



**DETEKSI CACAT PRODUK PADA INDUSTRI
MANUFAKTUR MENGGUNAKAN PEMBELAJARAN
MENDALAM (STUDI KASUS PADA MANUFAKTUR
SEKRUP)**

PROPOSAL KUALIFIKASI

Yoga Panji Perdana Nugraha

99223143

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS GUNADARMA
JUNI 2024**

DAFTAR ISI

COVER	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Kontribusi.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Tinjauan 1	9
2.2 Tinjauan 2	9
2.3 Tinjauan 3	10
2.4 Tinjauan 4.....	10
2.5 Tinjauan 5	10
2.6 Tinjauan 6.....	11
2.7 Tinjauan 7	11
2.8 Tinjauan 8.....	12
2.9 Tinjauan 9	12
2.10 Tinjauan 10	12
2.11 Tinjauan 11	12
2.12 Tinjauan 12	13

2.13	Tinjauan 13	13
2.14	Tinjauan 14	14
2.15	Tinjauan 15	14
2.16	Perbandingan Tinjauan Pustaka	15
BAB III METODOLOGI		41
3.1	Motivasi.....	41
3.2	Alur Kerja Riset	41
3.3	Pendekatan	45
3.4	Rencana Jadwal Kegiatan.....	46
DAFTAR PUSTAKA		47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Tinjauan Pustaka	15
Tabel 3.1 Rencana Jadwal Kegiatan	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2 Rancangan Prototipe Alat	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persaingan dalam dunia industri semakin ketat. Setiap perusahaan berlomba-lomba menciptakan produk yang berkualitas. Kualitas produk merupakan faktor kunci agar perusahaan dapat bertahan dan bersaing dalam dunia bisnis (Psarommatis, Sousa, Mendonça, & Kiritsis, 2022). Kualitas produk akan mempengaruhi kepercayaan pelanggan terhadap perusahaan. Kualitas produk yang tinggi tentunya merupakan keinginan perusahaan. Namun, kecacatan produk merupakan hal yang hampir pasti terjadi. Kecacatan ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), metode (*method*), dan lingkungan (*environment*) (Suhartini, 2020). Salah satu kegiatan yang perlu dilakukan untuk menjaga kualitas produk adalah inspeksi. Kegiatan ini biasanya dilakukan oleh departemen pengendalian kualitas. Kecepatan dan akurasi inspeksi pada industri diperlukan untuk memastikan standar kualitas produk yang tinggi namun harga tetap terjangkau (Villalba-Diez et al., 2019). Hal ini merupakan tantangan bagi para pelaku industri.

Sebagian besar perusahaan tidak hanya memiliki sedikit produk dan model dalam satu kali produksi. Variasi produk dan model ini tentunya akan membuat kegiatan inspeksi menjadi satu hal yang penting untuk memastikan seluruh produk memiliki kualitas yang baik. Kegiatan inspeksi pada industri umumnya dilakukan secara manual dengan tenaga manusia sebagai operator. Dengan mengandalakan tenaga manusia yang memiliki keterbatasan. Peningkatan kinerja dari kegiatan inspeksi dibutuhkan (Asín, Ávila-de la Torre, Berges-Muro, & Sánchez-Valverde, 2017). Sehingga dibutuhkan sebuah model pengganti untuk meningkatkan kinerja dari kegiatan inspeksi (Reyes-Luna, Chang, Tuck, & Ashcroft, 2023). Otomatisasi pada proses inspeksi kualitas adalah salah satu cara untuk meningkatkan kinerja kegiatan inspeksi sehingga kepuasan pelanggan atas produk yang berkualitas baik dapat terjaga (Deshpande, Minai, & Kumar, 2020). Pada revolusi industri 4.0,

teknologi informasi tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, teknologi memiliki peran yang penting dari waktu ke waktu (Essah, Anand, & Singh, 2022). Teknologi yang sedang berkembang dengan pesat dan dapat diimplementasikan untuk otomatisasi pada industri adalah *Artificial Intelligence* (AI) (Shi et al., 2021). *Artificial Intelligence* (AI) merupakan alternatif digital untuk meningkatkan kinerja kegiatan inspeksi (Jarkas et al., 2023). Teknologi ini megadopsi kemampuan manusia untuk mengenali berbagai macam objek yang terdapat pada citra yang dikenal dengan teknik deteksi objek (Baikova, Maia, Santos, Ferreira, & Oliveira, 2019), segmentasi dan pengenalan objek (Khurana, Sharma, Singh, & Singh, 2016). Deteksi objek merupakan hal yang penting dalam kegiatan inspeksi dalam industri (Yang et al., 2020). Pengaplikasian AI untuk mendeteksi objek dalam kegiatan inspeksi ini bertujuan untuk efisiensi dalam dunia industri terutama dalam kegiatan inspeksi. Hal ini karena teknologi tersebut dapat meminimalisir kemungkinan cacat yang luput dari penglihatan manusia.

Acosta and Oliveira Sant'Anna (2023) mengembangkan *relevance mechine vector* menggunakan teknik kernel sparse bayesian untuk meningkatkan *support machine vector* pada masalah regresi dan klasifikasi dengan menggunakan *machine learning*. Penelitian tersebut menghasilkan perbandingan kinerja *relevance machine vector* dengan *support vector machine*, *artificial neural network* dan *beta regression model* menghasilkan bahwa pemantauan proses berbasis *relevance machine vector* adalah alat pemantauan kualitas produk cacat dalam proses manufaktur yang baik dibandingkan dengan algoritma *machine learing* yang lain.

Altuğ (2023) meneliti untuk meminimalisir pemborosan biaya dan waktu pada perusahaan yang memproduksi baut dan mur dengan mengintegrasikan *deep learning* dan *six sigma*. *Six sigma* digunakan untuk mengurangi biaya dan waktu serta meningkatkan nilai tambah pada produk. Optimalisasi *six sigma* dilakukan dengan bantuan *deep learning*. Peforma model yang dibuat pada *deep learning* cukup mendekati performa sebenarnya. Pemanfaatan *six sigma* dengan bantuan *deep learing* yang dibuat dapat menghemat hingga \$21,780 serta penghematan waktu yang dapat menghindari kerugian mencapai \$30,000 setiap tahun. Efisiensi

pada *coating thickness* meningkat dari 85% menjadi 95% yang mana mendekati target yaitu 95%-97%.

Fan, Dong, and Guo (2023) mengusulkan metode klasifikasi permukaan cacat strip baja berdasarkan *mixed attention mechanism* untuk mencapai kinerja klasifikasi cacat yang cepat dan akurat. Penelitian ini menggunakan perbandingan skala *min-max*, *Transfer Learning (EfficientNet-B0)*, *squeeze-excitation spatial mixed module*, dan *multilayer mixed attention mechanism (MMAM) module*. Pada lingkungan industri yang kompleks metode konvensional untuk mengklasifikasi cacat permukaan pada strip baja canai panas memiliki masalah pada akurasi dan efisiensi yang rendah. Dengan menggunakan metode *squeeze-excitation spatial mixed module* mendapatkan akurasi pengenalan 96,75% dan *multilayer mixed attention mechanism (MMAM) module* mendapatkan akurasi pengenalan 97,70%. Kemudian pada *transfer learning* yaitu *EfficientNet-B0* berbasis MMAM memperoleh hasil akurasi pengenalan 100%.

Fauzi, Madenda, Wibowo, and Masruriyah (2020) meneliti penggunaan kotak pembatas (*bounding box*) untuk meningkatkan pengenalan objek pada kamera pengintai (CCTV) pada sektor kesehatan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kotak pembatas meningkatkan pengenalan objek pada kamera pengintai. Kotak pembatas juga membantu dalam mengidentifikasi kegiatan yang mencurigakan dalam rekaman kamera pengawas. Klasifikasi objek yang segmentasi dalam pencitraan medis juga meningkat dengan bantuan kotak pembatas yang diterapkan.

Handayani et al. (2020) menggunakan algoritma *support vector machine (SVM)*, *linear discriminant analysis*, dan pohon keputusan untuk mengidentifikasi kualitas daging berdasarkan *marbling*. Hasilnya SVM adalah algoritma menunjukkan akurasi paling tinggi diantara algoritma lainnya dalam mengidentifikasi kualitas daging sapi.

Hassan, Hamdan, Shahin, Abdelmaksoud, and Bitar (2023) mengimplementasikan *deep learning* dan *machine learning* untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan proses manufaktur yaitu memaksimalkan *production rates* untuk produk yang baik dan meminimalisir

scrap rates atau *reworks*. Penerapan *smart process* akan berkontribusi yang signifikan dalam meningkatkan proses manufaktur yaitu memaksimalkan *production rates* untuk produk yang baik dan meminimalisir *scrap rates* atau *reworks*. Kecerdasan buatan (*machine learning*) yang diimplementasikan bermanfaat untuk meningkatkan akurasi prediksi model regresi serta menyempurnakan kecerdasan yang dimiliki dengan mempelajari parameter proses mana yang dapat membuat produk cacat sehingga nantinya dapat menyesuaikan parameter proses dengan mengabaikan pengaturan manual.

