

Implementation of HSV Algorithm for Speed Synchronization of Robot Arm and Conveyor

Article History:

Received
13 February 2024
Revised
15 March 2025
Accepted
26 March 2025

**NOVAL LILANSA, FITRIA SURYATINI*, DEDE MOCH.
DINAR WAHIDIN**

Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika,
Politeknik Manufaktur Bandung, Indonesia
Email: fitria@polman-bandung.ac.id

ABSTRAK

Konveyor dan lengan robot sering dikombinasikan dalam industri untuk penggunaan pick and place. Dalam penggunaan pick and place yang melibatkan konveyor berjalan dan lengan robot, akurasi dalam melakukan operasi pick and place sangat bergantung pada informasi posisi koordinat objek dan kecepatan konveyor. Penelitian ini mengusulkan penggunaan algoritma HSV (Hue, Saturation, Value) dan webcam untuk sinkronisasi kecepatan antara lengan robot dan konveyor berjalan. Algoritma HSV digunakan untuk mendeteksi objek berdasarkan warna serta memungkinkan penghitungan kecepatan konveyor dengan akurasi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan operasi pick and place dengan tingkat keberhasilan 90% pada berbagai posisi koordinat objek dan kecepatan konveyor yang berbeda. Implementasi algoritma HSV memberikan solusi yang efisien untuk meningkatkan akurasi dalam sistem operasi pick and place.

Kata kunci: Algoritma HSV, Konveyor, Lengan Robot, Pick and Place, Webcam

ABSTRACT

Conveyors and robotic arms are often combined in industries for pick-and-place applications. In pick-and-place operations involving a moving conveyor and a robotic arm, accuracy in performing the task heavily depends on the object's coordinate position and the conveyor's speed. This study proposes using the HSV (Hue, Saturation, Value) algorithm and a webcam to synchronize the speed between the robotic arm and the moving conveyor. The HSV algorithm detects objects based on color and enables high-accuracy conveyor speed calculation. The research results show that the system can perform pick-and-place operations with a 90% success rate across various object coordinate positions and different conveyor speeds. Implementing the HSV algorithm provides an efficient solution to enhance accuracy in pick-and-place operation systems.

Keywords: HSV Algorithm, Conveyor, Robot Arm, Pick and Place, Webcam



1. PENDAHULUAN

Konveyor atau sistem ban berjalan merupakan inovasi yang digunakan dalam industri untuk mengangkut barang dari satu sektor ke sektor lainnya. Penggunaan teknologi ini banyak ditemukan untuk berbagai keperluan seperti *quality control*, *product packing*, penghitungan produk, deteksi produk, perakitan, dan fungsi lainnya (**Wilyanti & Manfaluhty, 2019**). Keberadaan teknologi ini menjadi krusial dalam mewujudkan otomatisasi proses di industri (**Wilyanti & Manfaluhty, 2019**). Hal ini disebabkan karena sejumlah keuntungan, antara lain, waktu yang singkat untuk menyelesaikan tugas, hasil yang akurat karena tidak melibatkan pekerja manusia yang berpotensi melakukan kesalahan, dan penghematan biaya gaji pegawai yang bekerja di sektor industri tersebut (**Indah & Wildian, 2022**)(**Rozikin, dkk, 2021**) (**Syach, dkk, 2021**).

Penggunaan konveyor sering dikombinasikan dengan lengan robot *pick and place* yang mencakup pemindahan barang dari konveyor berjalan dan penempatan ke dalam wadah atau lokasi lain (**Morales & Terrades, 2019**). Pemindah barang yang menggunakan konveyor dan lengan robot adalah salah satu dari berbagai jenis alat pemindah barang yang diterapkan di industri (**Maha, dkk, 2021**). Dengan menggunakan konveyor berjalan, lengan robot dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi sistem manufaktur dan produksi (**Nielsen, dkk, 2023**). Bila dibandingkan dengan mesin *batching* yang hanya mendorong barang keluar dari konveyor berjalan, lengan robot juga memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam metode penanganan barang (**Nielsen, dkk, 2023**). Manfaat dari sistem yang menggunakan lengan robot tidak akan terwujud hanya dengan menyediakan dan menerapkan sistem tersebut. Sistem operasi yang mengatur gerakan dan tindakan lengan robot menjadi kunci untuk sepenuhnya memaksimalkan kapabilitas dari sistem berbasis lengan robot (**Nielsen, dkk, 2023**).

