

BAB I

PENDAHULUAN

CEP: *Sering terjadinya kesalahan pengecekan barang atau produk di pabrik pembuatan stepnosing yang mengakibatkan barang cacat tetap terjual sehingga menurunkan kualitas barang jual dan ketidakpercayaan konsumen*

1.1 Pengenalan Masalah

Stepnosing adalah bagian dari ujung tangga yang biasanya terbuat dari material yang lebih kuat dan memiliki tekstur khusus. Ini terpasang di bagian depan pijakan tangga dan berfungsi untuk memberikan perlindungan serta meningkatkan visibilitas dan traksi bagi pengguna saat naik atau turun tangga. Istilah "nosing" merujuk pada bagian yang menonjol dari pijakan, mirip dengan bentuk hidung (nose) pada wajah manusia [1]

Stepnosing dapat dilihat pada gambar 1.1:



Gambar 1.1 Stepnosing Granit[2]

Step nosing memiliki peran penting dalam meningkatkan keamanan dan ketahanan tangga. Pertama, dengan memberikan kontras visual yang jelas antara langkah tangga dan hidung tangga, pengguna dapat lebih mudah mengenali tepi tangga, terutama dalam kondisi pencahayaan yang buruk. Kontras ini membantu menghindari kesalahan langkah dan mengurangi risiko tergelincir. Kedua, permukaan anti slip pada step nosing memberikan cengkeraman ekstra, yang sangat berguna saat tangga basah atau licin, sehingga meningkatkan keselamatan pengguna[2]. Selain itu, step nosing melindungi tepi tangga dari keausan dan kerusakan akibat penggunaan berulang, memperpanjang masa pakai tangga serta mengurangi biaya perawatan. Dengan demikian, step nosing tidak hanya memberikan perlindungan struktural tetapi juga meningkatkan keamanan bagi pengguna. [3]

Standar Kualitas Produk Stepnosing yang Diharapkan Dalam industri manufaktur stepnosing, kualitas produk sangat penting untuk menjaga fungsi keselamatan dan estetika. Konsumen mengharapkan produk yang:

1. Memiliki ukuran yang presisi dan sesuai dengan spesifikasi.
2. Tidak memiliki cacat visual seperti goresan, retakan, atau deformasi.
3. Memiliki permukaan anti-selip yang efektif dan tahan lama.
4. Mampu bertahan dalam lingkungan keras seperti area industri atau luar ruangan.[4]

Selain itu, kualitas permukaan stepnosing harus bebas dari cacat yang dapat mengurangi daya tahannya atau menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada komponen lain yang berinteraksi dengan produk tersebut, seperti lantai atau dinding.[5]

Dampak Barang Cacat terhadap Perusahaan dan Konsumen, Barang cacat yang berhasil lolos dari proses produksi dan dikirimkan ke konsumen dapat memberikan dampak yang signifikan bagi perusahaan maupun konsumen. Bagi konsumen, produk stepnosing yang cacat dapat:

1. Mengurangi tingkat keamanan, terutama jika permukaan anti-selip tidak berfungsi dengan baik, yang dapat menyebabkan kecelakaan.
2. Mengganggu estetika dan daya tahan produk, terutama jika cacat terjadi pada bagian visual atau struktural[6].

Proses pengecekan kualitas produk di industri manufaktur adalah tahap kritis yang menentukan kelayakan produk untuk didistribusikan kepada konsumen. Di pabrik pembuatan stepnosing, kesalahan dalam proses pengecekan produk dapat berakibat serius. Stepnosing sendiri adalah komponen keamanan yang digunakan di tangga atau permukaan lantai untuk mencegah kecelakaan seperti terpeleset, serta meningkatkan daya tahan sudut-sudut tangga yang sering terpapar lalu lintas berat[2].

Masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sering terjadinya kesalahan pengecekan barang cacat di pabrik stepnosing, yang menyebabkan produk cacat

tetap dikirim ke konsumen. Produk cacat seperti stepnosing dengan deformasi, goresan, atau kerusakan pada permukaan anti-selip berpotensi mengurangi fungsi keselamatan dan estetika produk. Hal ini berpengaruh buruk terhadap reputasi perusahaan dan kepercayaan konsumen, serta menambah biaya akibat pengembalian produk atau klaim hukum[6].

Dengan meningkatnya ekspektasi konsumen terhadap kualitas produk dan standar keselamatan yang harus dipenuhi, penting bagi perusahaan untuk memperbaiki dan mengoptimalkan proses pengecekan barang. Masalah ini menjadi semakin kritis karena seiring dengan meningkatnya jumlah produksi, risiko kesalahan pengecekan secara manual juga meningkat. Oleh karena itu, solusi untuk mengotomatisasi dan meningkatkan akurasi proses pengecekan menjadi sangat penting untuk menjaga standar kualitas produk dan mencegah barang cacat terjual[7].