Li, Liu, Liu, Yang, and Huang (2020) mendesain pendeteksi cacat pada kain secara otomatis berdasarkan *cascaded low-rank decomposition* dan menjaga pengendalian kualitas yang tinggi pada perusahaan tekstil. Metode yang diusulkan dievaluasi pada *database* gambar kain. Penelitian ini menggunakan algoritma deteksi cacat berdasarkan *cascaded low-rank decomposition*. Dengan membandingkan di lapangan, diperoleh tingkat deteksi rata-rata sebesar 98,26%.

Liu, Liu, Li, and Li (2022) Mengusulkan metode baru untuk memecahkan masalah dalam mendeteksi cacat pada cacat kain. Masalah tersebut yaitu model yang sulit dilatih karena keterbatasan dataset dan akurasi deteksi yang belum memadai pada bidang industri. Penelitian ini berbasis *deep learning* dan menghasilkan metode baru untuk mendeteksi cacat kain dimana hasil eksperimen mendapatkan tingkat akurasi dan presisi sebesar 93,9% dan 98,8% ketika diterapkan pada dataset publik (TILDA) dan dataset *real-shot* (ZYFD).

Liu, Wang, Li, Ding, and Li (2022) mendesain model *dual-branch balance saliency* berbasis *fully convolutional network* (FCN) untuk deteksi cacat pada kain secara otomatis, serta meningkatkan pengendalian kualitas pada bidang manufaktur tekstil.

Naam, Harlan, Madenda, and Wibowo (2016) meneliti dengan tujuan untuk membangun sebuah algoritma dari metode *multiple morphological gradient* (mMG) untuk mengidentifikasi karies gigi berbasis gigi panoramik digital gambar x-ray. Jenis algoritma yang digunakan adalah normal mMG, Enhancement mMG, dan Smooth mMG. Ketiga algoritma tersebut diperiksa oleh dua orang dokter

gigi. Hasil pemrosesan gambar ini sangat membantu untuk mengidentifikasi objek dalam gambar panorama terutama dalam mendeteksi gigi berlubang.

Nugraha and Wibowo (2024) mengembangkan model pendeteksi cacat pada sekrup berbasis citra menggunakan YOLOv5. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pelatihan sebesar 0.404 jam atau 24.24 menit, precision 0.842, recall 0.857, dan mean average precision 0.887. Uji coba yang dilakukan menghasilkan bahwa citra dapat terdeteksi dengan baik. Namun, terdapat beberapa citra yang kurang baik dan maksimal untuk dideteksi.

Purushothaman and Ahmad (2022) membangun sistem inspeksi otomatis menggunakan mekanisme berbasis *image analysis* yang disebut *i-AIS*. Menggunakan metode desain *Six Sigma* (DSS). Langkah-langkah *Define, measure, analyze, design, dan verify* (DMADV) diterapkan dan diintegrasikan dengan teknik analisis yang spesifik dari *quality function deployment* (QFD), *design failure mode effect analysis* (DFMEA) dan *theory of inventive problem solving* (TRIZ). Verifikasi prototipe *i-AIS* menunjukkan pengoperasian pada mode optimal yang memenuhi persyaratan internal. Hasil verifikasi juga menunjukkan bahwa tingkat sigma meningkat dari 3,87 menjadi 4,33. Sementara itu, tingkat pengurangan kerusakan meningkat menjadi 74,4% dan tingkat *downtime* juga mencatat peningkatan yang signifikan yaitu pengurangan sebesar 80,7%.

Wu, Guo, Liu, and Huang (2020) mengembangkan metode *deep learning* yang lebih fleksibel untuk deteksi cacat pada industri dengan menggunakan *End-to-end learning framework*. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kesulitan deteksi cacat blade. Sehingga dikembangkan arsitektur baru yang mengintegrasikan *residue learning* untuk melakukan deteksi cacat yang efisien. Percobaan dilakukan pada kumpulan data yang dikumpulkan, dan hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat mencapai kinerja yang memuaskan dibandingkan metode lain. Selain itu, operasi pemerataan data membantu hasil deteksi cacat yang lebih baik.

Yuhandri, Madenda, Wibowo, and Karmilasari (2017) meneliti untuk mengetahui ciri-ciri motif yang terdapat pada gambar songket agar objek tersebut dapat terdeteksi dan dibaca. Metode yang digunakan adalah segmentasi warna

citra dan morfologi matematis dalam mendeteksi objek dan kemudian mengekstraksi motif dengan cara penerapan algoritma pelacakan kontur Moore dan pengembangan algoritma kode rantai. Hasilnya menunjukkan bahwa pengembangan algoritma kode rantai dapat menghasilkan jumlah objek, panjang kode rantai, dan nilai kemungkinan laju kemunculan setiap kode rantai dalam suatu motif, meskipun terdapat beberapa objek dalam suatu motif.

H. Zhang et al. (2023) mengusulkan kerangka kerja deteksi cacat berdasarkan pembelajaran adversarial tanpa pengawasan untuk rekonstruksi gambar guna memecahkan masalah deteksi berlebihan atau kesalahan deteksi karena tidak dapat beradaptasi dengan pola kompleks kain berpola warna. Kerangka kerja yang diusulkan dibandingkan dengan metode canggih pada kumpulan data publik YDFID-1 (Kumpulan Data Gambar Kain Berwarna Benang-versi1). Kerangka kerja yang diusulkan juga divalidasi pada beberapa kelas dalam dataset MvTec AD. Hasil eksperimen berbagai pola/kelas pada YDFID-1 dan MvTecAD menunjukkan efektivitas dan keunggulan metode ini dalam deteksi cacat kain.

R. Zhang et al. (2022) mengusulkan metode diagnosis ultrasonik baru untuk cacat las baja tahan karat berbasis *multi-domain feature fusion* untuk memecahkan dua masalah dalam diagnosis ultrasonik cacat las baja tahan karat austenitik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa akurasi diagnostik model diagnosis ringan yang dibangun dapat mencapai 96,55% untuk lima jenis cacat las baja tahan karat, antara lain retak, porositas, inklusi, kurang fusi, dan penetrasi tidak lengkap. Ini dapat memenuhi kebutuhan aplikasi teknik praktis. Metode ini memberikan landasan teori dan referensi teknis untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi diagnosis cacat ultrasonik yang cerdas, efisien dan akurat.

Revolusi industri 4.0 mendorong otomatisasi inspeksi produk untuk manufaktur yang tanpa cacat (*zero defect*) dan berkualitas tinggi dimana kemampuan fleksibilitas manusia berkolaborasi dengan kemampuan akurasi komputer dan mesin (Brito et al., 2020). Perkembangan *computer vision* dapat sangat membantu dalam dunia industri manufaktur untuk mencapai kualitas yang unggul (Schmidt, Gevers, Schwiep, Ordieres-Meré, & Villalba-Diez, 2020). Akurasi kemampuan penglihatan komputer (*computer vision*) dalam mendeteksi

objek sangat bergantung pada data pelatihan. Sehingga perlu didukung oleh data pelatihan yang masif. Hal ini tentunya menyebabkan kebutuhan akan perangkat lunak maupun perangkat keras dengan kemampuan dan spesifikasi cukup besar. Citra produk industri pada basis data sendiri dapat terdiri dari berbagai macam model dengan kecacatan yang bervariasi juga. Sehingga dikembangkan alat dan aplikasi pendeteksi objek untuk meningkatkan kinerja inspeksi produk. Pengembangan alat dan aplikasi dilakukan dengan mengaplikasikan kemampuan penglihatan komputer menggunakan *artificial intelligence* yaitu *deep learning*. Harapan dari penelitian ini nantinya dapat membantu perusahaan terutama departemen pengendalian kualitas untuk melakukan inspeksi produk pada lantai produksi. Sehingga efisiensi dan efektivitas kegiatan inspeksi produk dapat dicapai.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah merupakan masalah yang muncul pada penelitian ini yang kemudian dirumuskan menjadi sebuah pertanyaan. Berikut ini merupakan rumusan masalah.

1. Bagaimana model pendeteksi cacat objek tunggal, objek ganda, dan objek ganda bertumpuk?
2. Bagaimana prototype alat pendeteksi cacat objek tunggal, objek ganda, dan objek ganda bertumpuk?
3. Bagaimana aplikasi deteksi objek yang dapat mengidentifikasi kecacatan produk untuk kegiatan inspeksi produk pada perusahaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan jawaban dari rumusan masalah yang menjadi hasil akhir dari penelitian. Berikut ini adalah tujuan penelitian.

