

Deteksi Cacat Produk Kemasan Karton Lipat Pada Minuman Berbasis *Computer Vision*

Angga Dwi Firmanto^a Arrahmah Aprilia^b

^{a,b} Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 07 Juni 2024

Revisi Akhir: 07 Juni 2024

Diterbitkan Online: Juni 2024

KATA KUNCI

Kemasan, Deteksi, Otomatisasi, *Computer Vision*, SSIM

KORESPONDENSI

Angga Dwi Firmanto

Jurusan Teknologi Industri

Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta

Jl. Srengseng Sawah Jagakarsa Jakarta

Selatan, 12640

Email :angga.firmanto@polimedia.ac.id

ABSTRACT

Kemasan memegang peranan penting pada sebuah produk minuman, baik sebagai wadah, pelindung juga sebagai alat pemasaran produk. Sebelum kemasan produk didistribusikan, perlu terlebih dahulu dilakukan pengecekan dan kepastian apakah kemasan tersebut terdapat kecacatan atau tidak. Sistem deteksi diarahkan menuju otomatisasi sebagai upaya mengurangi kesalahan jika deteksi dilakukan secara manual oleh manusia. Penggunaan *computer vision* dalam mendeteksi cacat kemasan menggunakan algoritma SSIM dengan membandingkan citra referensi asli dengan citra uji. Dari hasil data, algoritma SSIM berhasil mendeteksi jika citra kemasan uji secara visual sama dengan citra kemasan referensi ditandai dengan nilai indeks 1. Sementara untuk citra kemasan uji dan citra kemasan referensi bernilai indeks dari 0,361 hingga 0,546.

DOI: <https://doi.org/10.46961/jommit.v8i1>

1. PENDAHULUAN

Dalam sebuah produk minuman tidak hanya menjaga kualitas rasa minuman itu sendiri namun juga harus menjaga bagaimana minuman tersebut dapat dikonsumsi dengan baik oleh konsumen. Pada jenis kemasan karton lipat (KKL) menggunakan jenis kertas sebagai media cetak, KKL digunakan dalam beberapa keperluan seperti makanan dan minuman, contoh KKL ditunjukkan pada Gambar 1. Beberapa bahan dasar pada KKL yaitu ivory dan duplex, penggunaan bahan dasar ini disesuaikan dengan kebutuhan kemasan yang akan digunakan oleh produsen [1].

Saat proses produksi, produsen menjaga agar kemasan dalam kondisi baik sesuai dimensinya sebelum didistribusikan kepada konsumen. Dalam hal ini peningkatan kualitas produksi kemasan, produsen terus menjaga dan meningkatkan kualitas kemasan yang diproduksi dengan memastikan hanya kemasan yang baik dan tidak cacat produksi yang dapat didistribusikan

kepada konsumen. Inspeksi visual secara manual dan quality control dilakukan untuk mengeliminasi kemasan cacat produksi [2].



Gambar 1. Contoh Kemasan Karton Lipat

Sistem manual ini mengandalkan mata manusia untuk menangkap visual kemasan lalu keputusan apakah suatu kemasan termasuk kategori cacat atau tidak ditentukan oleh manusia. Sistem tersebut memunculkan potensi kesalahan mendeteksi kemasan termasuk cacat atau tidak karena faktor kelelahan

manusia saat bekerja, kelelahan bekerja menurunkan kinerja dan meningkatkan kesalahan kerja [3-4]. Hal tersebut bisa menurunkan kepercayaan konsumen yang secara langsung bisa memengaruhi penjualan dari produk tersebut [5].

Dalam upaya mengurangi kesalahan dari faktor manusia, pendekatan sistem otomatis bisa menjadi pilihan pada deteksi cacat untuk kemasan minuman kertas karton lipat. Sistem otomatis deteksi cacat kemasan minuman tidak mengandalkan seluruhnya kepada manusia dalam membuat keputusan cacat atau tidak. Secara otomatis sistem bisa mendeteksi bahwa kemasan masuk kategori cacat atau tidak. Sistem otomatis ini memungkinkan untuk mengeliminasi faktor kelelahan manusia saat memilah kemasan termasuk cacat atau tidak.