Terdapat banyak metode yang telah diusulkan dalam penelitian sebelumnya untuk memaksimalkan kapabilitas dari sistem berbasis lengan robot dan konveyor berjalan. Suatu metode pengembangan yang komprehensif dan umum untuk skenario *pick and place* oleh lengan robot dengan tujuan mencapai aplikasi yang praktis dan akurat (**Tipary & Erdős, 2021**). Pada penelitian (**Zhang, dkk, 2012**) mengusulkan metode untuk mengontrol kecepatan konveyor sesuai dengan kepadatan distribusi benda kerja di konveyor untuk memastikan bahwa robot selalu dalam kecepatan penyortiran tercepat. Namun, ini adalah proses yang memakan waktu untuk dapat memastikan kinerja yang tinggi dalam hal akurasi dan kecepatan dengan menyesuaikan parameter pengontrol, dan metode ini sulit dicapai serta tidak memenuhi persyaratan siklus produksi. Oleh karena itu, penelitian (**Cong, dkk, 2022**) mengembangkan sistem lengan robot multi dan sistem visi stereo untuk menyortir objek ke posisi yang tepat berdasarkan atribut ukuran dan bentuk sehingga dapat digunakan dalam proses industri untuk mengurangi waktu yang diperlukan dan meningkatkan kinerja jalur produksi.

Pengukuran kecepatan konveyor yang akurat adalah masalah kunci lainnya dalam sistem sinkronisasi kecepatan antara lengan robot dan konveyor berjalan. Agar lengan robot dapat melakukan operasi *pick and place* pada konveyor berjalan dengan akurat, maka lengan robot harus mengetahui kecepatan dari konveyor berjalan. Kecepatan konveyor secara langsung berpengaruh terhadap efisiensi operasional lengan robot, sehingga memerlukan penelitian lebih lanjut melalui serangkaian eksperimen (**Engelen, dkk, 2022**). Masalah potensial yang terjadi pada pengukuran kecepatan konveyor yaitu terjadi slip antara encoder dengan permukaan sabuk konveyor (**Gao dkk, 2019**). Oleh karena itu, untuk menyelesaikan masalah tersebut, pada penelitian (**Gao dkk, 2019**) mengusulkan metode pengukuran kecepatan

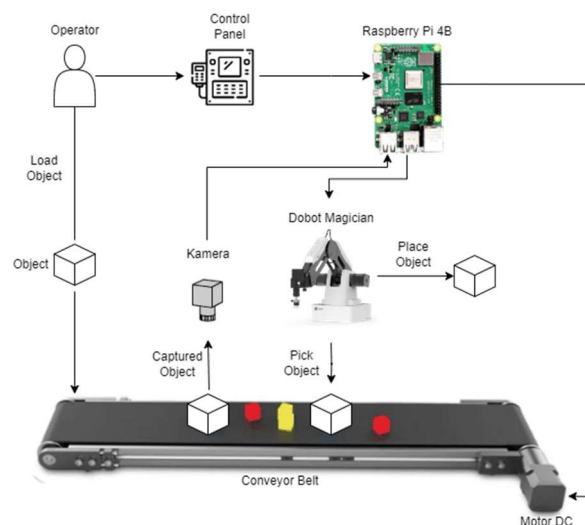
konveyor tanpa kontak. Sistem memanfaatkan algoritma GLCM dan kamera CCD untuk merekam citra dari sisi sabuk. Kecepatan konveyor dapat dihitung dengan menganalisis pola tekstur gambar tersebut. Hasil penelitian (**Gao, dkk, 2019**) menunjukkan bahwa metode pengukuran tanpa kontak ini dapat menghasilkan pengukuran kecepatan yang akurat. Sayangnya, penelitian tersebut belum mengintegrasikan sistem konveyor dengan lengan robot. Integrasi ini diperlukan untuk penggunaan *pick and place* yang mencakup pemindahan barang dari konveyor berjalan dan penempatan ke dalam wadah atau lokasi lain. Pada penelitian lain mengusulkan penggunaan algoritma HSV (*Hue, Saturation, Value*).

Berdasarkan hasil studi literatur dari beberapa penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan inovasi dalam sistem sinkronisasi kecepatan antara lengan robot dan konveyor berjalan dengan menggunakan algoritma HSV (*Hue, Saturation, Value*) dan memanfaatkan webcam. Dengan menggunakan algoritma HSV manipulator robot dapat mengenali, mengklasifikasikan, dan mengambil objek berdasarkan warna (**Quang & Ngo, 2024**). Sementara itu, webcam menawarkan sistem pengukuran yang mudah digunakan dan ekonomis (**Polatoğlu & Yeşilyaprak, 2023**). Dengan merekam citra dari objek yang berjalan di atas sabuk konveyor dengan menggunakan algoritma HSV dapat mengatasi permasalahan hasil pengukuran pada kecepatan tinggi dan memiliki kelebihan dapat mendeteksi posisi koordinat dari objek.