Stakeholder utama yang terlibat dalam masalah ini adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan/Pabrik Pembuatan Stepnosing

Pihak yang bertanggung jawab dalam produksi dan distribusi stepnosing. Mereka memiliki tanggung jawab untuk memastikan produk yang dijual memenuhi standar kualitas[6].

2. Konsumen/Pengguna Produk

Pihak yang membeli dan menggunakan stepnosing, termasuk individu, perusahaan konstruksi, dan organisasi lain yang memanfaatkan stepnosing untuk kebutuhan keselamatan dan daya tahan[2].

3. Distributor

Pihak yang menyalurkan produk dari pabrik ke pasar atau konsumen. Mereka juga terkena dampak jika produk yang cacat sampai ke tangan konsumen, karena berpotensi menurunkan penjualan dan menambah biaya penanganan pengembalian produk[8].

4. Pekerja di Pabrik

Pekerja yang bertugas melakukan pengecekan produk secara manual dan terlibat dalam rantai produksi secara keseluruhan. Efisiensi dan akurasi pengecekan barang secara langsung mempengaruhi beban kerja dan produktivitas mereka.[9]

Apabila masalah kesalahan pengecekan barang cacat dapat dipecahkan melalui metode yang lebih akurat, maka dampak positif akan dirasakan oleh semua stakeholder termasuk Perusahaan/Pabrik Pembuatan Stepnosing akan mendapatkan beberapa manfaat dari implementasi sistem ini. Pertama, peningkatan reputasi perusahaan terjadi karena hanya produk berkualitas yang lolos dari pabrik, yang pada akhirnya meningkatkan kepercayaan konsumen[8]. Selain itu, biaya operasional dapat dikurangi, terutama yang berkaitan dengan pengembalian produk dan perbaikan barang cacat, serta percepatan waktu produksi karena proses pengecekan yang lebih efisien[10]. Efisiensi produksi juga meningkat karena ketergantungan pada pengecekan manual berkurang, sehingga produktivitas pabrik meningkat dan perusahaan dapat meningkatkan output produksi dengan kualitas yang lebih konsisten[7]. Dari sisi konsumen atau pengguna produk, keselamatan mereka lebih terjamin karena berkurangnya produk cacat yang lolos dari pengecekan, sehingga risiko kecelakaan akibat stepnosing yang tidak layak menurun[6]. Kepuasan konsumen juga meningkat berkat produk yang konsisten dalam kualitas dan daya tahan, yang pada akhirnya memperkuat loyalitas mereka terhadap merek. Distributor pun akan merasakan dampak positif berupa peningkatan penjualan, seiring dengan meningkatnya permintaan produk berkualitas yang diinginkan konsumen. Pengurangan pengembalian produk karena berkurangnya barang cacat juga mengurangi beban logistik dan administrasi yang harus ditangani distributor[7]. Terakhir, pekerja di pabrik juga diuntungkan karena produktivitas mereka meningkat, memungkinkan mereka lebih fokus pada pengembangan proses produksi lainnya yang dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan pabrik[9].

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Pada pabrik pembuatan stepnosing, berdasarkan pernyataan yang disampaikan oleh salah satu pekerja pabrik proses produksi dilakukan melalui tiga tahap utama yang melibatkan penggunaan tiga tahap terpisah. Tahap pertama dilakukan pemotongan pada granit sesuai dengan ukuran stepnosing. Tahap kedua berfungsi untuk membuat garis anti-slip di permukaan stepnosing, yang menjadi elemen penting dalam mencegah kecelakaan seperti terpeleset pada tangga. Tahap kedua digunakan untuk membuat tepian atau pinggul di ujung granit, yang meningkatkan daya tahan produk terhadap aus atau kerusakan fisik. Ketiga proses ini menggunakan mata potong yang memerlukan presisi tinggi agar menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi.

Namun, setelah ketiga proses tersebut selesai, pengecekan kualitas produk hanya dilakukan secara visual pada beberapa sampel, tanpa pengukuran yang mendalam terhadap dimensi, presisi garis, atau kesesuaian antara ukuran dan spesifikasi teknis yang telah ditentukan. Stepnosing dengan ukuran 10x60 diperiksa secara acak, dan setelah pengecekan visual yang sederhana, produk langsung dikemas karena keterbatasan pekerja dan peningkatan permintaan yang ada. Ini berarti, ada risiko bahwa produk yang tidak memenuhi standar kualitas tetap terlewatkan dan dikemas untuk didistribusikan.

