

## Perancangan Model Konveyor Pemilah Produk *Defect* Berbasis *Computer Vision* untuk *Flexible Manufacturing System*

Ari Setiawan \*, Vina Sari Yosephine, Jerikho Yudhatama

Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa, Indonesia;

email: [ari\\_setiawan@ithb.ac.id](mailto:ari_setiawan@ithb.ac.id), [vinayosephine@ithb.ac.id](mailto:vinayosephine@ithb.ac.id), [ti-18022@students.ithb.ac.id](mailto:ti-18022@students.ithb.ac.id)

\* Corresponding author

### Abstrak

*Flexible Manufacturing System (FMS)* merupakan sistem produksi moderen yang dapat diterapkan pada industri manufaktur untuk memperoleh hasil produksi yang lebih beragam secara efisien. Selain itu dengan menerapkan FMS, perusahaan dapat mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh human error. Untuk itu, FMS kerap diintegrasikan dengan sistem inspeksi. Sistem inspeksi digunakan pada stasiun kerja quality control untuk mendeteksi dan memilah produk cacat. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model konveyor pemilah produk defect berbasis computer vision untuk sebuah model FMS. Model ini akan digunakan sebagai bahan pembelajaran mata kuliah di Institut Teknologi Harapan Bangsa. Metode yang digunakan pada sistem inspeksi ini yaitu computer vision yang dikembangkan menggunakan Google Teachable Machine. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis sample produk yang dijadikan objek percobaan, yaitu balok polos, balok berbintik, dan prisma segitiga. Telah dirancang dan dibangun konstruksi sistem inspeksi dengan menggunakan konveyor dua jalur yang dapat beroperasi dengan berbagai macam kecepatan, menggunakan motor listrik. Untuk mengidentifikasi setiap produk yang melintas di konveyor, digunakan kamera webcam yang mengklasifikasikan objek berdasarkan penampakan fisiknya. Hasil dari klasifikasi tersebut kemudian akan menggerakkan palang pemilah berpengerak motor stepper yang telah diprogram menggunakan beberapa software seperti Google Teachable Machine, Arduino IDE, P5 Serial and Control. Berdasarkan konstruksi dan sistem aplikasi yang dikembangkan, akan dilakukan pengujian sebanyak 30 kali pada masing-masing objek. Hasil pengujian kemudian dihitung dan dianalisis untuk mendapatkan tingkat akurasi sistem, yang selanjutnya akan dijadikan acuan pada pengambilan keputusan apakah model sistem inspeksi ini dapat diimplementasikan pada model FMS ITHB.

**Kata Kunci:** FMS, industrial automation, computer vision.

### Abstract

The *Flexible Manufacturing System (FMS)* is a modern production system that can be applied into manufacturing industry to produce various products efficiently. In addition, by implementing the FMS, companies can reduce errors caused by human. For this reason, the FMS is often integrated with the inspection systems. The inspection system is used at quality control work stations to detect and sort out defective products. The purpose of this research is to develop a computer vision-based defect sorting conveyor model for an FMS. This model will be used as learning material in the Institut Teknologi Harapan Bangsa. The methodology in this inspection system is the computer vision which was developed by Google Teachable Machine. In this study, three types of product samples were used as experimental objects, which are plain blocks, dotted blocks, and triangular prisms. The construction of inspection system has been designed and built using a two-lane conveyor that can operate at various speeds, using an electric motor. To identify each product that pass the conveyor, a webcam camera is used which classifies objects based on their physical appearance. The results of the classification will then move the products by the sorting bar, which is driven by stepper motors that have been programmed using several softwares such as Google Teachable Machine, Arduino IDE, P5 Serial and Control. Based on the construction and application system, 30 tests will be carried out on each object. The test results are then calculated and analyzed to obtain the accuracy level of the system.

**Keywords:** FMS, industrial automation, computer vision

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Design & Manufacturing Engineering*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Setiawan, A., Yosephine, V. S., & Jerikho. (2023). Perancangan Model Konveyor Pemilah Produk Defect Berbasis *Computer Vision* untuk *Flexible Manufacturing System*, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 830-839.