2. METODE

2.1 Perancangan Sistem

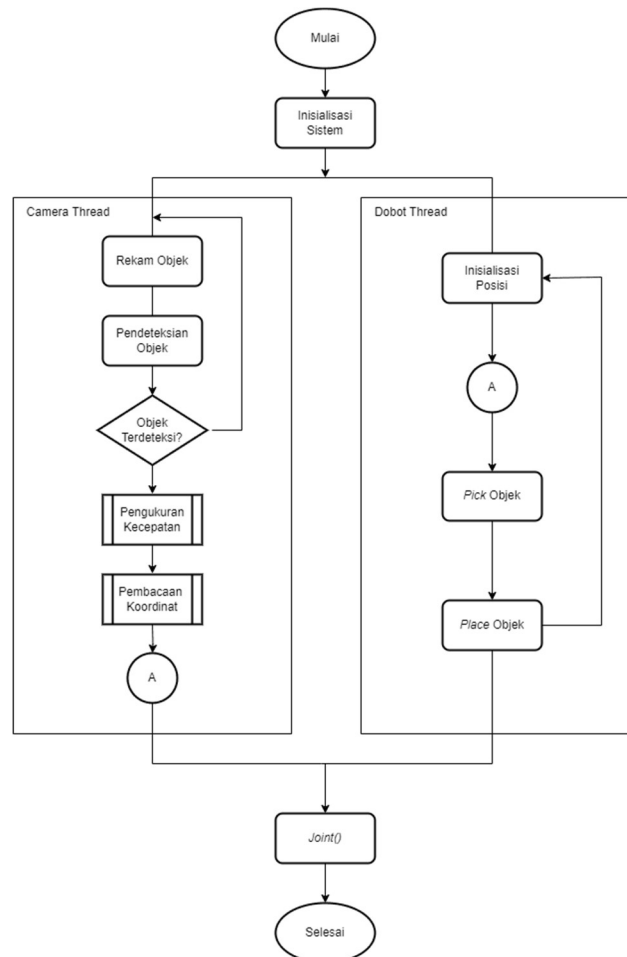
Gambar 1 menjelaskan secara umum gambaran sistem sinkronisasi kecepatan *pick and place* Dobot Magician pada prototipe konveyor berjalan. Operator akan mengoperasikan sistem dengan mengontrol parameter yang terdapat pada *control panel* dan meletakkan objek di atas sabuk konveyor. Objek akan berjalan di atas sabuk konveyor dan kamera webcam berfungsi untuk merekam citra dan menjadi *vision* alat. Kemudian citra video yang sudah direkam akan dikirimkan ke Raspberry Pi sebagai *minicomputer* dan OpenCV akan mengolah hasil citra video. Setelah pengolahan oleh OpenCV akan ada beberapa hasil yang didapatkan yaitu mendapatkan hasil pengukuran kecepatan dan posisi koordinat objek. Hasil tersebut akan dikirimkan ke lengan robot Dobot Magician untuk bergerak melakukan *pick and place* sesuai parameter yang sudah ditentukan.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

2.2 Perancangan Sistem Informatik

Pada Gambar 2, alur proses sistem informatik pada penelitian ini menggunakan *multithreading* untuk meningkatkan efisiensi dan membuat eksekusi program secara paralel. Penggunaan *multithreading* meningkatkan kinerja, memungkinkan penggunaan sumber daya yang lebih efisien, dan pada akhirnya menghasilkan perangkat lunak yang lebih baik (**Madamanchi, dkk, 2024**).



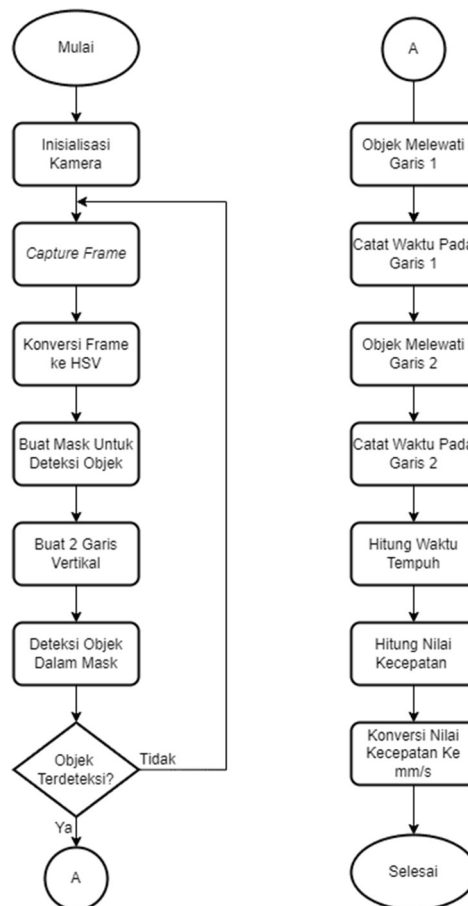
Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Setelah inialisasi, sistem membagi dua *thread* paralel untuk melakukan tugas berikut: *Thread* pertama: Kamera melakukan rekaman objek, pendeteksian, pengukuran kecepatan, dan pembacaan koordinat; dan *thread* kedua: Dobot Magician melakukan inialisasi posisi sebelum *pick* objek. Kemudian menunggu hasil data pembacaan koordinat dan kecepatan. Setelah mendapatkan data kecepatan dan koordinat, Dobot Magician akan melakukan *pick and place* sesuai parameter yang sudah diterima. Setelah kedua *thread* bergabung, digunakan fungsi "Joint()" untuk memastikan sistem dapat menjalankan tugas secara bersamaan dengan *multithreading*, yang meningkatkan responsivitas dan efisiensi.