4. Mengembangkan model pendeteksi cacat objek tunggal, objek ganda, dan objek ganda bertumpuk
5. Menciptakan prototype alat pendeteksi cacat objek tunggal, objek ganda, dan objek ganda bertumpuk.

6. Menghasilkan aplikasi deteksi objek yang dapat mengidentifikasi kecacatan produk untuk kegiatan inspeksi produk pada perusahaan.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian tidak melebar ke topik lain selain pembahasan yang diinginkan. Berikut ini merupakan batasan penelitian.

1. Aplikasi dibuat dengan menggunakan *deep learning*.
2. Jenis identifikasi cacat pada objek terbagi menjadi 2 kelas yaitu Cacat dan OK.
3. Proses anotasi, *preprocessing*, augmentasi, dan *generate* dataset dilakukan dengan bantuan *roboflow*.
4. Model yang dikembangkan digunakan untuk mendeteksi cacat produk sekrap.

1.5 Kontribusi

Kontribusi pada bidang keilmuan pada penelitian ini adalah dengan menghasilkan model pendeteksi objek cacat pada manufaktur yang menggunakan teknologi *artificial intelligence* dengan metode *deep learning*. Hasil penelitian ini juga diharapkan bisa menjadi bahan baca serta referensi bagi pembaca untuk pembelajaran maupun penelitian selanjutnya.

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada bidang teknologi informasi dengan menghasilkan prototipe aplikasi dan alat untuk mendeteksi cacat pada produk manufaktur.

Peneliti juga berharap penelitian ini dapat berkontribusi pada bidang industri dengan menghasilkan prototipe aplikasi dan alat untuk deteksi cacat pada produk manufaktur. Sehingga industri manufaktur dapat meningkatkan kinerja inspeksi produk untuk menjaga kualitas produk serta kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan efisien.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan 1

Penelitian dilakukan oleh Acosta and Oliveira Sant'Anna (2023) dengan judul “*Machine learning-based control charts for monitoring fraction nonconforming product in smart manufacturing*”. Peneliti mengembangkan *relevance mechine vector* menggunakan teknik kernel sparse bayesian untuk meningkatkan *support machine vector* pada masalah regresi dan klasifikasi dengan menggunakan *machine learning*. Penelitian tersebut menghasilkan perbandingan kinerja *relevance machine vector* dengan *support vector machine*, *artificial neural network* dan *beta regression model* menghasilkan bahwa pemantauan proses berbasis *relevance machine vector* adalah alat pemantauan kualitas produk cacat dalam proses manufaktur yang baik dibandingkan dengan algoritma *machine learing* yang lain.

2.2 Tinjauan 2

Penelitian yang dilakukan oleh Altuğ (2023) dengan judul “*Application of six sigma through deep learning in the production of fasteners*”. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir pemborosan biaya dan waktu pada perusahaan yang memproduksi baut dan mur dengan mengintegrasikan *deep learning* dan *six sigma*. *Six sigma* digunakan untuk mengurangi biaya dan waktu serta meningkatkan nilai tambah pada produk. Optimalisasi *six sigma* dilakukan dengan bantuan *deep learning*. Peforma model yang dibuat pada *deep learning* cukup mendekati performa sebenarnya. Pemanfaatan *six sigma* dengan bantuan *deep learing* yang dibuat dapat menghemat hingga \$21,780 serta penghematan waktu yang dapat menghindari kerugian mencapai \$30,000 setiap tahun. Efisiensi pada *coating thickness* meningkat dari 85% menjadi 95% yang mana mendekati target yaitu 95%-97%.

2.3 Tinjauan 3

Penelitian dilakukan oleh Fan et al. (2023) dengan judul “*Surface defect classification of hot-rolled steel strip based on mixed attention mechanism*”. Peneliti mengusulkan metode klasifikasi permukaan cacat strip baja berdasarkan *mixed attention mechanism* untuk mencapai kinerja klasifikasi cacat yang cepat dan akurat. Penelitian ini menggunakan perbandingan skala *min-max*, *Transfer Learning (EfficientNet-B0)*, *squeeze-excitation spatial mixed module*, dan *multilayer mixed attention mechanism (MMAM) module*. Pada lingkungan industri yang kompleks metode konvensional untuk mengklasifikasi cacat permukaan pada strip baja canai panas memiliki masalah pada akurasi dan efisiensi yang rendah. Dengan menggunakan metode *squeeze-excitation spatial mixed module* mendapatkan akurasi pengenalan 96,75% dan *multilayer mixed attention mechanism (MMAM) module* mendapatkan akurasi pengenalan 97,70%. Kemudian pada *transfer learning* yaitu *EfficientNet-B0* berbasis MMAM memperoleh hasil akurasi pengenalan 100%.

2.4 Tinjauan 4

Penelitian dilakukan oleh Fauzi et al. (2020) dengan judul “*The importance of bounding box in motion detection*”. Peneliti ingin mengetahui penggunaan kotak pembatas (*bounding box*) dalam peningkatan pengenalan objek pada kamera pengintai. Penelitian ini menunjukkan bahwa kotak pembatas meningkatkan pengenalan objek pada kamera pengintai. Kotak pembatas juga membantu dalam mengidentifikasi kegiatan yang mencurigakan dalam rekaman kamera pengawas. Klasifikasi objek yang segmentasi dalam pencitraan medis juga meningkat dengan bantuan kotak pembatas yang diterapkan

2.5 Tinjauan 5

Penelitian dilakukan oleh Handayani et al. (2020) dengan judul “*The Best Classification Algorithm for Identification Beef Quality Based on Marbling*”. Peneliti bertujuan untuk Mengidentifikasi kualitas daging berdasarkan *Marbling* dengan menggunakan metode *Support vector machine (SVM)*, *linear discriminant analysis*,

dan pohon keputusan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa SVM adalah algoritma dengan akurasi paling tinggi diantara algoritma lainnya dalam mengidentifikasi kualitas daging sapi.

2.6 Tinjauan 6

Penelitian dilakukan Hassan et al. (2023) dengan judul “*An artificial intelligent manufacturing process for high-quality low-cost production*”. Peneliti mengimplementasikan *deep learning* dan *machine learning* untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan proses manufaktur yaitu memaksimalkan *production rates* untuk produk yang baik dan meminimalisir *scrap rates* atau *reworks*. Penerapan *smart process* akan berkontribusi yang signifikan dalam meningkatkan proses manufaktur yaitu memaksimalkan *production rates* untuk produk yang baik dan meminimalisir *scrap rates* atau *reworks*. Kecerdasan buatan (*machine learning*) yang diimplementasikan bermanfaat untuk meningkatkan akurasi prediksi model regresi serta menyempurnakan kecerdasan yang dimiliki dengan mempelajari parameter proses mana yang dapat membuat produk cacat sehingga nantinya dapat menyesuaikan parameter proses dengan mengabaikan pengaturan manual.

2.7 Tinjauan 7

Penelitian dilakukan oleh Li et al. (2020) dengan judul “*Fabric defect detection method based on cascaded low-rank decomposition*”. Peneliti mendesain pendeteksi cacat pada kain secara otomatis berdasarkan *cascaded low-rank decomposition* dan menjaga pengendalian kualitas yang tinggi pada perusahaan tekstil. Metode yang diusulkan dievaluasi pada *database* gambar kain. Penelitian ini menggunakan Algoritma deteksi cacat berdasarkan *cascaded low-rank decomposition*. Dengan membandingkan di lapangan, diperoleh tingkat deteksi rata-rata sebesar 98,26%.

2.8 Tinjauan 8

Penelitian dilakukan oleh Liu, Wang, et al. (2022) dengan judul “*A dual-branch balance saliency model based on discriminative feature for fabric defect detection*”. Peneliti mendesain model *dual-branch balance saliency* berbasis *fully convolutional network* (FCN) untuk deteksi cacat pada kain secara otomatis, serta meningkatkan pengendalian kualitas pada bidang manufaktur tekstil.

2.9 Tinjauan 9

Penelitian dilakuakn oleh Nugraha and Wibowo (2024) dengan judul “Deteksi Cacat pada Sekrup Berbasis Citra Menggunakan YOLOv5”. Peneliti mengembangkan model yang digunakan untuk mendeteksi cacat sekrup. Hasil dari penelitian ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk pelatihan sebesar 0.404 jam atau 24.24 menit, precision 0.842, recall 0.857, dan mean average precision 0.887. Uji coba yang dilakukan menghasilkan bahwa citra dapat terdeteksi dengan baik. Namun, terdapat beberapa citra yang kurang baik dan maksimal untuk dideteksi.