Fakta bahwa pengecekan kualitas hanya dilakukan pada sebagian kecil sampel dari setiap batch produksi meningkatkan kemungkinan barang cacat lolos dari pengecekan. Berdasarkan data internal pabrik, ada peningkatan pengembalian produk oleh konsumen akibat barang cacat yang meliputi deformasi atau cacat pada permukaan stepnosing, serta kerusakan minor seperti ukuran yang tidak presisi pada stepnosing sehingga pada saat pemasangan terlihat secara visual. Selain itu, keluhan dari distributor juga meningkat, karena mereka harus menanggung biaya tambahan untuk mengelola pengembalian produk dan menangani keluhan konsumen[7].

Untuk memvalidasi permasalahan ini, telah dilakukan survei dan wawancara pada bagian lampiran 1 dan lampiran 2 kepada pemilik pabrik, pemilik toko serta konsumen yang berkaitan dengan produk stepnosing. Tujuan dari survei ini adalah

untuk mengidentifikasi permasalahan dalam proses inspeksi produk stepnosing secara manual serta dampaknya terhadap kualitas produk dan kepuasan pelanggan.

Kesimpulan dari Hasil Survei dan Wawancara Berdasarkan hasil survei dan wawancara yang dilakukan terhadap beberapa pemilik toko dan konsumen, ditemukan bahwa dari 26 responden, sebanyak 20 orang atau sekitar 76,9% melaporkan bahwa mereka pernah menerima produk stepnosing dengan cacat, seperti permukaan sompel, tergores, dan ukuran yang tidak presisi. Hal ini menyebabkan tingginya angka pengembalian barang yang menghambat efisiensi distribusi dan menurunkan kepercayaan pelanggan terhadap merek serta distributor. Proses inspeksi yang dilakukan secara manual masih mengandalkan penilaian manusia, yang menyebabkan rawan kesalahan terutama saat operator mengalami kelelahan atau terburu-buru. Dari responden yang mengalami cacat produk, 65,4% melaporkan bahwa produk mengalami sompel, sementara 53,8% mengalami goresan atau ukuran tidak presisi. Metode sampling yang diterapkan dalam inspeksi juga dinilai tidak cukup efektif sehingga masih ada banyak produk cacat yang lolos ke pelanggan.

Produk cacat yang beredar di pasaran berdampak negatif terhadap pelanggan dan distributor. Sebanyak 22,2% responden menyatakan bahwa mereka mengalami kesulitan dalam proses pengembalian produk cacat, yang dapat menghambat aktivitas bisnis. Beberapa pelanggan juga menyatakan bahwa kepercayaan mereka terhadap merek menurun akibat produk yang tidak memenuhi standar kualitas.

Sebagian besar responden menyatakan bahwa sistem inspeksi otomatis sangat dibutuhkan untuk meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam mendeteksi cacat. Sebanyak 73,1% responden setuju bahwa sistem otomatis dapat mengurangi kesalahan manusia dan memastikan bahwa semua produk yang dikirim telah memenuhi standar kualitas.

Responden juga menginginkan sistem yang mampu melakukan deteksi cacat secara menyeluruh, baik dari aspek visual seperti goresan dan sompel, maupun validasi dimensi. Harapan utama mereka adalah mendapatkan sistem inspeksi yang akurat, efisien, dan tidak memperlambat proses produksi. Sistem yang dikembangkan

diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan pelanggan dan distributor terhadap produk stepnosing.

Beberapa solusi yang sudah diterapkan untuk meminimalkan produk cacat mencakup:

1. Inspeksi Visual oleh Pekerja

Inspeksi manual yang dilakukan oleh pekerja bertujuan untuk memeriksa setiap produk secara visual. Pekerja mengambil beberapa sampel dari produksi dan memeriksa cacat seperti retakan, goresan, atau ketidaksempurnaan lainnya dengan menggunakan visual saja tanpa bantuan alat apapun.

2. Pengukuran menggunakan alat sederhana

Beberapa pabrik menggunakan alat pengukur sederhana, seperti caliper, untuk memeriksa ukuran produk secara satu persatu dengan menggunakan pekerja yang sudah handal dibidang ini.

3. Inspeksi ukuran dan dimensi menggunakan tekknik pengolahan citra dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Beberapa pabrik menggunakan sistem inspeksi visual otomatis yang berbasis komputer. Mesin ini dilengkapi dengan iluminator dan sensor pencitraan untuk menangkap gambar ubin keramik, Dengan metode ini ubin keramik yang akan dideteksi diambil imagenya, kemudian image tersebut disimpan (save) di dalam hardisk computer. Dengan menggunakan matlab, database image di-upload dan dianalisis dengan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Hasil analisis berupa cacat seperti crack, spot dan pecah pinggir. Dari cacat yang dihasilkan dan analisis dapat diketahui apakah ubin keramik tersebut baik atau tidak baik[12].