2.3 Perancangan Sistem Pengukuran Kecepatan

Diagram alir sistem pengukuran kecepatan ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 merupakan diagram alir proses pendeteksian dan pengukuran kecepatan objek menggunakan kamera dan pengolahan citra digital. Proses dimulai dengan inialisasi kamera untuk menangkap gambar atau video. Setelah *frame* ditangkap, *frame* tersebut dikonversi dari format RGB ke format

HSV (*Hue, Saturation, Value*) untuk mempermudah pendeteksian objek berdasarkan warna. Selanjutnya, dibuat *mask* untuk mendeteksi objek berdasarkan warna tertentu dalam *frame*. Dua garis vertikal kemudian dibuat pada *frame* untuk mendeteksi kapan objek melewati garis tersebut. Langkah berikutnya adalah mendeteksi objek dalam area yang sudah di *mask* berdasarkan warna. Jika objek terdeteksi, proses dilanjutkan dengan mendeteksi kapan objek melewati garis vertikal pertama dan mencatat waktu saat objek melewati garis tersebut. Setelah itu, proses mendeteksi kapan objek melewati garis vertikal kedua dan mencatat waktu pada garis kedua dilakukan. Dengan mencatat waktu ketika objek melewati kedua garis, waktu tempuh objek dari garis pertama ke garis kedua dapat dihitung. Kecepatan objek kemudian dihitung berdasarkan jarak antara dua garis vertikal dan waktu tempuh yang diperlukan objek untuk berjalan dari garis pertama ke garis kedua. Selanjutnya, nilai kecepatan yang telah dihitung dikonversi ke dalam satuan milimeter per detik (mm/s).



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Pengukuran Kecepatan

2.4 Perancangan Sistem Pembacaan Koordinat

Diagram alir sistem pembacaan koordinat ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 merupakan diagram alir yang menjelaskan proses pendeteksian dan pengukuran koordinat objek yang menggunakan kamera dan pengolahan citra digital. Proses dimulai dengan inisialisasi kamera untuk menangkap gambar atau video, kemudian *frame* yang ditangkap dikonversi dari format RGB ke format HSV (*Hue, Saturation, Value*) untuk mempermudah pendeteksian objek berdasarkan warna. Selanjutnya, membuat *mask* untuk mendeteksi objek dalam *frame* tersebut. Setelah itu, objek yang berada dalam area *mask* dideteksi. Jika objek terdeteksi, maka dilakukan pembacaan koordinat objek pada sumbu Y dengan melakukan perhitungan jarak dari titik 0 *frame* pada sumbu Y sampai titik pusat objek. Hasil koordinat tersebut masih

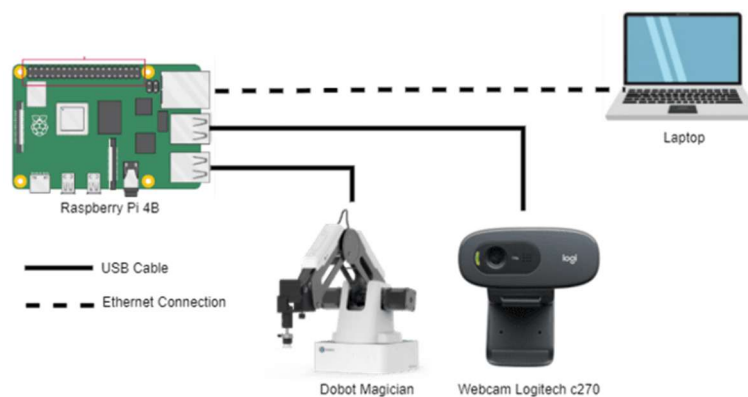
dalam satuan piksel. Kemudian dikonversi dari satuan piksel ke dalam satuan milimeter(mm) untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat dikirimkan pada lengan robot Dobot Magician untuk melakukan *pick* objek sesuai dengan posisi koordinat yang terbaca.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem Pembacaan Koordinat

2.5 Perancangan Sistem Komunikasi

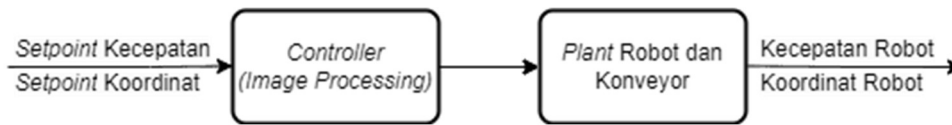
Gambar 5 merupakan rancangan diagram *wiring* komunikasi sistem yang akan dibuat. *Wiring* komunikasi pada sistem ini menggunakan kabel USB dari Dobot Magician yang terhubung ke Raspberry Pi dengan komunikasi serial. Kamera webcam logitech c270 juga terhubung ke Raspberry Pi dengan menggunakan kabel USB dengan komunikasi serial. Kemudian digunakan juga laptop sebagai *remote display* atau menjadi monitor dari Raspberry Pi 4B dengan koneksi kabel *ethernet*.