## 1. Pendahuluan

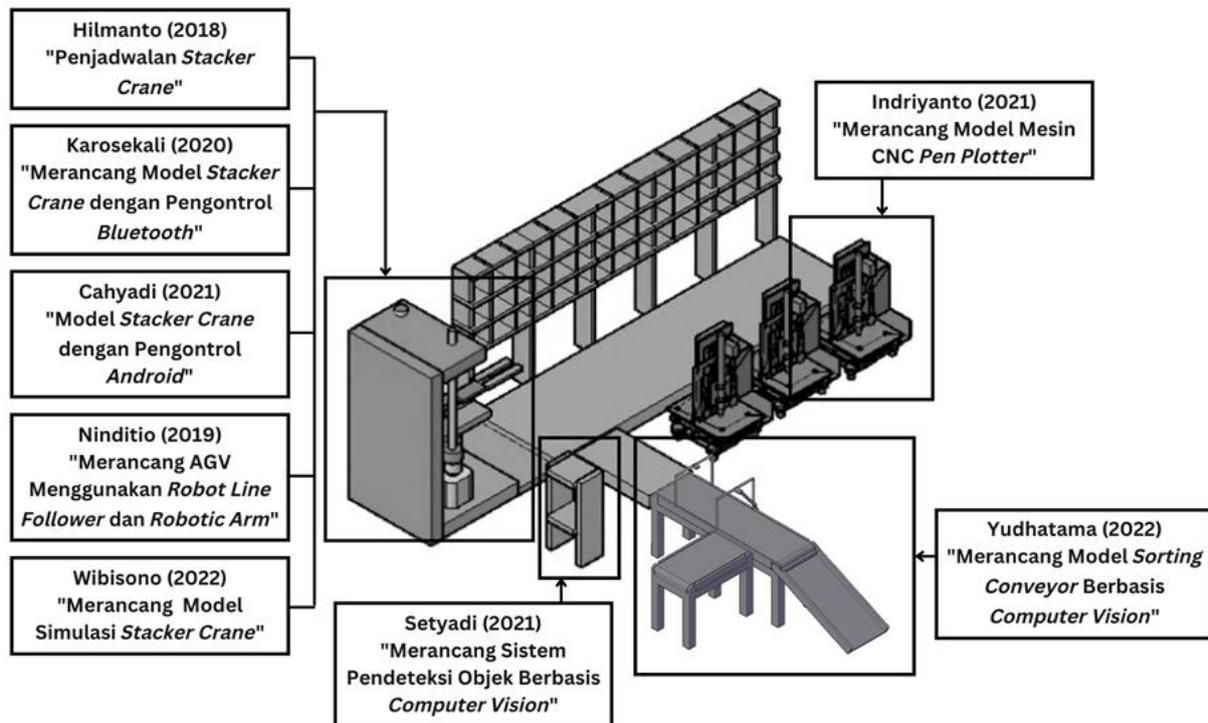
*Flexible Manufacturing System (FMS)* merupakan sebuah sistem manufaktur yang terdiri dari mesin perkakas otomatis yang terintegrasi dengan sistem penanganan material aktivitasnya dikendalikan oleh sistem kontrol komputer (Shivanand dkk., 2006). FMS memungkinkan sistem untuk bereaksi dalam setiap perubahan, baik yang direncanakan maupun yang tidak direncanakan. Penggunaan sensor sebagai bagian dari penerapan Industri 4.0 telah dikembangkan pada *smart factory*, salah satunya pada FMS, termasuk pada *inspection system* (Setiawan dkk., 2020).

Penerapan *Artificial Intelligence* juga telah digunakan pada FMS seperti disampaikan oleh Mishra (2023). Sistem pengendalian kualitas juga dapat dilakukan pada FMS, yaitu dengan menerapkan teknologi *computer vision* untuk meningkatkan konsistensi, objektivitas dan efektifitas (Nagpure 2019). Selain itu Villalba-Diez (2019) juga menjelaskan bahwa dengan metoda *Deep Learning*, *computer vision* telah dapat digunakan pada *quality control* di industri percetakan. Bahkan rekam jejak kegiatan pada lantai produksi dapat dicatat secara *invasive* tanpa mengganggu jalannya produksi telah dikembangkan oleh Deshpande dkk. (2020).

Program studi Teknik Industri Institut Teknologi Harapan Bangsa telah melakukan berbagai macam penelitian berkaitan dengan FMS. Hilmanto dkk. (2018), telah merancang model penjadwalan untuk *stacker crane* dan *pallet stocker*. Bawono dkk. (2019), telah membangun sistem transportasi otomatis berbasis AGV (*Automated Guided Vehicle*). Indriyanto dkk. (2021), telah membangun sistem *Computer Numerical Control (CNC)* pada stasiun kerja. Cahyadi dkk. (2021), telah merancang penjadwalan untuk *stacker crane* dan penentuan letak dari masing-masing komponen pada model FMS. Karosekali dkk. (2020), telah mengembangkan *stacker crane* dengan sistem pengendali yang terhubung menggunakan *Bluetooth*. Setyadi dkk. (2021), telah mengembangkan sistem pendeteksi objek berbasis *computer vision* untuk mengenali objek dengan media kamera. Gambar 1., merupakan *Grand Design Model FMS* yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya di Prodi Teknik Industri ITHB.