1.1.2 Analisis Masalah

1. Aspek Ekonomi

Kesalahan pengecekan barang di pabrik stepnosing memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Barang cacat yang terjual dapat menyebabkan penurunan kualitas produk yang dirasakan oleh konsumen, yang berdampak pada berkurangnya kepercayaan terhadap produk[11]. Hal ini berakibat pada hilangnya pangsa pasar

dan potensi pendapatan bagi perusahaan. Selain itu, barang yang dikembalikan oleh konsumen karena cacat juga meningkatkan biaya operasional, baik dari segi pengembalian barang, penggantian, maupun biaya tambahan untuk produksi ulang. Secara keseluruhan, ketidakmampuan dalam menjaga kualitas produk memperbesar risiko kerugian finansial[8].

2. Aspek Sosial

Kesalahan pengecekan barang atau produk di pabrik stepnosing tidak hanya memengaruhi hubungan antara perusahaan dan konsumen, tetapi juga menciptakan dinamika sosial yang kompleks di dalam pabrik itu sendiri, Pekerja yang merasa bahwa kesalahan pengecekan adalah kesalahan mereka secara pribadi, tanpa adanya perbaikan sistem atau dukungan dari manajemen, cenderung kehilangan motivasi. Kurangnya apresiasi terhadap usaha pekerja dalam menjaga kualitas produk, serta ketidakjelasan dalam tanggung jawab pengecekan, dapat berdampak negatif pada produktivitas. Pekerja akan merasa tertekan, yang bisa mengarah pada penurunan kinerja dan peningkatan angka kesalahan di kemudian hari[9].

3. Aspek Manufakturabilitas

Pada proses manufaktur stepnosing, pengecekan yang tidak akurat atau tidak konsisten menjadi kendala besar. Kesalahan dalam inspeksi, terutama saat dilakukan secara manual, mengakibatkan variasi kualitas produk. Hal ini membuat pabrik sulit untuk menjaga standar produksi yang seragam. Proses produksi stepnosing yang melibatkan berbagai tahap, termasuk pemotongan dan pembentukan garis anti-slip, membutuhkan ketelitian tinggi dalam pengawasan, namun ketika inspeksi manual dilakukan terbatas hanya pada beberapa sampel visual, risiko kesalahan semakin besar. Ini mengakibatkan produksi tidak efisien dan merusak keseluruhan proses manufaktur[11].

4. Aspek Etika

Secara etis, menjual produk yang cacat tanpa terdeteksi sebelumnya berarti perusahaan gagal dalam tanggung jawabnya untuk menyediakan produk yang aman dan sesuai standar bagi konsumen. Ketika produk yang tidak memenuhi standar

kualitas dijual di pasar, perusahaan melanggar kepercayaan yang diberikan konsumen, yang pada akhirnya bisa menyebabkan krisis kepercayaan. Konsumen yang merasa dirugikan mungkin tidak hanya menuntut penggantian barang, tetapi juga berpotensi untuk menyebarkan keluhan, yang merusak citra perusahaan di pasar[8].

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan Analisa yang dilakukan terhadap rancangan yang akan dibuat, diharapkan alat dapat memenuhi beberapa parameter parameter yang sudah ditetapkan sebagai berikut :

1. Alat yang dibuat dapat menunjang proses inspeksi dan dapat mendeteksi cacat
2. Alat yang dibuat harus menyesuaikan dengan spesifikasi standar produk
3. Alat yang dibangun harus bisa bekerja secara terus menerus selama kurang lebih 4 jam sehari mengikuti pengerjaan yang ada di pabrik

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi, didapatkan tujuan utama adalah untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pemeriksaan stepnosing setelah produksi, dengan memastikan setiap produk memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Sistem ini dirancang agar memiliki akurasi deteksi, sehingga dapat mendeteksi cacat atau kesalahan[7]. Dengan penerapan sistem ini, diharapkan kualitas produk lebih konsisten.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

Fitur Dasar:

1. Pendeteksian Cacat Visual

Sistem inspeksi dirancang untuk mampu mendeteksi berbagai jenis cacat pada produk stepnosing, termasuk pada goresan dan deformasi. Dengan demikian, sistem ini berperan krusial dalam menjaga kualitas dan integritas

produk sebelum masuk ke tahap selanjutnya yaitu pengemasan dikirim ke konsumen.