Gambar 5. Skema Komunikasi Sistem

2.6 Perancangan Sistem Kendali

Perancangan sistem kendali ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem Kendali Posisi Koordinat dan Kecepatan Robot

Diagram blok pada Gambar 6 menggambarkan alur kontrol untuk sistem kendali pada robot Dobot Magician yang digunakan untuk operasi pengambilan objek dalam penelitian ini. Sistem dimulai dengan menetapkan inisialisasi koordinat $X=290$, yang merupakan target awal atau koordinat nol dari kamera, dan inisialisasi kecepatan awal = 0. Kamera menangkap gambar objek yang berjalan di atas konveyor, kemudian melakukan pemrosesan gambar untuk mendeteksi objek, menentukan posisi koordinat, dan mengukur kecepatan objek. Hasil pengukuran koordinat objek ini kemudian ditambahkan dengan inisialisasi awal, yaitu koordinat $X=290$. Hasil pengukuran kecepatan juga ditambahkan dengan inisialisasi kecepatan yang awalnya 0. Nilai ini digunakan oleh *controller* (Raspberry Pi) untuk mengatur kecepatan dan koordinat robot. Robot Dobot Magician menyesuaikan posisi dan kecepatannya berdasarkan parameter yang didapat dari hasil *image processing* dan memastikan bahwa lengan robot dapat mengambil objek dengan tepat sesuai dengan koordinat dan kecepatan yang ditentukan. Dengan demikian, sistem kendali ini memungkinkan robot Dobot Magician melakukan operasi pengambilan objek secara otomatis dan presisi menggunakan kamera dan *image processing* untuk deteksi objek, penentuan posisi koordinat objek, dan pengukuran kecepatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 merupakan hasil implementasi pembuatan *plant* konveyor dan lengan robot. Alat ini merupakan prototipe sistem sinkronisasi antara kecepatan lengan robot dan konveyor berjalan pada dunia industri.



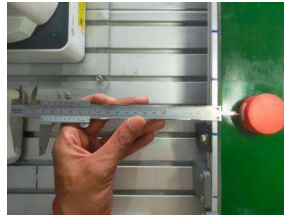
(a)

(b)

Gambar 7. *Plant* konveyor dan Lengan Robot (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping

3.1 Hasil Pengujian Posisi Koordinat Objek

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil koordinat dari *frame* kamera dengan koordinat yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan kaliper atau jangka sorong. Alat ukur yang digunakan memiliki tingkat ketelitian sebesar 0,02 mm.



Gambar 8. Pengukuran Posisi Koordinat Objek dengan Kaliper



Gambar 9. Hasil Pembacaan Koordinat Objek Pada Sumbu Y

Pembacaan posisi koordinat objek dilakukan pada sumbu Y kamera sebesar 0 mm sampai 60 mm. Pengujian dilakukan dengan mengambil beberapa sampel pada koordinat area kerja lebar konveyor.

Tabel 1. Pembacaan Posisi Koordinat Objek pada Sumbu Y

No	Hasil Pembacaan (mm)	Hasil Pengukuran Aktual (mm)	Error relative (%)
1	19,70	20.00	1.5
2	23,80	24.00	0.8
3	28,00	28.00	0.0
4	32,00	32.00	0.0
5	35,90	36.00	0.3
6	39,90	40.00	0.3
7	44,00	44.00	0.0
8	48,00	48.00	0.0
9	51,80	52.00	0.4
10	56,30	56.00	0.5
Rata-rata error relative (%)			0,38

Berdasarkan hasil pengujian pembacaan koordinat objek pada sumbu Y dengan menggunakan pengolahan citra memiliki rata-rata *error* relatif sebesar 0.38% terhadap hasil pengukuran aktual dengan menggunakan jangka sorong. Kesalahan pembacaan koordinat objek pada sumbu Y dalam pengolahan citra dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan resolusi kamera, distorsi lensa, variasi pencahayaan, serta konversi piksel ke milimeter yang kurang akurat. Kamera beresolusi rendah menghasilkan gambar kurang detail, menyebabkan pergeseran koordinat, sementara distorsi lensa dan pencahayaan tidak stabil mempengaruhi akurasi deteksi. Selain itu, *noise* dalam pengolahan citra dapat mengganggu ketepatan koordinat objek. Solusi untuk mengatasi masalah ini meliputi penggunaan kamera beresolusi tinggi, kalibrasi lensa, pencahayaan stabil dan terkontrol, serta penyesuaian skala konversi piksel ke milimeter yang lebih baik. Teknik filtering seperti median atau Gaussian filter juga dapat digunakan untuk mengurangi *noise* dan meningkatkan akurasi deteksi objek.

3.2 Hasil Pengujian Kecepatan Objek

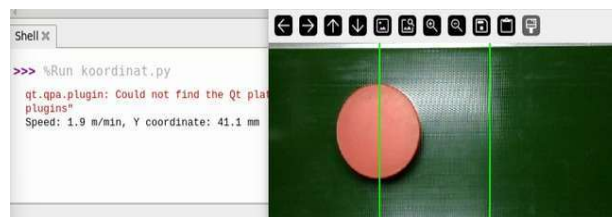
Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan kecepatan dari objek yang berjalan di atas konveyor pada *frame* kamera dengan kecepatan konveyor yang diperoleh

melalui pengukuran menggunakan *tachometer*. Alat ukur yang digunakan memiliki tingkat ketelitian sebesar 0,01 m/s.