Model yang dirancang pada penelitian ini merupakan pengembangan dari sistem inspeksi visual yang telah dirancang oleh Setyadi dkk. (2021) untuk mendeteksi dan mengklasifikasi objek. Sistem yang dirancang oleh Setyadi dkk. (2021) tersebut mampu mengklasifikasi objek sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sistem tersebut menggunakan metode *computer vision* dengan *Convolutional Neural Network (CNN)*. Objek penelitian yang digunakan sistem inspeksi visual tersebut adalah bola dan balok. Sistem inspeksi tersebut mengklasifikasikan objek bola dan balok berdasarkan bentuk objek pada sebuah citra. Citra objek bola dan balok didapat menggunakan kamera *webcam* dengan memperhatikan beberapa parameter seperti bentuk objek, warna objek, warna *background*, pencahayaan, dan ketinggian pengambilan foto. Hasil klasifikasi dari pengujian penelitian

tersebut dihitung untuk mendapatkan tingkat akurasi sistem yang selanjutnya dijadikan acuan pada pengambilan keputusan apakah sistem inspeksi visual ini dapat diimplementasikan atau belum pada model FMS Prodi Teknik Industri ITHB.



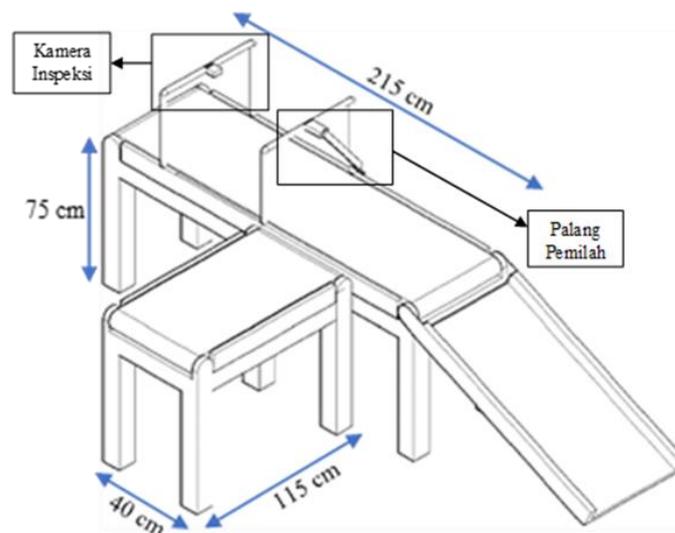
Gambar 1. Grand design pengembangan FMS di Prodi TI-ITHB

Dengan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya dan mempertimbangkan kebutuhan di masa mendatang seperti proses pemilahan produk yang dapat dilakukan secara otomatis, pada penelitian kali ini dirancang model yang tidak hanya mampu mengidentifikasi objek namun juga diaplikasikan pada dua buah konveyor dan sebuah palang pemilah. Hal ini membedakan penelitian ini dengan yang ditulis oleh Setyadi dkk. (2021) yang tidak hanya dapat mengklasifikasikan objek, namun juga dapat memilah objek yang melintas sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Metode ini juga digunakan oleh Zhang dkk. (2020) yang menerapkan *computer vision* pada sistem deteksi di konveyor yang memanfaatkan beberapa kamera dan laser untuk kegiatan *monitoring*. Sementara Korchagin dkk. (2021) mengembangkan sebuah algoritma untuk mendeteksi *defect* pada *Potato Tubers* pada *Conveyor Belts* menggunakan *Computer Vision*. Li dkk. (2019) menerapkan *intelligent monitoring system* pada konveyor batu bara menggunakan *computer vision* untuk memeriksa kondisi sistem peralatan konveyor dari berbagai macam gangguan.

Berangkat dari permasalahan pada Lab FMS Prodi TI ITHB, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut; 1) Merancang model konveyor pemilah produk defect berbasis computer vision yang mengklasifikasikan objek yang memperhatikan penampakan fisik objek; 2) Melakukan pengujian model sistem konveyor dan computer vision untuk mengukur keberhasilan sistem.