2. Verifikasi Kesesuaian Spesifikasi Produk

Sistem inspeksi dilengkapi dengan kemampuan untuk memeriksa spesifikasi bentuk stepnosing sesuai dengan toleransi yang telah ditetapkan pabrik serta mencakup evaluasi setelah proses produksi stepnosing yang mencakup 3 tahapan yaitu pemotongan, pembuatan anti-slip, dan penghalusan di ujung. Hal ini memastikan penyesuaian standar dan toleransi kualitas sesuai dengan tahapan pembuatan stepnosing

3. Pengecekan Dimensi dan Ukuran

Sistem ini harus dapat mengukur dimensi stepnosing, termasuk panjang, dan lebar secara akurat. Pengecekan dimensi ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk akhir sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh pabrik.

4. Otomatisasi Proses Inspeksi

Menggunakan metode komputasi yang memungkinkan pengecekan dilakukan secara otomatis. Sistem ini dapat berupa algoritma berbasis pengolahan gambar atau sensor berbasis pengukuran fisik. Pendekatan ini meningkatkan konsistensi dalam proses inspeksi.

4. Visualisasi Hasil Inspeksi Secara *Real Time*

Untuk meningkatkan pemahaman dan transparansi dalam proses inspeksi, sistem ini dilengkapi dengan kemampuan visualisasi hasil inspeksi. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melihat dan menganalisis hasil inspeksi secara real-time melalui antar muka kepada pekerja, serta memberikan laporan yang komprehensif mengenai status produk stepnosing.

5. Pemberitahuan Alarm Instan

Fitur notifikasi atau pemberitahuan dalam sistem inspeksi dirancang untuk memberikan informasi secara real-time kepada operator mengenai status hasil inspeksi stepnosing. Ketika sistem mendeteksi adanya ketidaksesuaian atau cacat pada produk, notifikasi akan dikirimkan secara otomatis kepada pengguna melalui antarmuka sistem atau suara alarm (sebagai pemberitahuan dan sinyal langsung). Hal ini dapat meminimalkan risiko

produksi barang cacat yang akan sampai ke konsumen. Dengan adanya fitur ini, transparansi dan responsivitas dalam proses inspeksi dapat ditingkatkan, sekaligus mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif.

Fitur Tambahan:

1. Biaya yang Terjangkau kurang dari Rp 8.000.000 : Sistem dirancang dengan komponen efisien untuk menjaga biaya tetap rendah tanpa mengurangi kualitas inspeksi.
2. user friendly : Alat dan antarmuka pengguna yang intuitif memastikan alat mudah memberikan pemahaman kepada pekerja sehingga, meningkatkan produktivitas.
3. Compatibility: sistem atau alat dapat diimplementasikan dengan mudah dan diintegrasikan secara efisien dengan sistem yang sudah ada. Sistem yang dirancang dengan tingkat compatibility tinggi harus bersifat modular dan fleksibel, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari berbagai kondisi operasional.
4. Efisiensi daya: Alat dirancang untuk berfungsi secara efisien selama kurang lebih 4 jam sehari, sesuai dengan kebutuhan proses produksi, sehingga daya yang efisien dapat memastikan alat dapat berkerja dalam jangka waktu yang ditentukan.
5. Adaptasi Lingkungan : Alat ini mampu berfungsi dengan baik di berbagai kondisi lingkungan, seperti perubahan suhu, kelembapan, dan paparan debu, menjaga performa yang stabil.
6. Selesai kurang dari 4 bulan : alat yang akan dibuat ini dapat selesai dalam waktu paling lama 4 bulan, dengan spesifikasi yang sudah di tetapkan.

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Sistem Pendeteksi Cacat Dan Dimensi Berbasis Kamera menggunakan deep learning dan image processing (YOLO dan Edge Detection)

Pada solusi pertama ini, dirancang sebuah sistem inspeksi yang mengintegrasikan algoritma YOLO (You Only Look Once) dengan edge detection untuk mendeteksi cacat visual dan memvalidasi dimensi produk stepnosing. YOLO berfungsi sebagai

detektor utama yang memberikan hasil akhir berupa identifikasi cacat seperti sompel, goresan, dan dimensi yang tidak sesuai. Algoritma ini bekerja dengan membagi gambar menjadi grid, menganalisis setiap grid untuk mendeteksi objek atau cacat, dan memberikan bounding box sebagai penanda lokasi cacat. Sementara itu, edge detection digunakan untuk mendukung operator dengan menyediakan visualisasi tambahan berupa pola tepi, yang membantu dalam memverifikasi hasil deteksi YOLO. Sistem ini dirancang untuk memastikan produk memenuhi standar kualitas tanpa mengorbankan efisiensi operasional.