Gambar 10. Pengukuran Kecepatan dengan Menggunakan *Tachometer*

Pengukuran kecepatan objek dilakukan dari kecepatan minimal konveyor 1,13 m/menit sampai kecepatan maksimal konveyor 4,98 m/menit. Pengujian dilakukan dengan mengambil beberapa sampel pada kecepatan konveyor dari kecepatan minimal sampai kecepatan maksimal.



Gambar 11. Hasil Pengukuran Kecepatan Objek yang Berjalan di Atas Konveyor

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kecepatan objek. Berdasarkan hasil pengujian pengukuran kecepatan objek yang berjalan di atas konveyor menggunakan pengolahan citra memiliki rata-rata *error* relatif sebesar 0.6% terhadap hasil pengukuran kecepatan konveyor secara aktual dengan menggunakan *tachometer*. *Tachometer* yang digunakan adalah *tachometer contact*, yang dapat langsung mengukur kecepatan konveyor tanpa terhalang apapun, sehingga data perbandingan ini dapat diandalkan.

Tabel 2. Pengukuran Kecepatan Objek yang Berjalan di Atas Konveyor

No	Hasil Pembacaan (m/menit)	Hasil Pengukuran Aktual (m/menit)	<i>Error relative</i> (%)
1	1,10	1,13	2,7
2	1,60	1,59	0,6
3	2,10	2,10	0,0
4	2,50	2,50	0,0
5	2,70	2,70	0,0
6	3,00	3,01	0,3
7	3,50	3,54	1,1
8	4,00	4,01	0,2
9	4,40	4,42	0,5
10	5,00	4,98	0,4
Rata-rata <i>error relative</i> (%)			0,6

Kesalahan pengukuran dapat disebabkan oleh keterbatasan *frame rate* kamera, *delay* pemrosesan citra, variasi pencahayaan, kalibrasi jarak yang kurang akurat, serta getaran pada konveyor atau kamera. Kamera dengan *frame rate* rendah sulit menangkap posisi objek

presisi, terutama saat bergerak cepat, sementara latensi pemrosesan dan pencahayaan tidak stabil mempengaruhi deteksi dan perhitungan kecepatan. Solusi yang dapat diterapkan meliputi penggunaan kamera dengan *frame rate* tinggi, optimalisasi algoritma untuk mengurangi *delay*, pencahayaan stabil, kalibrasi ulang menggunakan *perspective transformation*, serta pemasangan kamera pada kedudukan stabil juga dapat meningkatkan akurasi pengukuran kecepatan.

3.3 Hasil Pengujian Kecepatan Dobot Magician

Pengujian kecepatan lengan robot Dobot Magician dilakukan untuk mendapatkan nilai satuan instruksi kecepatan yang dimasukkan pada program. Pengujian ini dilakukan dengan menggerakkan robot sejauh 100 mm kemudian dimasukkan nilai instruksi kecepatan yang berbeda dan dihitung waktu yang ditempuh oleh Dobot Magician dengan nilai instruksi kecepatan yang berbeda.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Kecepatan dalam Satuan mm/s dengan Instruksi Kecepatan Dobot Magician

Tabel 3. Pengujian Kecepatan Dobot Magician

No	Instruksi Speed	Time (s)	Distance (mm)	Speed (mm/s)
1	1	9,84	100	10,16
2	2	6,64	100	15,06
3	3	4,96	100	20,16
4	4	3,98	100	25,13
5	5	3,24	100	30,86
6	6	2,81	100	35,59
7	7	2,48	100	40,32
8	8	2,18	100	45,87
9	9	1,98	100	50,51
10	10	1,79	100	55,87
11	11	1,65	100	60,61
12	12	1,53	100	65,36
13	13	1,42	100	70,42
14	14	1,33	100	75,19
15	15	1,24	100	80,65
16	16	1,18	100	84,75
17	17	1,11	100	90,09
18	18	1,05	100	95,24
19	19	0,98	100	102,04
20	20	0,94	100	106,38

Dari data hasil pengujian kecepatan lengan robot Dobot Magician pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai instruksi kecepatan yang dimasukkan pada program bukan dalam satuan mm/s. Maka dari itu perlu dilakukan perhitungan atau *scaling* karena nilai kecepatan yang terbaca oleh kamera dalam satuan mm/s. Untuk perhitungan menggunakan regresi linier yang dapat dilihat pada Gambar 9, setelah mendapatkan hasil pengukuran kecepatan objek dikali 0,1985 dan dikurang 1,0188 untuk menjadi nilai instruksi kecepatan Dobot Magician.