Salah satu upaya dalam mendistrupsi sistem manual adalah dengan menggunakan teknologi yaitu dengan memanfaatkan pengolahan citra pada kemasan. Penelitian terkait deteksi cacat produk melalui citra telah dilakukan studi diberbagai bidang, dari [6] memanfaatkan *computer vision* dalam mendeteksi cacat di bidang infrastruktur yaitu beton dan aspal.

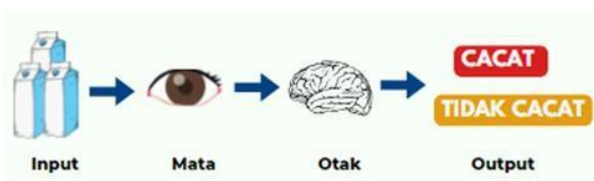
Dibidang pertanian, penelitian dari [7] mengimplementasikan *computer vision* untuk inspeksi buah tomat. Sementara dibidang elektronik, [8] melakukan deteksi cacat pada printed circuit board (PCB). Perkembangan teknologi membuat *computer vision* semakin berkembang dalam beberapa tahun terakhir, hal tersebut membuat *computer vision* memegang peranan penting dalam otomasi industri [9].

Dengan menggantikan mata manusia dalam proses inspeksi menjadi sensor yang melihat secara terus menerus tanpa jeda dan data yang ditangkap oleh sensor tersebut dapat diolah dengan pemrosesan citra setelah itu didapatkan keputusan terkait apakah kemasan tersebut termasuk kategori cacat atau tidak. Pada penelitian ini mengimplementasikan *computer vision* untuk mendeteksi citra kemasan dimana citra kemasan diakuisi kemudian data citra tersebut diartikan untuk penentuan deteksi cacat produk kemasan, pengukuran yang digunakan dalam menentukan apakah kemasan termasuk cacat atau tidak dengan menggunakan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Computer Vision

Secara teknis, *computer vision* dibagi menjadi tiga tahap yaitu akuisi citra dengan menggunakan sensor visual lalu citra tersebut akan dilakukan pemrosesan citra dengan algoritma tertentu kemudian tahap terakhir adalah analisis citra. Ketiga tahap tersebut saling berkaitan satu sama lain. Integrasi antara perangkat lunak dan perangkat keras dibutuhkan dalam *computer vision* [10].



(a)



(b)

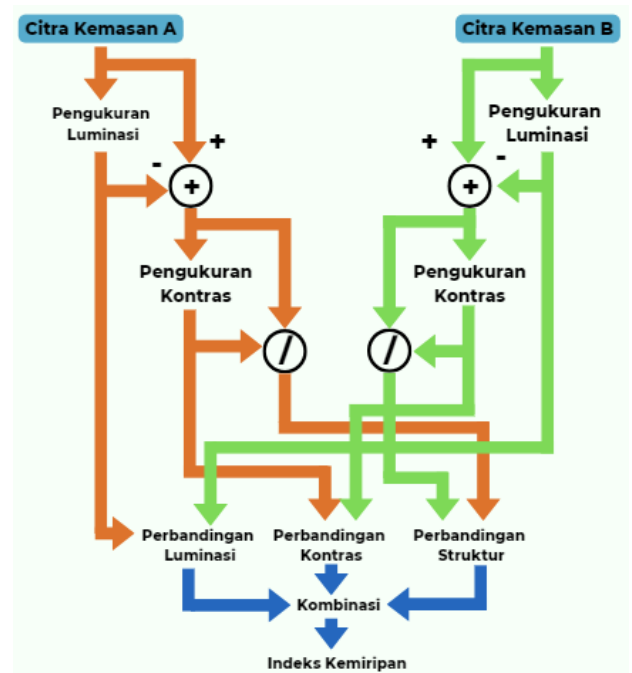
Gambar 2. (a) Alur Sistem deteksi cacat kemasan manual (b) Alur Sistem deteksi cacat kemasan berbasis *computer vision*