## 2. Metode

Penerapan model pada *konveyor* dilakukan sebagai penyesuaian kondisi sistem nyata pada industri manufaktur dengan memperhatikan produk dan peralatan yang ada pada Laboratorium FMS di ITHB. Sistem yang digunakan pada penelitian ini masih menggunakan metode *computer vision* dengan *Convolutional Neural Network* (CNN), namun terdapat pengembangan *software* dan *hardware* yang digunakan agar sistem dapat berjalan secara *real time* dan menggerakkan palang pemilah. *Konveyor* yang merupakan salah satu bentuk dari sistem penanganan material yang akan membawa objek menuju kamera inspeksi, seperti dijelaskan pada Gambar 2. Kamera inspeksi kemudian mengidentifikasi dan mengklasifikasi objek sesuai dengan memperhatikan parameter seperti penampakan fisik objek, pencahayaan, dan banyaknya sampel foto objek yang digunakan. Setelah objek diklasifikasi, *konveyor* kemudian akan membawanya menuju palang pemilah. Objek yang diklasifikasikan sebagai produk cacat (*defect*) akan dipilah menuju *konveyor* kedua, sedangkan objek yang diklasifikasikan sebagai produk lolos akan dibawa langsung ke stasiun kerja berikutnya. Objek yang digunakan pada penelitian ini berupa balok, balok berbintik, dan prisma segitiga. Objek-objek ini digunakan sebagai representasi produk yang terdapat pada sistem nyata. Representasi tersebut dilakukan guna menggambarkan kemungkinan keadaan produk yang terdapat di sistem nyata dan mengingat bahwa penulis tidak hanya tertuju pada satu jenis industri manufaktur.



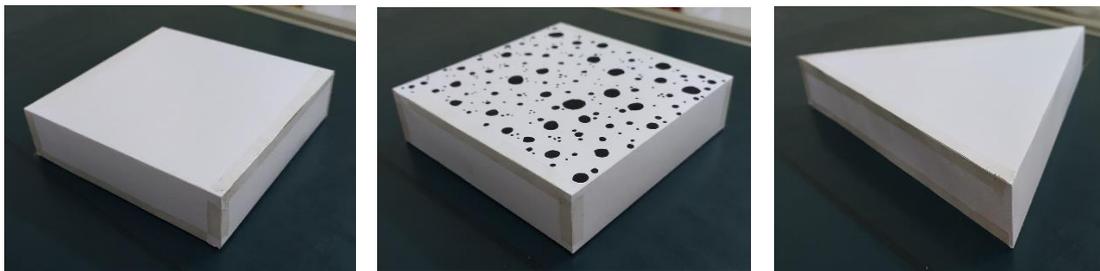
**Gambar 2.** Rancangan Konveyor Pemilah Produk

Sistem *computer vision* yang dirancang pada penelitian ini menggunakan sistem *transfer learning* yang mempercepat proses *machine learning* dan identifikasi objek. Sistem pengenalan objek menggunakan media kamera diterapkan pada *konveyor* untuk mendeteksi produk cacat atau defect. Penampakan fisik dari objek yang digunakan dipelajari oleh sistem yang kemudian digunakan untuk proses seleksi. Produk yang dinyatakan defect tersebut kemudian akan dipisahkan dari produk yang dinyatakan lolos oleh palang pemisah bertenaga motor.

Model yang akan dirancang pada penelitian ini adalah model *konveyor* yang dapat mengklasifikasikan objek berdasarkan penampakan fisiknya dan kemudian memilah objek defect. Dalam perancangannya diperlukan beberapa *software* diantaranya *Google Teachable Machine*, *P5.js*, *P5 Serial Control*, dan *Arduino IDE*. Diperlukan juga beberapa perangkat keras

seperti webcam, *microcontroller* (Arduino UNO), dan *motor stepper*. Objek yang digunakan dalam penelitian ini berupa balok, balok berbintik, dan prisma segitiga yang terbuat dari karton.

Dalam praktiknya, penampakan fisik yang ditangkap *webcam*, dapat diidentifikasi oleh *Google Teachable Machine*, yang merupakan program yang dikembangkan oleh Google menggunakan sistem transfer learning. Sistem transfer learning ini memungkinkan proses training pengenalan objek, suara, maupun foto pose tanpa perlu menuliskan program dari awal. Sampel masing-masing objek yang berupa foto sebanyak 100 hingga 500 foto dipelajari sesuai klasifikasi yang ditentukan. Proses tersebut dinamakan proses training. Bentuk identifikasi dibagi menjadi 4 jenis yaitu "Kosong", "Balok", "Balok Berbintik", dan "Prisma Segitiga". Dalam hal ini Balok Berbintik dan Prisma Segitiga dinyatakan sebagai produk cacat (*defect*). Balok dan Balok Berbintik terbuat dari kertas karton berukuran 12 x 12 x 3 cm, sedangkan Prisma Segitiga berukuran 17 cm dan tinggi 3 cm. Balok, Balok Berbintik, dan Prisma Segitiga, dijelaskan oleh gambar berikut ini