2.10 Tinjauan 10

Penelitian dilakukan oleh Naam et al. (2016) dengan judul “*The algorithm of image edge detection on panoramic dental x-ray using multiple morphological gradient (mmg) method*”. Peneliti menggunakan metode *multiple morphological gradient* (mMG) dengan algoritma normal mMG, Enhancement mMG, dan Smooth mMG. Hasil dari penelitian ini adalah Ketiga algoritma tersebut diperiksa oleh dua orang dokter gigi. Hasil pemrosesan gambar ini sangat membantu untuk mengidentifikasi objek dalam gambar panorama terutama dalam mendeteksi gigi berlubang.

2.11 Tinjauan 11

Penelitian dilakukan oleh Purushothaman and Ahmad (2022) dengan judul “*Integration of Six Sigma methodology of DMADV steps with QFD, DFMEA and TRIZ applications for image-based automated inspection system development: a*

case study“. Peneliti membangun sistem inspeksi otomatis menggunakan mekanisme berbasis *image analysis* yang disebut *i-AIS*. Menggunakan metode desain *Six Sigma* (DSS). Langkah-langkah *Define, measure, analyze, design, dan verify* (DMADV) diterapkan dan diintegrasikan dengan teknik analisis yang spesifik dari *quality function deployment* (QFD), *design failure mode effect analysis* (DFMEA) dan *theory of inventive problem solving* (TRIZ). Verifikasi prototipe *i-AIS* menunjukkan pengoperasian pada mode optimal yang memenuhi persyaratan internal. Hasil verifikasi juga menunjukkan bahwa tingkat sigma meningkat dari 3,87 menjadi 4,33. Sementara itu, tingkat pengurangan kerusakan meningkat menjadi 74,4% dan tingkat *downtime* juga mencatat peningkatan yang signifikan yaitu pengurangan sebesar 80,7%.

2.12 Tinjauan 12

Penelitian dilakukan oleh Wu et al. (2020) dengan judul “*An end-to-end learning method for industrial defect detection*”. Peneliti mengembangkan metode *deep learning* yang lebih fleksibel untuk deteksi cacat pada industri dengan menggunakan *End-to-end learning framework*. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kesulitan deteksi cacat blade. Sehingga dikembangkan arsitektur baru yang mengintegrasikan *residue learning* untuk melakukan deteksi cacat yang efisien. Percobaan dilakukan pada kumpulan data yang dikumpulkan, dan hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat mencapai kinerja yang memuaskan dibandingkan metode lain. Selain itu, operasi pemerataan data membantu hasil deteksi cacat yang lebih baik.

2.13 Tinjauan 13

Penelitian dilakukan oleh Yuhandri et al. (2017) dengan judul “*Object Feature Extraction of Songket Image Using Chain Code Algorithm*”. Peneliti bertujuan untuk mengetahui ciri-ciri motif yang terdapat pada gambar songket agar objek tersebut dapat terdeteksi dan dibaca. Metode yang digunakan adalah segmentasi warna citra dan morfologi matematis dalam mendeteksi objek dan kemudian mengekstraksi motif dengan cara penerapan algoritma pelacakan kontur moore dan

pengembangan algoritma kode rantai. Hasilnya menunjukkan bahwa pengembangan algoritma kode rantai dapat menghasilkan jumlah objek, panjang kode rantai, dan nilai kemungkinan laju kemunculan setiap kode rantai dalam suatu motif, meskipun terdapat beberapa objek dalam suatu motif.

2.14 Tinjauan 14

Penelitian dilakukan oleh H. Zhang et al. (2023) dengan judul “*Defect detection of color-patterned fabric based on DenoisingGAN*”. Peneliti mengusulkan kerangka kerja deteksi cacat berdasarkan pembelajaran adversarial tanpa pengawasan untuk rekonstruksi gambar guna memecahkan masalah deteksi berlebihan atau kesalahan deteksi karena tidak dapat beradaptasi dengan pola kompleks kain berpola warna. Kerangka kerja yang diusulkan dibandingkan dengan metode canggih pada kumpulan data publik YDFID-1 (Kumpulan Data Gambar Kain Berwarna Benang-versil). Kerangka kerja yang diusulkan juga divalidasi pada beberapa kelas dalam dataset MvTec AD. Hasil eksperimen berbagai pola/kelas pada YDFID-1 dan MvTecAD menunjukkan efektivitas dan keunggulan metode ini dalam deteksi cacat kain.

2.15 Tinjauan 15

Penelitian dilakukan oleh R. Zhang et al. (2022) dengan judul “*Ultrasonic diagnosis method for stainless steel weld defects based on multi-domain feature fusion*”. Peneliti mengusulkan metode diagnosis ultrasonik baru untuk cacat las baja tahan karat berbasis *multi-domain feature fusion* untuk memecahkan dua masalah dalam diagnosis ultrasonik cacat las baja tahan karat austenitik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa akurasi diagnostik model diagnosis ringan yang dibangun dapat mencapai 96,55% untuk lima jenis cacat las baja tahan karat, antara lain retak, porositas, inklusi, kurang fusi, dan penetrasi tidak lengkap. Ini dapat memenuhi kebutuhan aplikasi teknik praktis. Metode ini memberikan landasan teori dan referensi teknis untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi diagnosis cacat ultrasonik yang cerdas, efisien dan akurat.

2.16 Perbandingan Tinjauan Pustaka

Perbandingan tinjauan pustaka berisi tentang penulis, judul, tujuan, jurnal dan DOI, metode yang digunakan, serta hasil akhir. Berikut ini merupakan perbandingan tinjauan pustaka yang dijabarkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Tinjauan Pustaka

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
(Acosta & Oliveira Sant'Anna, 2023)	Machine learning-based control charts for monitoring fraction nonconforming product in smart manufacturing	Mengembangkan <i>relevance mechine vector</i> menggunakan teknik kernel sparse bayesian untuk meningkatkan <i>support machine vector</i> pada masalah regresi dan klasifikasi.	International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 40 no. 3 https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0210	Machine Learning	Perbandingan kinerja <i>relevance machine vector</i> dengan <i>support vector machine, artificial neural network and beta regression model</i> menghasilkan bahwa pemantauan proses berbasis <i>relevance machine vector</i> adalah alat pemantau

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					n kualitas produk cacat dalam proses manufaktur yang baik dibandingkan dengan algoritma <i>machine learning</i> yang lain.
(Altuğ, 2023)	Applicat ion of six sigma through deep learning in the producti on of fasteners	Meminimalisir pemborosan biaya dan waktu pada perusahaan yang memproduksi baut dan mur	International Journal of Lean Six Sigma, vol. 4 no. 7 https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2022-0191	Deep learning dan six sigma	Six sigma digunakan untuk mengurangi biaya dan waktu serta meningkatkan nilai tambah pada produk. Optimalisasi six sigma dilakukan

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					<p>dengan bantuan <i>deep learning</i>. Performa model yang dibuat pada <i>deep learning</i> cukup mendekati performa sebenarnya.</p> <p>Pemanfaatan six sigma dengan bantuan <i>deep learning</i> yang dibuat dapat menghemat hingga \$21,780 serta penghematan waktu</p>

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					yang dapat menghindari kerugian mencapai \$30,000 setiap tahun. Efisiensi pada <i>coating thickness</i> meningkat dari 85% menjadi 95% yang mana mendekati target yaitu 95% -97% .
(Fan et al., 2023)	Surface defect classification of hot-rolled steel strip based on mixed	Mengusulkan metode klasifikasi permukaan cacat strip baja berdasarkan <i>mixed attention mechanism</i>	Robotic Intelligence and Automation, vol. 43 no. 4 https://doi.org/10.1108/RIA-01-2023-0001	Perbandingan skala min-max, <i>Transfer Learning</i> (Efficient Net-B0), squeeze-excitation	Pada lingkungan industri yang kompleks metode konvensional untuk mengklasifikasi

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	attention mechanism	untuk mencapai kinerja klasifikasi cacat yang cepat dan akurat.		spatial mixed module, dan multilayer mixed attention mechanism (MMAM)) module.	cacat permukaan pada strip baja canai panas memiliki masalah pada akurasi dan efisiensi yang rendah. Dengan menggunakan metode squeeze- excitation spatial mixed module mendapatkan akurasi pengenalan 96,75% dan multilayer mixed attention

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					<p>mechanism (MMAM) module mendapatkan akurasi pengenalan 97,70% . Kemudian pada <i>transfer learning</i> yaitu <i>EfficientNet-B0</i> berbasis MMAM memperoleh hasil akurasi pengenalan 100% .</p>
Fauzi et al. (2020)	The importance of bounding box in motion detection	Mengetahui penggunaan kotak pembatas (<i>bounding box</i>) untuk meningkatkan	2020 Fifth International Conference on Informatics and Computing (ICIC) published by IEEE	Bounding box	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kotak pembatas