Pada Gambar 2 adalah ilustrasi dari sistem deteksi cacat kemasan dua metode : (a) manual oleh manusia (b) berbasis *computer vision*. Tahap pertama yaitu akuisi dari bentuk fisik kemasan menjadi citra disini dibutuhkan sebuah sensor visual untuk mengubah dari bentuk fisik menjadi citra. Sensor visual tersebut berperan seperti mata manusia yang menangkap gambar lalu mengirimkan kepada otak sebagai unit pemrosesan, sementara sensor visual menangkap sebuah bentuk fisis dan mengubah menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh unit pemrosesan sinyal [11].

Kemudian pada unit pemrosesan diolah, dimodifikasi agar sinyal gambar dapat di analisis dan diinterpretasi sehingga didapatkan hasil berupa kemasan termasuk dalam kategori cacat atau tidak.

2.2. Structural Similarity Index (SSIM)

Proses deteksi cacat pada kemasan minuman dilakukan dengan cara membandingkan antara citra uji dengan citra referensi kemasan. Perbandingan tersebut mengukur perbedaan antara citra referensi dengan citra uji, sehingga dengan pengukuran perbedaan tersebut dapat dilakukan penentuan apakah citra kemasan uji termasuk kategori cacat atau tidak. Perhitungan perbedaan kedua citra tersebut menggunakan *Structural Similarity Index* (SSIM).



Gambar 3. Skema SSIM

Algoritma ini membagi perbandingan menjadi tiga bagian: luminasi, kontras dan struktur. Skema kerja SSIM dapat

diilustrasikan pada Gambar 3 dimana, alur kerja SSIM terdiri dari perhitungan perbandingan luminasi, perbandingan kontras dan perbandingan struktur dari kedua citra. Setelah ketiga bagian kerja tersebut dihitung, kemudian di gabungkan sehingga menghasilkan nilai indeks SSIM. Nilai indeks SSIM ini mengartikan nilai kesamaan antara dua citra yang dibandingkan, nilai SSIM berada diantara 0 hingga 1, jika nilai indeksnya mendekati 1 atau 1 hal itu berarti kedua citra memiliki kesamaan, sementara jika nilai indeks mendekati 0 maka kedua citra semakin berbeda [12]. Perbandingan luminasi didefinisikan dengan persamaan (1):

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (1)$$

Dimana μ_x adalah citra kemasan referensi, μ_y adalah citra kemasan uji, σ_x adalah intensitas rata-rata citra kemasan referensi, σ_y adalah intensitas citra kemasan referensi. Sementara perbandingan kontras didefinisikan sebagai persamaan (2):

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (2)$$

Sementara perbandingan struktur didefinisikan dengan persamaan (3):

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (3)$$

Dengan C_1, C_2, C_3 adalah konstanta, Sehingga perhitungan SSIM indeks didefinisikan dengan persamaan (4) [13]:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (4)$$

Dimana μ_x, μ_y adalah rata-rata dari citra referensi dan citra uji, sementara σ_x, σ_y adalah standar deviasi dari citra referensi dan citra asli [12-14]