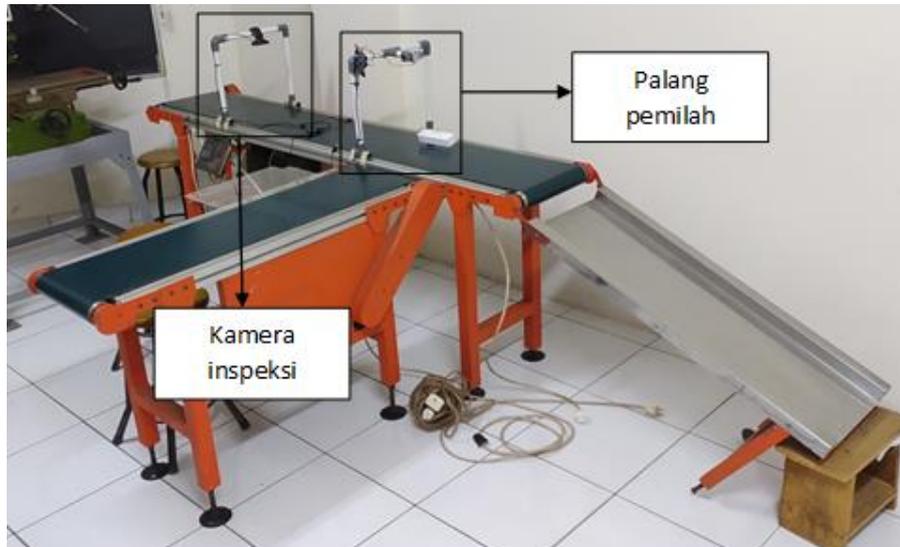


**Gambar 3.** Objek pengujian berupa balok, balok berbintik dan prisma segitiga

Setelah sistem mampu mengenali dan mengidentifikasi masing-masing objek, dirancang program aksi atas klasifikasi yang dilakukan oleh sistem. Program tersebut dirancang pada Arduino IDE sebagai *software* perintah perangkat Arduino UNO. Pada software ini ditulis perintah aksi apa yang harus dilakukan oleh palang pemilah saat sistem mendeteksi objek yang melintas. Perintah tersebut akan menggerakkan palang pemilah apabila sistem mendeteksi objek balok berbintik dan prisma segitiga yang diklasifikasikan sebagai produk defect. Setelah program perintah tersebut dirancang, sistem operasi yang mengoperasikan model dibuat menggunakan P5.js. P5.js ini merupakan software yang dikembangkan dengan sistem JavaScript. Sistem operasi ini dibuat sebagai media akses pengguna atau operator. Pada sistem operasi ini, pengguna dapat melihat preview dari kamera inspeksi yang digunakan dan label klasifikasi dari masing-masing objek yang melintas.

Beberapa perangkat keras juga digunakan ke dalam model untuk mendukung model konveyor pemilah. Perancangan perangkat keras dimulai dari penyusunan dua buah konveyor yang disusun secara tegak lurus. Konveyor yang lebih panjang difungsikan sebagai konveyor utama, sedangkan konveyor yang lebih pendek difungsikan sebagai konveyor yang membawa produk *defect* setelah dipilah oleh palang pemilah. Kedua konveyor tersebut diatur dengan kecepatan 40hz atau  $\pm 0,1$  m/s. Setelah konveyor dibangun sesuai fungsinya masing-masing, sistem inspeksi diatur menggunakan kamera webcam. Kamera tersebut berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek yang melintas di konveyor. Sebuah palang digunakan untuk memilah objek sesuai dengan hasil klasifikasi dari kamera inspeksi. Palang pemilah yang digerakkan oleh motor *stepper* dikendalikan oleh mikrokontroler

Arduino UNO. Objek yang dinyatakan sebagai produk defect akan dipilah dan digiring menuju konveyor kecil yang memisahkan produk lolos dan produk defect. Pada gambar berikut menunjukkan foto konveyor pemilah.