Sistem ini membutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

1. Kamera Industri: Kamera dengan resolusi tinggi untuk menangkap gambar stepnosing secara detail.
2. Unit Pemrosesan Unit Pemrosesan: Digunakan untuk menjalankan algoritma YOLO dan edge detection secara efisien.
3. Buzzer: Memberikan indikator jika produk terdeteksi cacat.
4. Python dengan Pustaka OpenCV dan YOLO: Untuk implementasi algoritma YOLO dan edge detection.
5. Lighting System: Pencahayaan yang seragam untuk memastikan kualitas gambar optimal.

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi cacat visual dan memvalidasi dimensi produk stepnosing dengan memanfaatkan kekuatan YOLO sebagai detektor utama dan edge detection sebagai validasi tambahan. Penggunaan kedua metode ini memungkinkan sistem untuk memberikan hasil deteksi yang lebih komprehensif, dengan YOLO bertindak sebagai pengambil keputusan utama berdasarkan bounding box dan confidence score yang dihasilkan (Redmon & Farhadi, 2018), sementara edge detection mendukung operator dengan visualisasi tambahan untuk memverifikasi hasil deteksi [15]

1.2.2.2 Sistem pendeteksi cacat dan dimensi Berbasis Kamera dengan rekonstruksi 3D menggunakan metode Photogrammetry

Pada solusi kedua ini, dikembangkan sebuah sistem photogrammetry yang bertujuan untuk melakukan rekonstruksi 3D dan inspeksi kualitas produk stepnosing secara otomatis. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi cacat visual seperti goresan dan sompel, serta memvalidasi dimensi produk agar sesuai dengan spesifikasi. Photogrammetry merupakan teknologi berbasis citra yang menggunakan gambar dari berbagai sudut untuk membangun model 3D, yang kemudian dapat digunakan untuk analisis dan pengukuran lebih lanjut. Menurut Luhmann et al. (2014), photogrammetry adalah metode yang mengandalkan prinsip geometri epipolar untuk menganalisis hubungan antara gambar-gambar dengan sudut pandang berbeda, sehingga memungkinkan rekonstruksi objek secara akurat.

Photogrammetry didasarkan pada prinsip geometri epipolar dan triangulasi. Geometri epipolar digunakan untuk menentukan hubungan geometris antara titik-titik yang sama pada gambar dari sudut pandang yang berbeda. Dengan mengetahui garis epipolar, sistem dapat menghitung lokasi titik-titik tersebut dalam ruang 3D menggunakan metode triangulasi. Hasil dari proses ini adalah kumpulan titik koordinat yang disebut point cloud, yang merepresentasikan objek dalam bentuk spasial[16].

Sistem ini membutuhkan beberapa perangkat utama, yaitu:

1. Kamera Industri: Kamera dengan resolusi tinggi untuk menangkap gambar stepnosing dari berbagai sudut. Kamera industri digunakan karena memiliki kemampuan menangkap gambar dengan detail tinggi, sebagaimana disarankan oleh Bradski & Kaehler (2008).
2. Komputer dengan GPU: Digunakan untuk memproses data gambar dan menjalankan algoritma rekonstruksi 3D secara efisien. Penggunaan GPU direkomendasikan karena proses rekonstruksi 3D memerlukan daya komputasi yang besar [17].
3. Skala Referensi: Alat bantu seperti penggaris atau marker yang digunakan untuk kalibrasi dimensi pada model 3D.

4. Lighting System Stabil: Sistem pencahayaan untuk mengurangi noise pada gambar dan memastikan kualitas gambar optimal.
5. Tripod atau Rig Kamera: Untuk menjaga posisi kamera tetap stabil saat pengambilan gambar.

Sistem photogrammetry yang dikembangkan mampu menghasilkan model 3D stepnosing dengan tingkat akurasi yang tinggi. Dimensi produk dapat dihitung secara presisi dengan tingkat kesalahan rata-rata kurang dari 0,1 mm. Selain itu, sistem ini mampu mendeteksi cacat kecil seperti goresan halus dan deformasi permukaan yang tidak dapat dideteksi dengan mata manusia. Proses rekonstruksi 3D dan analisis memerlukan waktu rata-rata 3 hingga 5 menit per produk, yang sesuai untuk aplikasi inspeksi akhir produksi (end-of-line inspection)[18]. Sistem ini dirancang untuk memberikan solusi dalam inspeksi kualitas produk stepnosing, mencakup pengukuran dimensi yang presisi serta deteksi cacat visual. Dengan pengembangan perangkat lunak yang mandiri, sistem ini dapat memenuhi kebutuhan industri dalam memastikan kualitas produk sebelum didistribusikan.