3.4 Hasil Pengujian Pengujian *Pick and Place* Objek

Pengujian *pick and place* dilakukan dengan mensimulasikan situasi di mana kecepatan konveyor mengalami variasi. Proses ini melibatkan serangkaian uji untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam menyesuaikan sinkronisasi *pick and place* secara otomatis sesuai dengan perubahan kecepatan konveyor. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan efektif dalam berbagai kondisi operasional, termasuk ketika kecepatan konveyor tidak konstan. Selain itu, *load* objek dilakukan secara acak pada sumbu Y untuk memverifikasi kemampuan lengan robot Dobot Magician dalam melakukan *pick and place* sesuai dengan koordinat yang telah terbaca oleh kamera. Hal ini bertujuan untuk menguji ketepatan dan akurasi sistem dalam menangani variasi posisi objek.

Tabel 4. Pengukuran Kecepatan Objek yang Berjalan di Atas Konveyor

No	Koordinat Sumbu Y (mm)	Kecepatan Objek (mm/s)	<i>Pick and Place</i>
1	19.70	19,72	Berhasil
2	23.80	26,67	Berhasil
3	28.00	35,10	Berhasil
4	32.00	41,70	Berhasil
5	35.90	45,12	Berhasil
6	39.90	50,20	Berhasil
7	44.00	58,33	Berhasil
8	48.00	66,67	Berhasil
9	51.80	73,16	Berhasil
10	56.30	83,33	Tidak Berhasil
11	20,10	82,12	Tidak Berhasil
12	23,70	75,60	Berhasil
13	28,40	64,80	Berhasil
14	32,20	57,32	Berhasil
15	36,10	48,75	Berhasil
16	40,20	42,20	Berhasil
17	44,80	35,65	Berhasil
18	48,10	30,10	Berhasil
19	52,30	25,22	Berhasil
20	56,00	20,15	Berhasil
Persentase Keberhasilan (%)			90 %

Berdasarkan data Tabel 4 pengujian *pick and place* yang melibatkan variasi kecepatan konveyor dan posisi objek pada koordinat sumbu Y, dapat disimpulkan bahwa sistem *pick and place* berhasil berfungsi dengan baik dalam semua kondisi pengujian. Sistem ini mampu melakukan *pick and place* dengan tingkat keberhasilan 90% dari 20 kali pengujian. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa sistem sinkronisasi antara kecepatan lengan robot dan konveyor berjalan mampu melakukan *pick and place* secara otomatis sesuai dengan perubahan kecepatan konveyor dan posisi acak objek pada sumbu Y. Dari 20 kali pengujian, terdapat 2 kali kegagalan dalam melakukan *pick and place*. Kegagalan ini terjadi pada kecepatan konveyor paling tinggi, yaitu lebih dari 80 mm/s. Hal ini kemungkinan disebabkan

oleh lengan robot yang tidak mampu mencapai posisi yang tepat sesuai dengan kecepatan tersebut. Hasil ini juga membuktikan kehandalan lengan robot Dobot Magician dalam menjalankan tugas *pick and place* sesuai dengan koordinat yang telah terbaca pada pengolahan citra. Dengan demikian, sistem ini dapat diandalkan untuk operasional dalam berbagai kondisi dan variasi yang mungkin terjadi dalam lingkungan nyata.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan sistem *pick and place* mencapai 90%, dengan tingkat kesalahan 10%. Analisis data eksperimen mengungkapkan bahwa kegagalan utama disebabkan oleh kecepatan konveyor yang terlalu tinggi (di atas 80 mm/s), yang menghambat pemrosesan koordinat objek dan perintah ke lengan robot. Selain itu, pencahayaan yang tidak konsisten mempengaruhi deteksi objek berbasis HSV, yang bergantung pada perbedaan warna. Variasi pencahayaan menyebabkan ketidakakuratan identifikasi posisi. Keterbatasan responsivitas aktuator lengan robot Dobot Magician juga berkontribusi terhadap kegagalan dalam menyesuaikan gerakan dengan kecepatan konveyor yang tinggi. Untuk mengurangi kesalahan dalam operasi *pick and place*, beberapa solusi dapat diterapkan. Optimalisasi algoritma pengolahan citra, seperti *filtering* tambahan atau *deep learning*, dapat meningkatkan akurasi deteksi objek. Penerapan pencahayaan stabil memastikan kontras warna tetap konsisten. Jika memungkinkan, penggunaan lengan robot dengan spesifikasi lebih tinggi dapat meningkatkan performa. Solusi ini diharapkan membuat sistem lebih optimal dalam berbagai kondisi operasional.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pertama, eksperimen hanya dilakukan menggunakan satu jenis konveyor dan lengan robot Dobot Magician, sehingga hasil yang diperoleh belum dapat digeneralisasi untuk sistem dengan spesifikasi berbeda. Variasi jenis konveyor, seperti yang memiliki bahan sabuk atau kecepatan yang lebih tinggi, dapat mempengaruhi akurasi sistem. Kedua, penelitian dilakukan dalam lingkungan laboratorium yang terkendali, sehingga faktor eksternal seperti debu, getaran, atau perubahan pencahayaan alami belum diuji secara menyeluruh. Dalam kondisi industri nyata, tantangan ini dapat berdampak pada kinerja sistem secara signifikan. Selain itu, kamera yang digunakan memiliki keterbatasan dalam hal resolusi dan *frame rate*, yang dapat mempengaruhi akurasi deteksi koordinat dan kecepatan objek. Penggunaan kamera dengan spesifikasi lebih tinggi mungkin dapat meningkatkan akurasi sistem. Terakhir, algoritma HSV yang digunakan dalam penelitian ini hanya mengandalkan deteksi berbasis warna, sehingga kurang efektif untuk objek dengan warna yang mirip dengan latar belakang atau kondisi pencahayaan yang tidak seragam. Untuk peningkatan di masa yang akan datang, penelitian dapat dikembangkan dengan menguji sistem pada berbagai jenis konveyor dan robot, menggunakan metode deteksi yang lebih canggih seperti *deep learning*, serta melakukan pengujian dalam kondisi lingkungan industri yang lebih realistis.