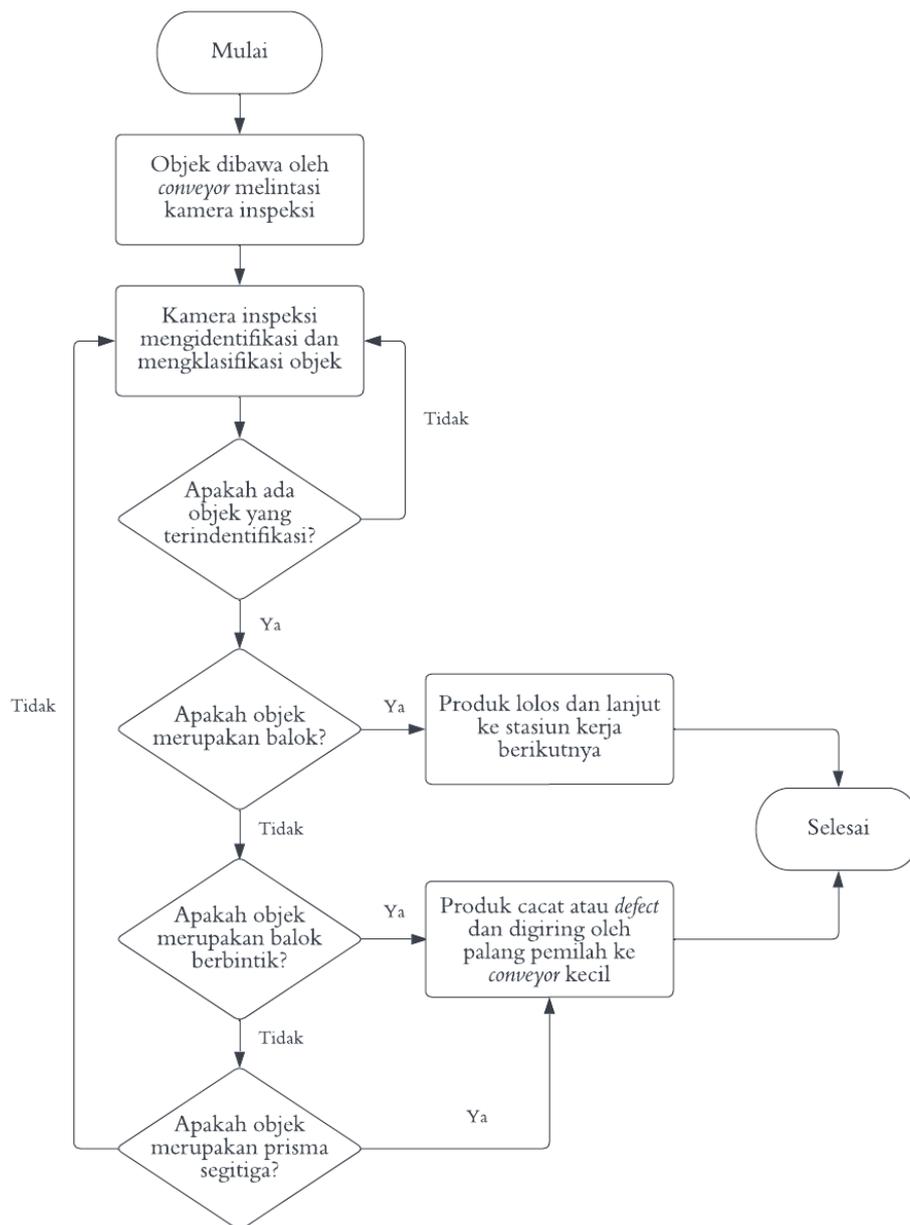
**Gambar 4.** Foto rangkaian konveyor pemilah

Kondisi pencahayaan ruangan juga diatur sedemikian rupa untuk menentukan keberhasilan sistem. Untuk kondisi pencahayaan natural, digunakan dua set lampu neon *Tabular Lamp* (TL) 40 watt pada langit-langit Laboratorium, dan cahaya alami dari jendela laboratorium. Sedangkan untuk kondisi pencahayaan konstan, jendela laboratorium ditutup dengan karton hitam sehingga cahaya matahari dan kondisi cuaca tidak mempengaruhi pencahayaan dalam ruangan. Langkah operasi konveyor pemilah ini dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 5.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui pengaruh kondisi pencahayaan ruangan terhadap keberhasilan model, dilakukan dua jenis pengujian dengan variasi kondisi pencahayaan ruangan, yaitu kondisi pencahayaan natural dari cahaya matahari, dan kondisi pencahayaan konstan menggunakan lampu ruangan laboratorium. Selain itu, pada masing-masing kondisi digunakan 100, 200, 300, 400, dan 500 pengambilan sampel foto pada proses *training* yang disimpan di dalam sebuah database. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh banyaknya sampel foto yang digunakan terhadap keberhasilan model.