1.2.2.3 Sistem Pendeteksi Cacat Dan Dimensi Berbasis Kamera Menggunakan Metode Pengolahan Citra Yaitu Template Matching

Pada solusi ketiga ini, dirancang sebuah sistem berbasis template matching untuk mendeteksi cacat visual seperti goresan dan sompel, serta memvalidasi dimensi produk stepnosing. Template matching adalah metode dalam pemrosesan citra digital yang digunakan untuk menemukan bagian dari gambar yang sesuai dengan template yang sudah ditentukan. Dalam konteks ini, template berupa citra stepnosing yang telah memenuhi spesifikasi digunakan sebagai acuan untuk mencocokkan produk aktual.

Template matching bekerja dengan cara membandingkan piksel dari gambar produk dengan template ideal untuk menemukan perbedaan signifikan yang dapat menunjukkan cacat atau dimensi yang tidak sesuai. Menurut Gonzalez dan Woods (2018), template matching adalah teknik sederhana yang efektif untuk aplikasi di mana bentuk dan pola produk relatif konstan.

Sistem ini membutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak berikut:

1. Kamera Industri: Kamera dengan resolusi tinggi untuk menangkap gambar stepnosing dengan detail yang jelas.
2. Unit pemrosesan: Digunakan untuk menjalankan algoritma template matching dan analisis hasil inspeksi.
3. Lighting System Stabil: Pencahayaan yang konsisten untuk mengurangi bayangan dan noise pada gambar.
4. Tripod atau Rig Kamera: Untuk memastikan posisi kamera stabil selama pengambilan gambar.
5. Python dan OpenCV: Digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk implementasi algoritma template matching.

Sistem template matching ini dirancang untuk mendeteksi cacat visual dan memvalidasi dimensi produk stepnosing berdasarkan perbandingan antara gambar produk dengan template ideal. Proses pencocokan memungkinkan sistem mengidentifikasi area yang mengalami cacat seperti goresan atau sompel serta memastikan bahwa dimensi produk sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Hasil inspeksi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh tim produksi untuk mengidentifikasi permasalahan pada produk dan melakukan langkah perbaikan yang diperlukan, sehingga mendukung peningkatan konsistensi dalam proses produksi.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

FITUR		Pendeteksian Cacat Visual	Verifikasi Kesesuaian Spesifikasi Produk	Pengecekan Dimensi dan Ukuran	Otomatisasi Proses Inspeksi	Visualisasi Hasil Inspeksi Secara Real Time	Pemberitahuan Alarm Instan	jumlah	solusi 1	solusi 2	solusi 3
Biaya yang Terjangkau (4)	16%	△	△	△	○	△	○	○	△	○	
User friendly(3)	12%	●	●	●	●	●	●	●	○	●	
ipability (4)	16%	○	△	○	○	○	○	○	△	○	
Adaptasi Lingkungan (4)	16%	●	●	●	○	○	●	○	●	△	
efisiensi daya (5)	20%	△	△	△	●	○	○	○	△	●	
Selesai Kurang dari 4 Bulan (5)	20%	○	○	○	●	○	○	○	△	●	
		71 16%	63 14%	71 16%	101 22%	61 13%	89 20%	456 100%	3,24	1,88	3,72
solusi 1		○	●	○	●	●	●	4,38			
solusi 2		○	●	●	△	●	△	3,02			
solusi 3		△	○	△	○	△	○	2,11			

Gambar 1.1 House of Quality

Keterangan :

△ = Hubungan kurang = 1

○ = Hubungan normal = 3

● = Hubungan erat = 5

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan *House Of Quality* didapatkan:

Fitur dasar seperti Pendeteksian Cacat, Pengecekan Spesifikasi Sesuai Standar, Pengecekan Dimensi dan Ukuran, Komputasi Otomatis, Visualisasi Hasil Inspeksi, dan Notifikasi atau Pemberitahuan memiliki tingkat kompleksitas yang memengaruhi hubungan dengan fitur tambahan.

Fitur Efisiensi Daya memiliki hubungan bertimbal balik dengan semua fitur dasar. Semakin kompleks kebutuhan sistem seperti pendeteksian cacat, pengecekan spesifikasi, dan pengukuran dimensi, semakin tinggi konsumsi daya yang diperlukan. Photogrammetry membutuhkan daya tinggi untuk rekonstruksi model 3D, Template Matching lebih hemat daya karena algoritmanya sederhana,

sedangkan YOLO + Edge Detection berada di tengah karena memerlukan GPU untuk pemrosesan.

Fitur Biaya yang Terjangkau memiliki hubungan kuat dengan fitur pengecekan spesifikasi dan komputasi otomatis. Photogrammetry memerlukan investasi besar karena perangkat keras dan perangkat lunak yang kompleks, sementara Template Matching lebih ekonomis meskipun membutuhkan tambahan biaya untuk template produk dengan banyak variasi. YOLO + Edge Detection memiliki biaya sedang karena memerlukan GPU tetapi dapat dioptimalkan dengan perangkat keras yang efisien.