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
		pengenalan objek pada kamera pengintai (CCTV) pada sektor kesehatan.			meningkatkan pengenalan objek pada kamera pengintai. Kotak pembatas juga membantu dalam mengidentifikasi kegiatan yang mencurigakan dalam rekaman kamera pengawas . Klasifikasi objek yang segmentasi dalam pencitraan

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					n medis juga meningka t dengan bantuan kotak pembatas yang diterapka n.
Handaya ni et al. (2020)	The Best Classific ation Algorith m for Identific ation Beef Quality Based on Marblin g	Mengidentifi kasi kualitas daging berdasarkan <i>Marbling</i>	2020 Fifth International Conference on Informatics and Computing (ICIC) published by IEEE	<i>Support vector machine (SVM), linear discrimi nant analysis, dan pohon keputusa n</i>	Hasilnya SVM adalah algoritma menunjuk kan akurasi paling tinggi diantara algoritma lainnya dalam mengiden tifikasi kualitas daging sapi.
Hassan	An	Mengimple	International Journal of	Deep	Penerapan

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
et al. (2023)	artificial intellige nt manufac turing process for high- quality low-cost producti on	mentasikan deep learing dan machine learning untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan n proses manufaktur yaitu memaksimal kan <i>production rates</i> untuk produk yang baik dan meminimalis ir <i>scrap rates</i> atau <i>reworks</i> .	Quality & Reliability Management, vol. 40 no. 7 https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2022-0204	Learing dan Machine Learing untuk membang un dan <i>improve</i> model regresi	<i>smart process</i> akan berkontrib usi yang signifikan dalam meningkat kan proses manufaktu r yaitu memaksim alkan <i>production rates</i> untuk produk yang baik dan meminima lisir <i>scrap rates</i> atau <i>reworks</i> . Kecerdasa n buatan (<i>machine learning</i>) yang diimpleme ntasikan bermanfaa

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					t untuk meningkat akn akurasi prediksi model regresi serta menyemp urnakan kecerdasa n yang dimiliki dengan mempelaja ri parameter proses mana yang dapat membuat produk cacat sehingga nantinya dapat menyesuai kan parameter proses dengan

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					mengabaikan pengaturan manual.
(Li et al., 2020)	Fabric defect detection method based on cascaded low-rank decomposition	Mendesain pendeteksi cacat pada kain secara otomatis berdasarkan cascaded low-rank decomposition dan menjaga pengendalian kualitas yang tinggi pada perusahaan tekstil.	International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 32 no.4 https://doi.org/10.1108/IJCST-03-2019-0037	Algoritma deteksi cacat berdasarkan cascaded low-rank decomposition	Metode yang diusulkan dievaluasi pada database gambar kain. Dengan membandingkan di lapangan, diperoleh tingkat deteksi rata-rata sebesar 98,26% dan lebih unggul dari yang canggih.
(Liu, Liu, et al., 2022)	Fabric defect detection based on	Mengusulkan metode baru untuk memecahkan masalah	International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 34 no.2 https://doi.org/10.1108/I	Berbasis Deep learning. Metode deteksi	Terdapat metode baru untuk mendeteksi cacat

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	multi-source feature fusion	<p>dalam mendeteksi cacat pada cacat kain. Masalah tersebut yaitu: 1) Model yang sulit dilatih karena keterbatasan dataset, dan 2) Akurasi deteksi yang belum memadai pada bidang industri</p>	JCST-07-2020-0108	<p>cacat kain baru berdasarkan <i>multi-source feature fusion</i>. Dalam proses pelatihan, fitur lapisan dan informasi model sumber digabungkan untuk meningkatkan ketahanan dan akurasi. Selain itu, model pelatihan baru yang disebut <i>multi-source</i></p>	<p>kain dimana hasil eksperimen mendapatkan tingkat akurasi dan presisi sebesar 93,9% dan 98,8% ketika diterapkan pada dataset publik (TILDA) dan dataset <i>real-shot</i> (ZYFD). Kinerjanya juga lebih baik 5,9% dibandingkan SSD yang disempurnakan.</p>

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
				<i>feature fusion</i> (MSFF) diusulkan untuk mengatasi sampel dan permintaan yang terbatas guna mendapatkan armada dan kuantifikasi yang tepat secara otomatis	
(Liu, Wang, et al., 2022)	A dual-branch balance saliency model based on discriminative feature for	Mendesain model <i>dual-branch balance saliency</i> berbasis <i>fully convolutional network</i> (FCN) untuk	International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 34 no. 3 https://doi.org/10.1108/IJCST-02-2021-0017	<i>Fully Convolutional Network</i> (FCN)	Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mengungguli

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	fabric defect detection	deteksi cacat pada kain secara otomatis, serta meningkatkan pengendalian kualitas pada bidang manufaktur tekstil			pendekatan canggih pada tujuh metrik evaluasi. Hasil analisis abrasi yang memadai juga memberikan pemahaman yang lengkap tentang prinsip desain metode yang diusulkan
(Naam et al., 2016)	The algorithm of image edge detection on panoramic dental	membangun sebuah algoritma dari metode <i>multiple morphological gradient</i> (mMG)	International Journal on Advanced Science, Engineering Information Technology, vol. 6 No. 6	<i>multiple morphological gradient</i> (mMG) dengan algoritma normal	Ketiga algoritma tersebut diperiksa oleh dua orang dokter gigi.

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	x-ray using multiple morphol ogical gradient (mmg) method	untuk mengidentif ikasi karies gigi berbasis gigi panoramik digital gambar x- ray.		mMG, Enhance ment mMG, dan Smooth mMG	Hasil pemroses an gambar ini sangat membant u untuk mengiden tifikasi objek dalam gambar panorama terutama dalam mendetek si gigi berlubang
(Nugraha & Wibowo, 2024)	Deteksi Cacat pada Sekrup Berbasi s Citra Menggu nakan YOLOv 5	Mengemba ngkan model pendeteksi cacat pada objek sekrup	Jurnal Ilmiah Komputasi,vol. 23 no. 59-66 https://doi.org/10.32409/jikstik.23.1.3516	YOLOv 5	Hasil penelitian menunjuk kan pelatihan mendapat kan waktu pelatihan sebesar 0.404 jam

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					<p>atau 24.24 menit, precision 0.842, recall 0.857, dan mean average precision 0.887. Uji coba yang dilakukan menghasi lkan bahwa citra dapat terdeteksi dengan baik. Namun, terdapat beberapa citra yang kurang baik dan maksimal</p>

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					untuk dideteksi.
(Purusho thaman & Ahmad, 2022)	Integrati on of Six Sigma methodo logy of DMAD V steps with QFD, DFMEA and TRIZ applicati ons for image- based automat ed inspectio n system develop ment: a case study	Membangun sistem inspeksi otomatis menggunaka n mekanisme berbasis <i>image analysis</i> yang disebut <i>i-AIS</i> .	International Journal of Lean Six Sigma, vol. 13 no. 6 https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2021-0088	Menggun akan metode desain Six Sigma (DSS). Langkah- langkah <i>Define,</i> <i>measure,</i> <i>analyze,</i> <i>design,</i> dan <i>verify</i> (DMAD V) diterapka n dan diintegras ikan dengan teknik analisis yang spesifik dari <i>quality function deployme</i>	Verifikasi prototipe <i>i-AIS</i> mengungk apkan pengopera siannya pada mode optimal yang memenuhi persyarata n pelanggan internal. Hasil verifikasi juga menunjuk kan bahwa tingkat sigma meningkat dari 3,87 menjadi 4,33. Sementara itu, tingkat pengurang

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
				<i>nt (QFD), design failure mode effect analysis (DFMEA) dan theory of inventive problem solving (TRIZ)</i>	an kerusakan meningkat menjadi 74,4% dan tingkat downtime juga mencatat peningkatan yang signifikan yaitu pengurangan sebesar 80,7%.
(Wu et al., 2020)	An end-to-end learning method for industrial defect detection	Mengembangkan metode deep learning yang lebih fleksibel untuk deteksi cacat pada industri	Assembly Automation, vol. 40 no. 1 https://doi.org/10.1108/AA-08-2018-114	End-to-end learning framework	Untuk mengatasi kesulitan deteksi cacat blade maka dikembangkan arsitektur baru yang mengintegrasikan residue learning

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					<p>untuk melakukan deteksi cacat yang efisien. Platform pengumpulan data ganda juga dibangun dan validasi eksperimental ekstensif juga dilakukan. Banyak percobaan dilakukan pada kumpulan data yang dikumpulkan, dan hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem yang</p>