Pengujian dilakukan pada ketiga objek penelitian sebanyak masing-masing 30 kali pada masing-masing kondisi. Model sorting konveyor dinyatakan berhasil apabila mencapai tingkat keberhasilan 90%. Tingkat keberhasilan 90% dengan toleransi kegagalan 10% mengacu pada tingkat kesalahan maksimal yang dapat ditolerir pada penelitian ini.



**Gambar 5.** Diagram Alir Sorting Konveyor

Pengujian dilakukan dengan variasi kondisi pencahayaan natural dan konstan juga dengan penggunaan 100, 200, 300, 400, dan 500 data *training sample* untuk mendapatkan tingkat keberhasilan sebesar 90%. Berdasarkan hasil pengujian, untuk mendapatkan tingkat keberhasilan 90% pencahayaan perlu dibuat konstan dan setidaknya digunakan 400 data *training sample* foto objek. Untuk variasi pengujian dengan pencahayaan konstan dan penggunaan 400 data *training sample* foto, didapatkan tingkat keberhasilan sebesar 93,3 %. Sedangkan untuk variasi pengujian dengan pencahayaan konstan dan penggunaan 500 data *training sample* foto, didapatkan tingkat keberhasilan sebesar 96,67%. Palang pemilah berhasil 100% dalam melakukan perintah sesuai dengan hasil identifikasi dan klasifikasi kamera inspeksi. Kegagalan yang terjadi saat pengujian merupakan kegagalan sistem dalam mengidentifikasi objek yang melintas, namun palang pemilah tetap melakukan hal sesuai

dengan perintah sistem. Berikut pada tabel 1 dan tabel 2 merupakan ringkasan hasil pengujian pada masing masing kondisi pencahayaan

**Tabel 1.** Percobaan dengan Cahaya Natural Sebanyak 30 kali

Objek	Jumlah Sample Data Training	Jumlah Benar	Jumlah Salah	Tingkat Keberhasilan (%)
Balok	100	21	9	70,00
	200	24	6	80,00
	300	23	7	76.67
	400	23	7	76.67
	500	25	5	83.33
Balok Berbintik	100	21	9	70,00
	200	22	8	73.33
	300	22	8	73.33
	400	23	7	76.67
	500	23	7	76.67
Prisma Segitiga	100	18	12	60,00
	200	18	12	60,00
	300	20	10	66.67
	400	19	11	63.33
	500	22	8	73.33

**Tabel 2.** Percobaan dengan Cahaya **Konstan** Sebanyak 30 kali

Objek	Jumlah Sample Data Training	Jumlah Benar	Jumlah Salah	Tingkat Keberhasilan (%)
Balok	100	24	6	80,00
	200	25	5	83.33
	300	26	4	86.67
	<b>400</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>93.33</b>
	<b>500</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>100,00</b>
Balok Berbintik	100	23	7	76.67
	200	26	4	86.67
	300	26	4	86.67
	<b>400</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>96.67</b>
	<b>500</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>100,00</b>
Prisma Segitiga	100	21	9	70,00
	200	22	8	73.33
	300	24	6	80,00
	<b>400</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>90,00</b>
	<b>500</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>90,00</b>

Berdasarkan hasil pengujian model sorting konveyor dapat dianalisis bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan model memilah objek adalah sebagai berikut:

- **Jumlah data *training sample* foto objek**

Banyaknya sample foto objek sangat berpengaruh pada tingkat akurasi sistem dalam mengklasifikasi objek. Semakin banyak sample foto objek yang diinput akan membantu sistem dalam mempelajari karakteristik fisik dari masing-masing objek. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperlukan setidaknya 400 sample foto objek agar sistem dapat mencapai tingkat keberhasilan 90%. Kemudian penambahan sample foto menjadi 500 sample dapat meningkatkan akurasi menjadi 96,67%.

- **Kondisi pencahayaan ruangan**

Kondisi pencahayaan ruangan yang konstan sangat diperlukan dalam proses perancangan model sorting konveyor ini. Pencahayaan ruangan mempengaruhi penampakan fisik objek yang ditangkap oleh kamera. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pencahayaan ruangan tidak konstan tidak mampu mencapai tingkat keberhasilan 90% walaupun menggunakan 500 sample foto objek.