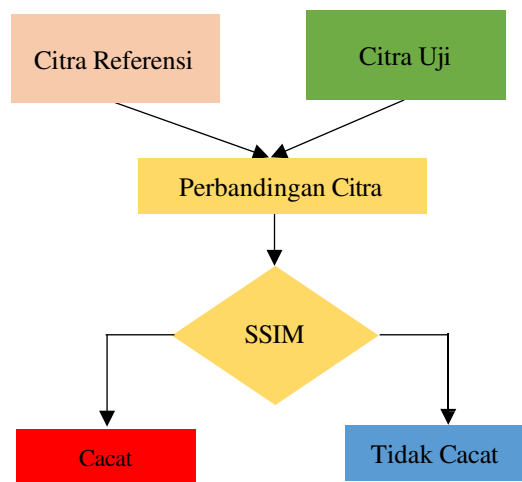
3. KONSEP PERANCANGAN

Pada penelitian ini ditujukan untuk mendeteksi kemasan produk termasuk kategori cacat atau tidak dengan menggunakan SSIM. Objek yang digunakan adalah kemasan minuman kertas karton lipat. Dalam penentuan apakah suatu kemasan minuman termasuk dalam kategori cacat atau tidak, perlu disiapkan satu citra referensi. Citra kemasan referensi adalah citra yang sempurna tidak cacat citra ini menjadi acuan perbandingan. Sementara citra kemasan uji adalah citra yang akan dilakukan pengecekan apakah kemasan tersebut termasuk kategori cacat atau tidak.

Proses pertama yang dilakukan adalah akuisisi data citra kemasan karton lipat. Setelah itu, membagi citra menjadi citra kemasan referensi dan citra kemasan uji. Pembagian ini didasarkan pada citra kemasan referensi adalah citra kemasan yang tidak rusak atau asli sementara citra uji adalah citra kemasan yang ada

Selanjutnya dilakukan *preprocessing* yaitu tahapan yang dilakukan pada citra agar bisa diolah oleh unit pemrosesan. Pengubahan citra hasil akuisisi RGB menjadi *grayscale*, proses ini digunakan untuk menyederhanakan model dari citra kemasan. Karena pada saat pemrosesan citra, tidak ada lagi warna namun yang digunakan adalah derajat keabuan [14]. Proses ini dilakukan dengan mengubah piksel RGB menjadi piksel *grayscale*, dengan cara mencari nilai rata-rata dari nilai merah, hijau dan biru.

Dalam hal keperluan pengujian, akuisisi data citra dibagi menjadi dua bagian data yaitu data citra referensi dan data citra uji, sistem deteksi cacat kemasan minuman kertas karton lipat diilustrasikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Skema Sistem Deteksi Cacat Kemasan

Selanjutnya citra kemasan uji dibandingkan dengan citra kemasan referensi, proses ini seperti inspeksi manual yang dikerjakan manusia dimana otak manusia berperan dan memutuskan antara kemasan cacat dan kemasan tidak cacat. Kemudian kedua citra dihitung nilai perbandingan luminasi, kontras dan struktur lalu digabung sehingga menghasilkan nilai indeks SSIM.

Nilai indeks SSIM tersebut yang diartikan sebagai nilai kemiripan antara dua citra, jika nilai SSIM melebihi ambang batas yang telah ditentukan maka termasuk kategori tidak cacat, namun jika nilai SSIM dibawah ambang batas maka termasuk kategori cacat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses implementasi SSIM pada deteksi cacat dilakukan dengan objek kemasan minuman kertas karton lipat, pengujian dilakukan menggunakan 15 kemasan dengan merek yang sama dijatuhkan dari ketinggian 76 cm, kemasan diambil data citra terlebih dahulu sebelum dijatuhkan, data citra ini disebut sebagai

citra referensi kemudian setelah kemasan dijatuhkan kemasan kembali diambil citra, citra ini disebut sebagai citra uji. Terdapat 30 citra kemasan terdiri dari 15 citra kemasan sebelum dijatuhkan dan 15 citra kemasan setelah dijatuhkan.

Citra kemasan sebelum dijatuhkan ditunjukkan pada Gambar 5 (a) kemudian kemasan diperlakukan uji jatuh dari ketinggian 76 cm untuk melihat adanya perubahan dimensi dari kemasan. Perubahan dimensi ini bisa ditunjukkan dengan terdapatnya penyok pada satu sisi, sehingga ketika diukur panjang dan lebarnya terdapat perbedaan dari dimensi normal. Selanjutnya kemasan yang telah dilakukan uji jatuh diambil citranya dan disebut sebagai citra uji setelah dijatuhkan seperti pada Gambar 5 (b).