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					diusulkan dapat mencapai kinerja yang memuaskan dibandingkan metode lain. Selain itu, operasi pemerataan data membantu hasil deteksi cacat yang lebih baik.
Yuhandri et al. (2017)	Object Feature Extraction of Songket Image Using Chain Code Algorithm	mengetahui ciri-ciri motif yang terdapat pada gambar songket agar objek tersebut dapat	Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol, vol. 7 no. 1	Metode yang digunakan adalah segmentasi warna citra dan morfologi	Hasilnya menunjukkan bahwa pengembangan algoritma kode rantai dapat

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
		terdeteksi dan dibaca.		matemat is dalam mendete ksi objek dan kemudia n mengeks traksi motf dengan cara penerapa n algoritm a pelacaka n kontur moore dan pengemb angan algoritm a kode rantai.	menghasi lkan jumlah objek, panjang kode rantai, dan nilai kemungki nan laju kemuncul an setiap kode rantai dalam suatu motif, meskipun terdapat beberapa objek dalam suatu motif.
(H. Zhang et al., 2023)	Defect detectio n of color-	Mengusulka n kerangka kerja deteksi cacat	International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 35 no. 6	Kerangka kerja yang diusulkan	Kerangka kerja yang diusulkan dibanding

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	patterned fabric based on Denoising GAN	berdasarkan pembelajaran adversarial tanpa pengawasan untuk rekonstruksi gambar guna memecahkan masalah deteksi berlebihan atau kesalahan deteksi karena tidak dapat beradaptasi dengan pola kompleks kain berpola warna.	https://doi.org/10.1108/IJCST-03-2022-0032	terdiri dari tiga bagian: generator, diskriminator, dan modul pascapemrosesan gambar. Generator mampu mengekstrak fitur-fitur gambar dan kemudian merekonstruksi gambar tersebut. Diskriminator dapat mengawasi generator untuk memperb	kan dengan metode canggih pada kumpulan data publik YDFID-1 (Kumpulan Data Gambar Kain Berwarna Benang-versi). Kerangka kerja yang diusulkan juga divalidasi pada beberapa kelas dalam dataset MvTec AD. Hasil eksperimen berbagai pola/kelas

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
				aiki cacat pada sampel guna meningkatkan kualitas rekonstruksi gambar. Modul postprocessing gambar multidifference digunakan untuk mendapatkan hasil akhir deteksi cacat kain bermotif warna.	pada YDFID-1 dan MvTecAD menunjukkan efektivitas dan keunggulan metode ini dalam deteksi cacat kain.
(R. Zhang et al., 2022)	Ultrasonic diagnosis method	Mengusulkan metode diagnosis ultrasonik baru untuk	Sensor Review, vol. 42 no. 2 https://doi.org/10.1108/SR-08-2021-0272	<i>multi-domain feature fusion</i>	Hasil eksperimen menunjukkan bahwa

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
	for stainless steel weld defects based on multi- domain feature fusion	cacat las baja tahan karat berbasis <i>multi- domain feature fusion</i> untuk memecahkan dua masalah dalam diagnosis ultrasonik cacat las baja tahan karat austenitik.			akurasi diagnostik model diagnosis ringan yang dibangun dapat mencapai 96,55% untuk lima jenis cacat las baja tahan karat, antara lain retak, porositas, inklusi, kurang fusi, dan penetrasi tidak lengkap. Ini dapat memenuhi kebutuhan aplikasi teknik praktis. Metode ini

Author (Year)	Title	Goal(s)	Journal & DOI	Method	Result(s)
					memberikan landasan teori dan referensi teknis untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi diagnosis cacat ultrasonik yang cerdas, efisien dan akurat.

Kegiatan inspeksi pada industri umumnya dilakukan secara manual dengan tenaga manusia sebagai operator. Dengan mengandalkan tenaga manusia yang memiliki keterbatasan tentunya kegiatan ini memiliki kendala.

Revolusi industri 4.0 mendorong otomatisasi inspeksi produk untuk manufaktur yang tanpa cacat (*zero defect*) dan berkualitas tinggi dimana kemampuan fleksibilitas manusia berkolaborasi dengan kemampuan akurasi komputer dan mesin (Brito et al., 2020). Perkembangan *computer vision* dapat sangat membantu dalam dunia industri manufaktur untuk mencapai kualitas yang unggul (Schmidt et al., 2020).

Pengendalian kualitas adalah proses yang penting dalam kegiatan manufaktur untuk memastikan bahwa produk tidak memiliki kecacatan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Terdapat kemungkinan manusia tidak mampu

mengidentifikasi cacat pada produk karena keterbatasan dari indera penglihatan manusia. Otomatisasi dibutuhkan untuk meminimalisir produk cacat lolos sampai ke tangan pelanggan yang akan berpengaruh terhadap kepuasan pelanggan. Otomatisasi pada kegiatan inspeksi produk sangat penting untuk menjaga kualitas secara berkelanjutan (Deshpande et al., 2020).

Berdasarkan perbandingan tinjauan pustaka di atas yang kemudian disesuaikan dengan tujuan dari penelitian ini. Maka dapat disimpulkan.

1. Kegiatan inspeksi yang dilakukan dengan manual memiliki berbagai macam kendala dan keterbatasan.
2. Kegiatan inspeksi yang dilakukan dengan manual membutuhkan tenaga (operator) ahli dengan jumlah yang banyak sehingga tidak efisien mengingat perbedaan persepsi antara operator serta *human error* sangat mungkin terjadi.
3. Otomatisasi kegiatan inspeksi produk menggunakan *artificial intelligence* namun terkendala pemilihan algoritma karena membutuhkan eksperimen secara intensif dan komprehensif.
4. Informasi yang disampaikan harus dapat menjelaskan kondisi produk dengan baik dan jelas sehingga tersampaikan dengan baik ke pihak terkait.

BAB III

METODOLOGI

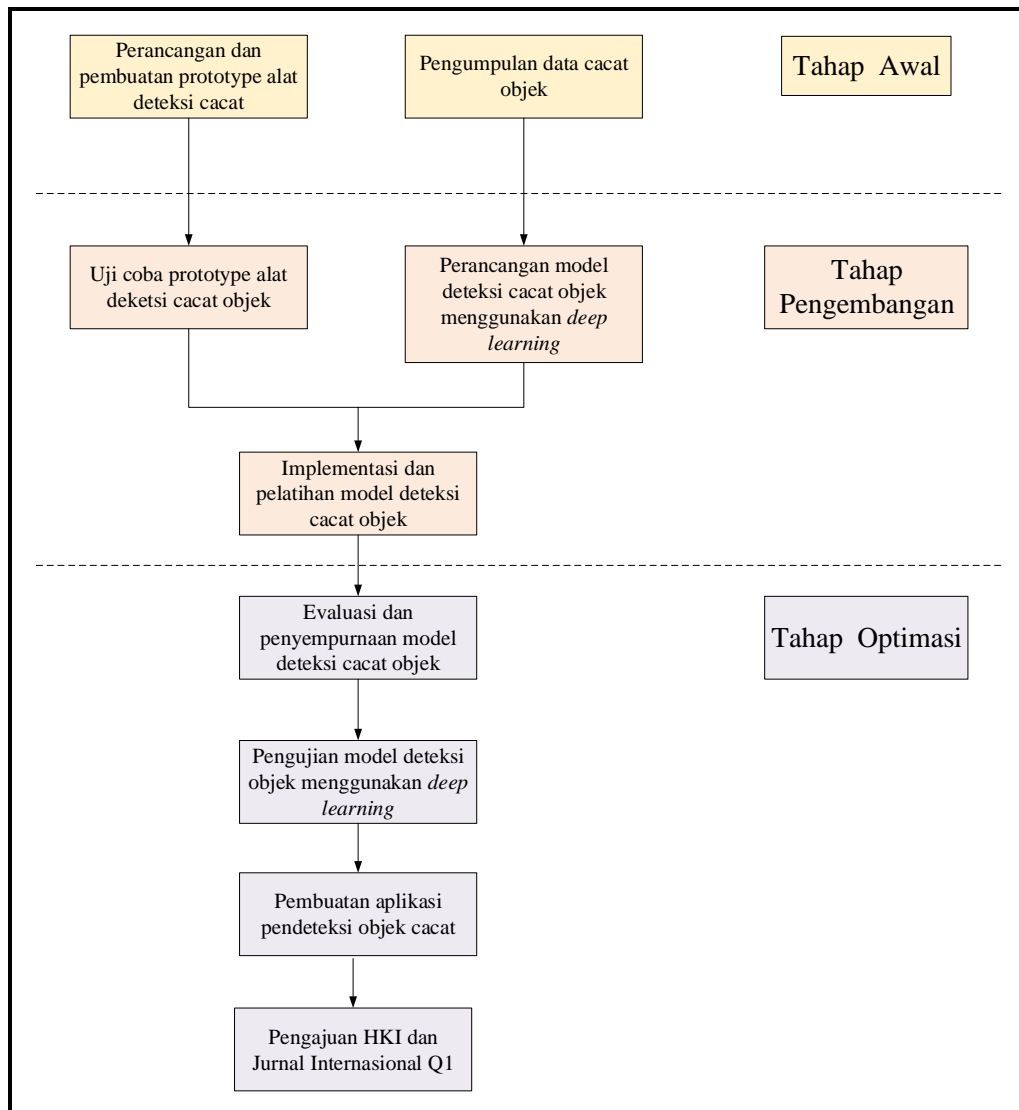
3.1 Motivasi

Industri manufaktur memiliki berbagai macam produk yang ada di dalamnya. Dalam upaya pemenuhan kualitas yang tinggi serta menjaga kepuasan pelanggan dan reputasi perusahaan maka mendeteksi produk yang cacat sedini mungkin merupakan aspek yang penting. Sehingga motivasi dari disertasi ini adalah sebagai berikut.

