handwritten text recognition using VGG19 and HOG feature descriptors. In 2024 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI) (Vol. 2, pp. 1–4). IEEE.
 - [22] Dias, B, "M., Fernandez, V., Lucena, R", F., & Sobrinho, J. M. A. (2020). Petrographic microscope digital image processing technique for texture and microstructure interpretation of earth materials. *Earth Science Research*, 9(1), 58–71.
 - [23] Ding, Z., Wu, Y., Xiong, X., & Zhu, X, "(2022a)", Chip welding short circuit cacat detection based on active learning. 2022 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 997–1000.
 - [24] Ding, Z., Wu, Y., Xiong, X., & Zhu, X, "(2022b)", Polarity detection of welded chip based on active learning. 2022 International Conference on High Performance Big Data and Intelligent Systems (HDIS), 105–109.
 - [25] Długosz, Z., Talaska, T., & Długosz, R, "(2024, June)", A method supporting hardware implementation of vector quantization module in HOG algorithm. In 2024 31st International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES) (pp. 75–79). IEEE.
 - [26] Dong, X., Taylor, C, "J., & Cootes, T", F. (2021). A random forest-based automatic inspection system for aerospace welds in X-ray images. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18(4), 2128–2141.
 - [27] Dasari, S, "K., Cheddad, A., & Palmquist, J", (2020). Melt-pool defects classification for additive manufactured components in aerospace use-case.
 - [28] El Hachem, C., Perrot, G., Painvin, L., Ernst-Desmulier, J, "B., & Couturier, R", (2021). Welding seam classification in the automotive industry using deep learning algorithms. *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT 2021)*, 235–240.
 - [29] Enriquez, M, "L., Concepcion, R., Relano, R", J., Francisco, K., Mayol, A. P., Espanola, J., Vicerra, R. R., Bandala, A., Co, H., & Dadios, E. (2021). Prediction of weld current using deep transfer image networks based on weld signatures for quality control. 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM 2021).
 - [30] Fan, X., Gao, X., Liu, G., Ma, N., & Zhang, Y, "(2021)", Research and prospect of welding monitoring technology based on machine vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(11–12), 3365–3391.
 - [31] Faye, D., Azzag, H., Lebbah, M., & Bouchaffra, D, "(2024)", Adaptive context normalization: A boost for deep learning in image processing. *Proceedings of the 2024 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1–8. IEEE.
 - [32] Frasco-García, O, "D., García-García, V., Reyes-Calderón, F., Hernández-Cristóbal, O., & Garnica-González, P", (2022). Investigation of weld cacats, microstructural, and mechanical features of TWIP and austenitic stainless steel dissimilar joints by pulsed GTAW process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(9), 6371–6392.
 - [33] Fu, Q., Liu, J., Zhang, X., Zhang, Y., Ou, Y., Jiao, R., Li, C., & Mazzanti, G, "(2023)", A small-sized cacat detection method for overhead transmission lines based on

- convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72.
- [34] Ganesan, P., Joseph, L., "M", I. Leo, Saji, G., Chandrasekaran, B., Manigandan, E., & Janakiraman, V. (2024). Comparative analysis of decorrelation and contrast stretching for multispectral color image enhancement. 2024 International Conference on Electronics, Communication and Signal Processing (ICECSP), 1–6. IEEE.
 - [35] Gaidhane, V., "K., & Kolhe, S", R. (2024, May). A review on advances in computer-aided weld cacats detection. In 2024 International Conference on Electronics, Computing, Communication and Control Technology (ICECCC) (pp. 1–5). IEEE.
 - [36] Gao, B., Zhao, H., & Miao, X, "(2022)", Recognition of radiographic weld cacats based on combining ResNet18 and Q-learning for imbalanced train dataset. *Proceedings of the 11th Electrical Power, Electronics, Communications, Control, and Informatics Seminar (EECCIS 2022)*, 328–332.
 - [37] Gao, Y., Zhong, P., Tang, X., Hu, H., & Xu, P, "(2021)", Feature extraction of laser welding pool image and application in welding quality identification. *IEEE Access*, 9, 120193–120202.
 - [38] Goyal, S, "S., Kumar, A., Singh, R., Sharma, P., & Jain, P", K. (2022). Analysis of welding damage and its causes: A review. *Journal of Welding and Joining*.
 - [39] Guo, R., Liu, H., Xie, G., & Zhang, Y, "(2021)", Weld cacat detection from imbalanced radiographic images based on contrast enhancement conditional generative adversarial network and transfer learning. *IEEE Sensors Journal*, 21(9), 10844–10853.
 - [40] Harkin, R., Wu, H., Nikam, S., Yin, S., Lupoi, R., Walls, P., & McFadden, S, "(2023)", Evaluation of the role of hatch-spacing variation in a lack-of-fusion cacat prediction criterion for laser-based powder bed fusion processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(1), 659–673.
 - [41] Harudin, N., Norizhar, M, "A", H., Marlan, Z. M., & Selamat, F. E. B. (2023). Development of an autograding system for weld bead surface quality using feature extraction and Mahalanobis-Taguchi system. *International Conference on Smart Computing and Application (ICSCA 2023)*.
 - [42] Hong, Y., Yang, M., Chang, B., & Du, D, "(2023)", Filter-PCA-based process monitoring and cacat identification during climbing helium arc welding process using DE-SVM. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(7), 7353–7362.
 - [43] Hong, Y., Yang, M., Jiang, Y., Du, D., & Chang, B, "(2023)", Real-time quality monitoring of ultrathin sheets edge welding based on microvision sensing and SOCIFS-SVM. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(4), 5506–5516.
 - [44] Ji, A., Xue, X., Zhang, L., Luo, X., & Man, Q, "(2023)", A transformer-based deep learning method for automatic pixel-level crack detection and feature quantification. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
 - [45] Jiang, B, "T., Yan, S", G., Huang, J., & Zhang, B. X. (2021). Ultrasonic total focusing imaging of cacats in anisotropic austenitic stainless steel weld. *Proceedings of the 2020 15th Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications (SPAWDA 2020)*, 212–216.