Gambar 5. (a) Citra Kemasan Sebelum dijatuhkan (b) Citra Kemasan Setelah dijatuhkan

Perubahan ukuran kemasan ditampilkan pada tabel 1 yang menunjukkan ukuran kemasan 1 sebelum dijatuhkan dan ukuran kemasan setelah dijatuhkan. Pengukuran kemasan sebelum dan sesudah diukur dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.1 mm. Secara ukuran kemasan sebelum dijatuhkan dan sesudah dijatuhkan memiliki ukuran yang berbeda hal ini menunjukkan pada satu face ketika setelah diuji jatuh bertambahnya ukuran panjang atau lebar namun di face yang lain terjadi berkurangnya ukuran panjang atau lebar. Jika dilihat secara visual dari citra di Gambar 5.b, memang tidak terlihat adanya penyok atau perubahan dimensi yang signifikan, namun secara jelas diukur dengan jangka sorong dan ditampilkan pada tabel 1 untuk mengilustrasikan perbedaan antara sebelum dan sesudah.

Ketika kemasan dilalukan uji jatuh dari ketinggian 76 cm secara dimensi kemasan akan ada bagian yang tidak normal disatu sisi hal ini bisa dibuktikan pada face 2, dimana setelah dijatuhkan dimensi panjang kemasan 126,2 mm sementara setelah dijatuhkan mengalami pertambahan panjang menjadi 127 mm namun disisi lain untuk lebar sebelum di uji 64,4 mm lalu lebar setelah dijatuhkan mengalami pengurangan menjadi 63 mm. Hal ini menandakan bentuk dari kemasan tersebut setelah dijatuhkan tidak simetris kotak namun jika dilihat secara visual tidak terlalu

terlihat karena nilai perubahan antara sebelum dijatuhkan dan setelah dijatuhkan berada di bawah 2 mm.

Dalam melihat kesamaan dari dua citra yaitu dengan melihat nilai SSIM, jika nilai SSIM mendekati 1 maka kedua citra tersebut semakin menunjukkan kesamaan. Perhitungan SSIM dilakukan antara citra kemasan referensi dengan citra kemasan uji.

Kemasan	Jenis permukaan	Sebelum diuji		Setelah diuji	
		Dimensi 1 (mm)	Dimensi 2 (mm)	Dimensi 1 (mm)	Dimensi 2 (mm)
1.	Face 2	Panjang: 126,2	Lebar: 64,4	Panjang: 127	Lebar: 63
	Face 3	Panjang: 63,6	Lebar: 41	Panjang: 65	Lebar: 44
	Face 5	Panjang: 125,2	Lebar: 40	Panjang: 127,5	Lebar: 44
	Corner 2-3-5	Panjang: 147,22		Panjang: 148,43	
	Edge 1-2	Panjang: 63		Panjang: 61	

Tabel 1. Dimensi kemasan sebelum dan sesudah dijatuhkan

Dua citra yang sama jika dihitung nilai SSIM nya akan bernilai 1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan 15 citra kemasan kertas karton lipat dihitung nilai SSIM dengan citra yang sama semuanya bernilai 1.

Citra 1	Citra 2	SSIM
Citra Referensi 1	Citra Referensi 1	1
Citra Referensi 2	Citra Referensi 2	1
Citra Referensi 3	Citra Referensi 3	1
Citra Referensi 4	Citra Referensi 4	1
Citra Referensi 5	Citra Referensi 5	1
Citra Referensi 6	Citra Referensi 6	1
Citra Referensi 7	Citra Referensi 7	1
Citra Referensi 8	Citra Referensi 8	1
Citra Referensi 9	Citra Referensi 9	1
Citra Referensi 10	Citra Referensi 10	1
Citra Referensi 11	Citra Referensi 11	1
Citra Referensi 12	Citra Referensi 12	1
Citra Referensi 13	Citra Referensi 13	1
Citra Referensi 14	Citra Referensi 14	1
Citra Referensi 15	Citra Referensi 15	1

Tabel 2. SSIM Dengan Dua Citra Sama

Selanjutnya untuk menentukan apakah kemasan termasuk cacat atau tidak dari nilai SSIM, perlu diketahui sebelumnya nilai ambang batas. Nilai ambang batas ini menjadikan acuan ketika nilai SSIM dari citra referensi dan citra uji dibawah nilai ambang batas maka kemasan bisa dikategorikan kemasan cacat.