1. Pengembangan aplikasi pendeteksi cacat pada produk ini didasari keinginan peneliti untuk meningkatkan kinerja pengendalian kualitas pada industri manufaktur sehingga dapat membantu menjaga kualitas produk serta efisiensi dalam kegiatan pengendalian kualitas.
2. Untuk meminimalisir pemborosan waktu, bahan baku, biaya dan sumber daya lainnya karena deteksi cacat pada produk dilakukan sedini dan secepat mungkin.
3. Meningkatkan efisiensi pada kegiatan inspeksi produk dengan menerapkan otomatisasi melalui aplikasi yang dikembangkan.
4. Mengintegrasikan teknologi yang sedang berkembang seperti *artificial intelligence* dengan industri manufaktur sehingga tercipta manufaktur cerdas yang akan berakibat pendapatan profit perusahaan yang optimal.
5. Memberikan kontribusi pemahaman dan pengembangan teknologi baru dalam deteksi objek sehingga bisa menjadi referensi untuk pembaca serta penelitian selanjutnya.

3.2 Alur Kerja Riset

Alur kerja riset digambarkan melalui diagram alir. Tujuannya agar penelitian dapat terstruktur sehingga tidak ada tahapan penelitian yang terlewat. Secara umum berikut ini merupakan diagram alir penelitian ini.



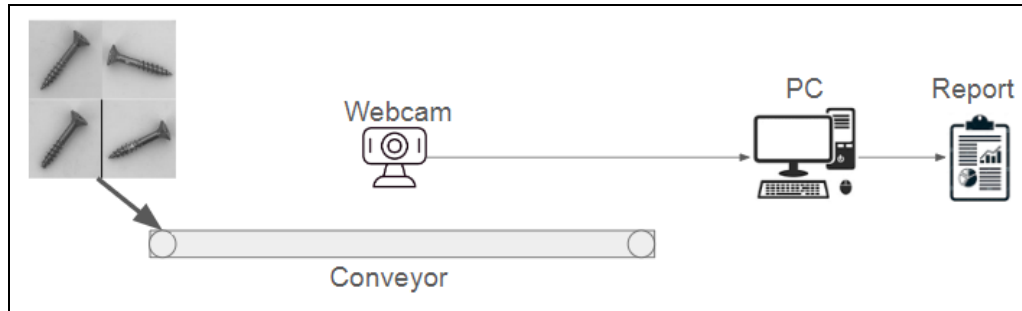
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian di atas menggambarkan alur penelitian yang akan dilakukan. Berikut ini adalah penjelasan dari diagram alir penelitian di atas.

1. Tahap Awal

Kegiatan yang dilakukan pada tahap awal ini adalah merancang dan membuat prototype alat deteksi cacat dan pengumpulan data cacat objek. Prototype alat ini menggunakan ban berjalan dengan motor listrik sebagai penggeraknya dengan alat pencahayaan yang cukup. Alat ini juga dilengkapi kamera dan prosesor sebagai media untuk mendeteksi cacat pada sekrup. Alat ini nantinya digunakan untuk mendeteksi objek sekrap. Kamera yang digunakan adalah Intel RealSense Depth Camera D435i with IMU. Prosesor yang digunakan

adalah NVIDIA Jetson Orin Nano Official Developer Kit 8gb. Berikut ini adalah gambaran alat yang akan dikembangkan.



Gambar 3.2 Rancangan Prototipe Alat

Gambar 3.2 di atas menggambarkan rancangan alat yang akan dikembangkan. Objek berupa sekrup akan berjalan melalui ban berjalan (*conveyor*) yang nantinya akan ditangkap gambarnya oleh *webcam* atau kamera yang terhubung dengan komputer untuk dideteksi apakah terdapat kecacatan pada sekrup tersebut atau tidak. Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang dibutuhkan pada penelitian ini. Data yang dikumpulkan menggunakan teknik sintetik data. Data sintetik dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama adalah membuat cacat pada sekrup menggunakan geget. Tahap kedua adalah memotret sendiri objek sekrup baik yang dalam keadaan OK maupun cacat untuk dikumpulkan menjadi kumpulan data. Data sekunder juga dikumpulkan melalui *website kaggle* maupun *website* atau jurnal lain yang sejenis. Data sekunder dimaksudkan untuk lebih memperkaya variasi data yang akan digunakan pada penelitian ini. Hasil dari akuisisi citra ini akan digunakan untuk pelatihan dan pengujian data. Data tersebut kemudian dikumpulkan menjadi sebuah dataset yang akan digunakan untuk melatih model. Data-data yang diambil kemudian dikelompokkan menjadi beberapa kelas sesuai dengan kondisi pada sekrup tersebut. Luaran pada tahap ini adalah dataset untuk pelatihan model serta pengajuan HKI untuk prototipe alat pendeteksi cacat objek yang dirancang.

2. Tahap Pengembangan

Tahap ini terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan. Pertama adalah melakukan uji coba prototipe alat deteksi cacat objek yang digambarkan pada

gambar 3.2 di atas. Uji coba dilakukan dengan menyesuaikan tinggi kamera, tingkat pencahayaan, kecepatan ban berjalan serta pengaturan tempat ban berjalan untuk menjaga efektivitas dan efisiensi dalam mendeteksi objek. Kedua adalah merancang model untuk mendeteksi cacat objek dengan menggunakan *deep learning*. Sebelum melatih data dilakukan *preprocessing* terlebih dahulu. Kegiatan ini dilakukan dengan menggunakan website roboflow. *Preprocessing* dilakukan mengoptimalkan pelatihan dengan menganotasi citra untuk menandai bagian penting dari citra (*region of interest*), menyamakan orientasi citra, mengubah ukuran citra agar sama, memperbanyak variasi data dengan augmentasi, dan generalisir data sehingga menjadi satu kesatuan dataset yang lebih siap untuk dilatih.

Setelah *preprocessing* dilakukan maka diharapkan pelatihan data yang dilakukan lebih optimal. Pelatihan data dilakukan untuk melatih model mengenali citra yang akan dideteksi sehingga pada penerapannya mendapatkan hasil deteksi yang akurat dan optimal. Pelatihan data dilakukan dengan menggunakan salah satu algoritma dari teknologi kecerdasan artifisial yaitu *deep learning* dengan bahasa pemrograman yang digunakan adalah python. Pada pelatihan data ini juga akan mendapatkan nilai pengukuran evaluasi (measurment evaluation) berupa *accuracy*, *recall* and *precision*, dan *mean average precision* (MAP). Pelatihan harus memiliki jumlah data (dalam hal ini adalah citra) yang lebih banyak dibandingkan pengujian. Penelitian ini menggunakan perbandingan 8:2 untuk pelatihan dan pengujian dimana 80% data digunakan untuk pelatihan dan sisanya digunakan untuk pengujian.

3. Tahap Optimasi

Tahap pengembangan telah dilakukan kemudian masuk ke tahap optimasi. Tahap ini terdapat kegiatan yaitu evaluasi dan penyempurnaan model deteksi cacat objek. Evaluasi dan penyempurnaan dilakukan agar fitur yang ada pada aplikasi yang akan dikembangkan dapat ditampilkan dengan maksimal. Fitur yang akan ditambahkan pada model pendeteksi objek berupa kemampuan komputer untuk secara otomatis menyimpan hasil deteksi menjadi sebuah basis data. Sehingga nantinya data tersebut dapat menjadi acuan bagi

departemen terkait untuk inovasi ke depannya. Setelah pelatihan data dilakukan, maka selanjutnya adalah pengujian data. Pengujian data dilakukan untuk menguji model sejauh mana dapat mendeteksi cacat dari suatu produk. Pada pengujian data dilakukan dengan mengunggah data secara acak selain data yang digunakan pada pelatihan. Pada akhirnya akan menampilkan output model dalam mendeteksi cacat pada produk. Setelah itu maka dibangun aplikasi yang mampu mendeteksi cacat produk pada industri secara *real time*. Aplikasi ini nantinya akan menampilkan hasil deteksi dari produk yang bergerak. Informasi yang disampaikan antara lain kondisi dari produk cacat atau tidak serta bagian mana yang cacat akan ditandai oleh *bounding box*. Hal ini akan dengan cepat membantu operator mengetahui cacat jenis apa yang terjadi. Sehingga dapat ditindaklanjuti sesegera mungkin yang secara tidak langsung juga membantu dalam pengambilan keputusan. Target penelitian ini adalah mengembangkan model pendeteksi objek, membuat prototype alat pendeteksi objek, pengajuan HKI serta publikasi artikel/jurnal ilmiah internasional bereputasi (Q1 ; IEEE Access).