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut; 1) Telah dirancang sebuah model konveyor pemilah produk defect berbasis computer vision untuk model FMS ITHB yang terdiri dari komponen hardware yaitu kamera webcam, Arduino UNO, motor stepper 28BYJ-48 serta driver LN2003, dan dua konveyor. Model konveyor dioperasikan menggunakan software Arduino IDE, Google Teachable Machine, P5 Serial Control, dan P5.js; 2) Model yang dirancang mampu mengklasifikasikan dan memilah objek berbentuk balok, balok berbintik, dan prisma segitiga dengan tingkat keberhasilan 90%.

Berdasarkan hasil pengujian, aspek-aspek seperti banyaknya data *training sample* foto objek dan kondisi pencahayaan ruangan harus diperhatikan dalam menjalankan model karena dapat mempengaruhi proses klasifikasi objek. Pada penelitian ini scenario terbaik merupakan penggunaan 500 data *training sample* foto pada masing-masing objek dan kondisi pencahayaan dibuat konstan dengan menutup jendela dan penggunaan 2 set lampu neon TL.

#### Daftar Pustaka

- Bawono, A.N. and Setiawan, A. (2019). Model Automated Guided Vehicle Untuk Pengangkutan barang Otomatis Menggunakan Robot Line Follower dan Robotic Arm, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Cahyadi, H.P., Yosephine, V.S., dan Setiawan, A. (2021). Perancangan Ulang Model Stacker Crane Untuk Meningkatkan Ketepatan dan Ketelitian, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Deshpande, A.M., Telikicherla, A.K., Jakkali, V., Wickelhaus D.A., Kumar, M., dan Anand. S. (2020) Computer Vision Toolkit for Non-invasive Monitoring of Factory of Factory Floor Artifacts, 48<sup>th</sup> SME North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 48), Science Direct, Procedia Manufacturing 48, doi: <https://10.1016/j.promfg.2020.05.141>
- Hilmanto, M., Setiawan, A. dan Sitepu, T.E.N., (2018). Model Penjadwalan Flexible Manufacturing System dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Indriyanto dan Setiawan, A. (2021). Pengembangan Model Mesin CNC Untuk FMS, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Karosekali, N. dan Setiawan, A. (2020). Perancangan Model Stacker Crane Menggunakan Kontrol Android Via Bluetooth Berbasis Arduino UNO Pada Model Flexible

- Manufacturing System, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Korchagin, S.A., Cataullin, S.T., Osipov A.V., Smirnov, M.K., Suvorov S.V., Serdechnyi D.V., dan Bublikov K.V., *Development of an Optimal Algorithm for Detecting Damaged and Diseased Potato Tubers Moving along a Conveyor Belt Using Computer Vision Systems*, MDPI, Journal Agronomy, 11 (10), [doi: 10.3390/agronomy11101980](https://doi.org/10.3390/agronomy11101980)
- Li, Z., Zhu, X., dan Zhou J. (2019), *Intelligent monitoring system of coal conveyor belt based on computer vision technology*, International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), IEEE, [https://10.1109/DSA.2019.00055](https://doi.org/10.1109/DSA.2019.00055).
- Nagpure, S.S., (2019), *Automated Inspection in FMS to Reduce the Inspection Time during Process*, Research and Reviews: Journal of Mechanics and Machines, Vol.1, No.1
- Mishra, A. (2023), *Artificial intelligence based flexible manufacturing system (FMS)*, Advanced Signal Processing for Industry 4.0, Volume 1, Evolution, communication protocols, and applications in manufacturing systems, IOP Science
- Setyadi, K., Yosephine, V.S., dan Setiawan, A., (2021). Perancangan Sistem Inspeksi Visual Menggunakan Metode Computer Vision Untuk Model Flexible Manufacturing System, (Tugas Akhir) Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Setiawan, A., Silitonga Y.H.R., Angela, D. dan Sitepu, H.I, (2020), *The Sensor Network for Multi-agent System Approach in Smart Factory of Industry 4.0*, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Vol. 17 No.4, <https://doi.org/10.15282/ijame.17.4.2020.03.0623>
- Shivanan, H.K., Benal, M.M. dan Koti V. (2006). *Flexible Manufacturing System*, New Age International Publishers, India
- Villalba-Diez J., Schmidt, D., Gevers, R., Ordieres-Mere, J., Buchwitz, M., dan Wellbrock, W. (2019). *Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0*, MDPI., Special Issue, Sense and Respond: Industrial Applications of Smart Sensors in Cyber-Physical Systems. <https://doi.org/10.3390/s19183987>.
- Zhang M., Shi H., Yo Y., dan Zhou M. (2020). *A Computer Vision Based Conveyor Deviation Detection System*, MDPI, Applied Science, Vo. 10, <https://doi.org/10.3390/app10072402>