Pada Tabel 3 menunjukkan nilai SSIM antara dua citra yaitu citra referensi dan citra uji. Nilai SSIM yang ditunjukkan pada Tabel 3 bisa menjadi acuan ambang batas dalam penentuan apakah kemasan termasuk cacat atau tidak. Rentang nilai SSIM yang didapatkan antara citra uji dan citra referensi dari 0,361 hingga 0,546.

Citra 1	Citra 2	SSIM
Citra Referensi 1	Citra Uji 1	0,464
Citra Referensi 2	Citra Uji 2	0,456
Citra Referensi 3	Citra Uji 3	0,457
Citra Referensi 4	Citra Uji 4	0,478
Citra Referensi 5	Citra Uji 5	0,546
Citra Referensi 6	Citra Uji 6	0,501
Citra Referensi 7	Citra Uji 7	0,447
Citra Referensi 8	Citra Uji 8	0,431
Citra Referensi 9	Citra Uji 9	0,496
Citra Referensi 10	Citra Uji 10	0,455
Citra Referensi 11	Citra Uji 11	0,377
Citra Referensi 12	Citra Uji 12	0,397
Citra Referensi 13	Citra Uji 13	0,435
Citra Referensi 14	Citra Uji 14	0,487
Citra Referensi 15	Citra Uji 15	0,361

Tabel 3. SSIM Antara Citra Referensi dan Citra Uji

Secara umum pada penelitian ini citra referensi adalah citra kemasan sebelum dijatuhkan dimana kemasannya bentuknya normal dan tidak cacat dan citra uji adalah citra kemasan setelah dijatuhkan dimana bentuknya ada yang penyok di salah satu sisinya.

Nilai SSIM yang tertera di Tabel 3 mengilustrasikan jika kemasan memiliki cacat dari segi dimensi baik berupa penyok pada salah satu sisinya memiliki nilai indeks yang tidak bernilai 1. Dari Tabel 2 dan Tabel 3, sistem dapat mengenali jika dua citra yang dibandingkan dengan dimensi yang sama dan tidak ada perbedaan maka sistem akan mengenali dan menampilkan nilai indeks SSIM bernilai 1 sementara jika dua citra yang dibandingkan memiliki perbedaan maka sistem akan mengenali dan menampilkan nilai indeks SSIM tidak bernilai 1.

Dalam implementasi sistem deteksi berbasis *computer vision*, akuisisi data citra kemasan menjadi hal yang pertama kali diperhatikan terutama saat pengambilan citra yang ditangkap oleh sensor visual, penempatan sensor perlu diperhatikan karena akan berpengaruh pada hasil citra kemasan yang akan diolah.

Jika data citra antara kemasan satu dengan kemasan lain berada pada posisi yang sama ini akan memudahkan dan mengeliminasi pada proses *pre-processing* yaitu *cropping image* sebelum data citra masuk pada unit pemrosesan sinyal sehingga memungkinkan untuk mempersingkat waktu kerja sistem, selain itu membuat perhitungan nilai SSIM lebih sebanding karena area yang diukur antara citra kemasan referensi dan citra kemasan uji memiliki area citra yang sama.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan computer vision bisa dikembangkan dalam industri produksi kemasan, salah satu contohnya yaitu dalam deteksi cacat kemasan. Hal ini mendistrupsi pekerjaan manual yang semua dikerjakan oleh manusia, digantikan oleh sistem yang dibangun sehingga harapannya dapat dicapai efisiensi pekerjaan baik dari segi waktu dan kualitas kerja. Implementasi algoritma SSIM untuk proses deteksi cacat kemasan kertas karton

lipat bisa menjadi salah satu alternatif untuk memulai sistem deteksi menuju otomatisasi.