3.3 Pendekatan

Pendekatan yang dilakukan adalah dengan menggunakan teknologi *artificial intelligence* dalam mengadopsi kemampuan manusia dalam mendeteksi objek. Pendekatan ini menggabungkan antara pengolahan citra dan *deep learning* dengan memanfaatkan salah satu arsitektur yang dimilikinya. Selain itu diterapkan juga pengukuran evaluasi seperti *precision*, *recall*, dan *mean average precision* (MAP) untuk memastikan model yang dikembangkan dapat digunakan dengan optimal. Nantinya akan dikembangkan sebuah aplikasi yang kemungkinan berbasis web untuk mempermudah pengguna untuk mengambil gambar (bergerak maupun tak bergerak) yang kemudian mengirimnya ke sistem pendeteksi cacat dan menerima hasil deteksi secara *real time*. Hasil deteksi secara *real time* dikehendaki agar produk dapat diperiksa selama proses produksi berlangsung sehingga cacat dapat dideteksi secepat dan seakurat mungkin. Hal ini akan membantu operator untuk melakukan kegiatan inspeksi produk dengan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, S. M., & Oliveira Sant'Anna, A. M. (2023). Machine learning-based control charts for monitoring fraction nonconforming product in smart manufacturing. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(3), 727-751. doi:10.1108/IJQRM-07-2021-0210
- Altuğ, M. (2023). Application of six sigma through deep learning in the production of fasteners. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(7), 1376-1402. doi:10.1108/IJLSS-08-2022-0191
- Asín, J., Ávila-de la Torre, M., Berges-Muro, L., & Sánchez-Valverde, B. (2017). Improvement of the Quality Control Plan in the reception of waste glass. Application in Verallia. *Procedia Manufacturing*, 13, 1135-1142.
- Baikova, D., Maia, R., Santos, P., Ferreira, J., & Oliveira, J. (2019). *Real time object detection and tracking*. Paper presented at the Ambient Intelligence–Software and Applications–, 9th International Symposium on Ambient Intelligence.
- Brito, T., Queiroz, J., Piardi, L., Fernandes, L. A., Lima, J., & Leitão, P. (2020). A machine learning approach for collaborative robot smart manufacturing inspection for quality control systems. *Procedia Manufacturing*, 51, 11-18.
- Deshpande, A. M., Minai, A. A., & Kumar, M. (2020). One-shot recognition of manufacturing defects in steel surfaces. *Procedia Manufacturing*, 48, 1064-1071.
- Essah, R., Anand, D., & Singh, S. (2022). An intelligent cocoa quality testing framework based on deep learning techniques. *Measurement: Sensors*, 24, 100466.
- Fan, H., Dong, Q., & Guo, N. (2023). Surface defect classification of hot-rolled steel strip based on mixed attention mechanism. *Robotic Intelligence and Automation*, 43(4), 455-467. doi:10.1108/RIA-01-2023-0001
- Fauzi, A., Madenda, S., Wibowo, E. P., & Masruriyah, A. F. N. (2020). *The importance of bounding box in motion detection*. Paper presented at the 2020 Fifth International Conference on Informatics and Computing (ICIC).
- Handayani, H. H., Madenda, S., Wibowo, E. P., Kusuma, T. M., Widiyanto, S., & Masruriyah, A. F. N. (2020). *The Best Classification Algorithm for Identification Beef Quality Based on Marbling*. Paper presented at the 2020 Fifth International Conference on Informatics and Computing (ICIC).
- Hassan, N. M., Hamdan, A., Shahin, F., Abdelmaksoud, R., & Bitar, T. (2023). An artificial intelligent manufacturing process for high-quality low-cost production. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(7), 1777-1794. doi:10.1108/IJQRM-07-2022-0204
- Jarkas, O., Hall, J., Smith, S., Mahmud, R., Khojasteh, P., Scarsbrook, J., & Ko, R. K. (2023). ResNet and YOLOv5-enabled non-invasive meat identification for high-accuracy box label verification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 125, 106679.

- Khurana, P., Sharma, A., Singh, S. N., & Singh, P. K. (2016). *A survey on object recognition and segmentation techniques*. Paper presented at the 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom).
- Li, C., Liu, C., Liu, Z., Yang, R., & Huang, Y. (2020). Fabric defect detection method based on cascaded low-rank decomposition. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 32(4), 483-498. doi:10.1108/IJCST-03-2019-0037
- Liu, Z., Liu, S., Li, C., & Li, B. (2022). Fabric defect detection based on multi-source feature fusion. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 34(2), 156-177. doi:10.1108/IJCST-07-2020-0108
- Liu, Z., Wang, M., Li, C., Ding, S., & Li, B. (2022). A dual-branch balance saliency model based on discriminative feature for fabric defect detection. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 34(3), 451-466. doi:10.1108/IJCST-02-2021-0017
- Naam, J., Harlan, J., Madenda, S., & Wibowo, E. P. (2016). The algorithm of image edge detection on panoramic dental x-ray using multiple morphological gradient (mmg) method. *International Journal on Advanced Science, Engineering Information Technology*, 6(6), 1012-1018.
- Nugraha, Y. P. P., & Wibowo, E. P. (2024). Deteksi Cacat pada Sekrup Berbasis Citra Menggunakan YOLOv5. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 23(1), 59-66.
- Psarommatis, F., Sousa, J., Mendonça, J. P., & Kiritsis, D. J. I. J. o. P. R. (2022). Zero-defect manufacturing the approach for higher manufacturing sustainability in the era of industry 4.0: a position paper. 60(1), 73-91.
- Purushothaman, K., & Ahmad, R. (2022). Integration of Six Sigma methodology of DMADV steps with QFD, DFMEA and TRIZ applications for image-based automated inspection system development: a case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(6), 1239-1276. doi:10.1108/IJLSS-05-2021-0088
- Reyes-Luna, J. F., Chang, S., Tuck, C., & Ashcroft, I. (2023). A surrogate modelling strategy to improve the surface morphology quality of inkjet printing applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 89, 458-471.
- Schmidt, D., Gevers, R., Schwiep, J., Ordieres-Meré, J., & Villalba-Diez, J. (2020). Deep learning enabling quality improvement in rotogravure manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 51, 330-336.
- Shi, Y., Wang, X., Borhan, M. S., Young, J., Newman, D., Berg, E., & Sun, X. (2021). A review on meat quality evaluation methods based on non-destructive computer vision and artificial intelligence technologies. *Food science of animal resources*, 41(4), 563.
- Suhartini, N. (2020). Penerapan Metode Statistical Proses Control (SPC) Dalam Mengidentifikasi Faktor Penyebab Utama Kecacatan Pada Proses Produksi Produk Abc. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 25(1), 10-23.
- Villalba-Diez, J., Schmidt, D., Gevers, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz, M., & Wellbrock, W. (2019). Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. *Sensors*, 19(18), 3987.

- Wu, Y., Guo, D., Liu, H., & Huang, Y. (2020). An end-to-end learning method for industrial defect detection. *Assembly Automation*, 40(1), 31-39. doi:10.1108/AA-08-2018-114
- Yang, J., Li, S., Wang, Z., Dong, H., Wang, J., & Tang, S. (2020). Using deep learning to detect defects in manufacturing: a comprehensive survey and current challenges. *Materials*, 13(24), 5755.
- Yuhandri, Madenda, S., Wibowo, E. P., & Karmilasari. (2017). Object Feature Extraction of Songket Image Using Chain Code Algorithm. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 7(1), 235-241.
- Zhang, H., Wang, S., Mi, H., Lu, S., Yao, L., & Ge, Z. (2023). Defect detection of color-patterned fabric based on DenoisingGAN. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 35(6), 865-888. doi:10.1108/IJCST-03-2022-0032
- Zhang, R., Zhao, N., Fu, L., Pan, L., Bai, X., & Song, R. (2022). Ultrasonic diagnosis method for stainless steel weld defects based on multi-domain feature fusion. *Sensor Review*, 42(2), 214-229. doi:10.1108/SR-08-2021-0272