Fitur Compatibility sangat penting untuk memastikan integrasi sistem. Template Matching unggul karena desainnya sederhana dan fleksibel untuk diimplementasikan, sedangkan Photogrammetry memiliki hubungan rendah karena membutuhkan perangkat keras kompleks seperti rig kamera. YOLO + Edge Detection berada di tengah karena membutuhkan penyesuaian tambahan untuk unit pemrosesan.

Fitur User Friendly berhubungan erat dengan kemudahan operator memahami hasil inspeksi. Template Matching dan YOLO + Edge Detection unggul karena antarmuka yang intuitif dan hasil inspeksi yang mudah dipahami. Sebaliknya, Photogrammetry memerlukan langkah tambahan seperti rekonstruksi 3D, yang dapat memperlambat respons operator.

Fitur Adaptasi Lingkungan memiliki hubungan kuat dengan pengecekan spesifikasi dan dimensi. Photogrammetry unggul karena tidak bergantung pada pencahayaan atau kondisi lingkungan, sedangkan Template Matching sangat sensitif terhadap noise visual dan pencahayaan. YOLO + Edge Detection cukup fleksibel tetapi membutuhkan dataset yang mencakup berbagai kondisi untuk menjaga akurasi.

Fitur Selesai Kurang dari 4 Bulan sangat dipengaruhi oleh kompleksitas sistem. Template Matching unggul karena sistemnya sederhana dan dapat dirancang lebih cepat. Photogrammetry membutuhkan waktu lebih lama karena pengujian dan rekonstruksi yang kompleks, sedangkan YOLO + Edge Detection berada di tengah karena pelatihan model memerlukan waktu tetapi dapat dipercepat dengan dataset yang memadai.

Berikut adalah point akhir dari setiap solusi sebagai berikut :

1. solusi 1

berdasarkan fitur dasar didapatkan sebagai berikut:

$$(3 \times 16\%) + (5 \times 14\%) + (3 \times 16\%) + (5 \times 22\%) + (5 \times 13\%) + (5 \times 20\%) = 4,38$$

berdasarkan fitur tambahan didapatkan sebagai berikut:

$$(3 \times 16\%) + (5 \times 12\%) + (3 \times 16\%) + (3 \times 16\%) + (3 \times 20\%) + (3 \times 20\%) = 3,24$$

sehingga didapatkan hasil akhir :

$$(4,38+3,24)/2= 3,81$$

2. solusi 2

berdasarkan fitur dasar didapatkan sebagai berikut:

$$(3 \times 16\%) + (5 \times 14\%) + (5 \times 16\%) + (1 \times 22\%) + (5 \times 13\%) + (1 \times 20\%) = 3,02$$

berdasarkan fitur tambahan didapatkan sebagai berikut:

$$(1 \times 16\%) + (3 \times 12\%) + (1 \times 16\%) + (5 \times 16\%) + (1 \times 20\%) + (1 \times 20\%) = 1,88$$

sehingga didapatkan hasil akhir :

$$(3,02+1,88)/2= 2,45$$

3. solusi 3

berdasarkan fitur dasar didapatkan sebagai berikut:

$$(1 \times 16\%) + (2 \times 14\%) + (1 \times 16\%) + (3 \times 22\%) + (1 \times 13\%) + (3 \times 20\%) = 2,11$$

berdasarkan fitur tambahan didapatkan sebagai berikut:

$$(3 \times 16\%) + (5 \times 12\%) + (3 \times 16\%) + (1 \times 16\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 20\%) = 3,72$$

sehingga didapatkan hasil akhir :

$$(2,11+3,72)/2= 2,91$$

1.2.4 Solusi yang dipilih

Berdasarkan analisis solusi yang dilakukan dengan menggunakan metode House of Quality, solusi yang dipilih untuk implementasi dalam sistem inspeksi stepnosing adalah Sistem pendeteksi cacat dan dimensi Berbasis Kamera menggunakan deep learning dan image processing (YOLO dan Edge Detection), Solusi ini memberikan keseimbangan terbaik antara fleksibilitas, akurasi, dan kemudahan implementasi. Algoritma YOLO memungkinkan deteksi cacat secara real-time

dengan tingkat akurasi yang tinggi, yang sangat penting dalam konteks sistem inspeksi otomatis. Selain itu, solusi ini memenuhi kebutuhan utama baik dalam fitur dasar maupun fitur tambahan yang diinginkan tanpa menambah kompleksitas yang berlebihan. Dengan ini, diharapkan solusi YOLO + Edge Detection dapat menjawab semua kebutuhan dan permasalahan proyek secara menyeluruh.