Pengujian sistem dibagi menjadi dua bagian, pengujian pertama pada dua citra yang sama nilai SSIM bernilai 1. Sementara pada dua citra uji yang berbeda, nilai SSIM berada pada rentang 0,361 hingga 0,546.

Nilai rentang SSIM tersebut dapat menjadi acuan nilai ambang batas bagi sistem saat penentuan apakah kemasan termasuk kategori cacat atau tidak. Dalam pengembangan lebih lanjut, hasil penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dari segi integrasi sistem antara perangkat lunak dan perangkat keras agar sistem dapat diaplikasikan di dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zulkarnain, dkk. (2023). "House of Quality sebagai Pengendalian Kualitas Produk pada Kemasan Karton Lipat. Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri, vol. XVII, no.1
- [2] Yu, W & Yanjie, L. (2019). "An Intelligent Machine Vision System for Detecting Surface Defects on Packing Boxes Based on Support Vector Machine". Measurement Control, vol.52, hh.1102-1110
- [3] Nyky, A, Siti, R K & Nur, N J. (2017). "Faktor Yang Berhubungan Dengan Terjadinya Kelelahan Kerja Pada Pekerja PT.Kalla Kakao Industri Tahun 2017", Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat, vol. 2 no.6
- [4] Bambang, H, Widodo, H & Soebijanto, S. (2017). "Sikap, Beban Kerja dan Kelelahan Kerja Pada Pekerja Pabrik Produksi Aluminium di Yogyakarta". BKM Journal of Community Medicine and Public Health, vol.33, no.4, hh.213-2018
- [5] Sri, K. (2019). "Rancang Bangun Penyeleksi Produk Cacat Minuman Kemasan", ORBITH, vol.15, hh. 99-102
- [6] Christian, K, dkk. (2015). "A review on computer vision based defect detection and condition assesment of concrete and asphalt civil infrastructure". Advanced Engineering Informatics vol.29, hh.196-210.
- [7] Arthur, Z,C, Hugo, E,F & Juliana, A,F. (2020). "Computer vision based detection of external defect on tomatoes using deep learning". Biosystems Engineering, vol.190, hh.131-144.
- [8] Jianjie, M. (2017). "Defect Detection and Recognition of Bare PCB Based on Computer Vision". Proceedings of 36th Chinese Control Conference, Juli 26-28, China
- [9] Li, X, Mao, W & Jiang, W. (2015). "Image Recognition for Steel Ball's Surface Quality Detection Based on Kernel Extreme Learning Machine". Proceedings of 34th Chinese Control Conference, Juli 28-30, China.
- [10] Agma, T, M, Duman, C K, Komang, O, S. (2020). "Rancang Bangun Aplikasi Pencarian Slot Parkir Kosong Untuk Kendaraan Roda Empat Dengan Pendekatan Computer Vision". Jurnal SPEKTRUM, vol.7, no.1.
- [11] Jörg, H. (2010). Optical Sensors: Basic and Applications. WILEY-VCH.

- [12] Illya, B, dkk. (2021). "Structural Similarity Index (SSIM) Revisited: a Data-Driven Approach. Expert System with Application, vol 189
- [13] Marian, M,A, dkk. (2021). "Detection of a Surface Defect on an Engine Block Using Computer Vision". 22nd Intenational Carpathian Control Conference(ICCC), Czech Republic
- [14] Halim, B, S, Ema, U & Anggit, D, H. (2020). "Tinjauan Literatur Sistematis Tentang Structural Similarity Index Measure Untuk Deteksi Anomali Gambar", Creative Information Technology Journal, vol.7, no.2.
- [15] Louis, M, dkk. (2023). "Perbandingan Algoritma Sobel dan Canny Untuk Deteksi Tepi Citra Daun Lidah Buaya". Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika, vol.12, no.2.