Agar sistem ini dapat diterapkan secara lebih luas, beberapa aspek perlu dipertimbangkan. Pada jenis konveyor, sistem dapat diterapkan pada konveyor dengan kecepatan rendah hingga menengah, namun untuk konveyor dengan variasi kecepatan tinggi, diperlukan adaptasi algoritma prediksi kecepatan agar tetap akurat. Dari segi jenis robot, sistem ini dapat digunakan pada robot lain selama memiliki komunikasi yang kompatibel dengan sistem kendali yang digunakan. Jika menggunakan robot industri dengan tingkat akurasi dan kecepatan lebih tinggi, sistem ini dapat beroperasi lebih optimal. Selain itu, dalam integrasi dengan sistem otomasi industri, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut pada lingkungan industri nyata yang lebih kompleks dengan variabel lingkungan yang tidak terkontrol, seperti getaran, perubahan pencahayaan, dan variasi material objek yang diproses. Dengan mempertimbangkan faktor-

faktor ini, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut agar lebih fleksibel dan dapat diadaptasi dalam berbagai kondisi operasional.

Untuk memahami keunggulan dan kelemahan metode yang digunakan, dilakukan perbandingan dengan metode lain yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya (Ushofa, dkk, 2022)(Gao, dkk, 2019)(Saputri, dkk, 2022)(Setyono, dkk, 2020).

Tabel 5. Perbandingan Metode HSV dengan Metode Lain

Metode		Keunggulan	Kelemahan
Algoritma HSV (Penelitian ini)		Mudah diterapkan, biaya rendah, real-time	Rentan terhadap perubahan pencahayaan, hanya berbasis warna
<i>Machine Learning</i> (CNN, YOLO, dll.)		Akurasi lebih tinggi, dapat mendeteksi bentuk dan pola kompleks	Membutuhkan daya komputasi besar, biaya lebih tinggi
Sensor Encoder Konveyor		Akurasi kecepatan sangat tinggi, tidak terpengaruh pencahayaan	Tidak mendeteksi koordinat objek, membutuhkan instalasi tambahan
LIDAR untuk Deteksi Objek		Mampu bekerja dalam berbagai kondisi pencahayaan	Biaya tinggi, tidak optimal untuk objek kecil

Hasil dari perbandingan ini menunjukkan bahwa metode HSV memiliki keunggulan dalam hal kemudahan implementasi dan biaya rendah, namun memiliki keterbatasan dalam sensitivitas terhadap perubahan pencahayaan. Metode lain seperti *machine learning* atau LIDAR dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan keakuratan sistem di lingkungan industri yang lebih kompleks.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pembacaan koordinat objek pada sumbu Y menggunakan *image processing* dengan algoritma HSV memiliki akurasi tinggi, dengan rata-rata *error* relatif sebesar 0,38% dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong, yang menunjukkan akurasi sebesar 99,62%. Pengukuran kecepatan objek di atas konveyor menggunakan *image processing* dengan algoritma HSV juga menunjukkan hasil yang akurat, dengan rata-rata *error* relatif sebesar 0,6% dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *tachometer*, yang menunjukkan akurasi sebesar 99,4%. Sistem sinkronisasi kecepatan antara lengan robot dan konveyor berjalan berhasil melakukan operasi *pick and place* dengan tingkat keberhasilan 90% pada berbagai posisi koordinat objek dan kecepatan konveyor yang berbeda. Meskipun sistem ini sudah mencapai hasil yang baik, tetapi masih memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut terutama dalam menangani kecepatan konveyor yang tinggi. Akurasi pengukuran dan sinkronisasi dapat dioptimalkan untuk meningkatkan keandalan serta kinerja sistem pada aplikasi industri yang lebih dinamis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Pengembangan, Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P4M) Politeknik Manufaktur Bandung yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Cong, V. D., Duy, D. A., & Phuong, L. H. (2022). Development of Multi-Robotic Arm System for Sorting System Using Computer Vision. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(5), 690–698. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i5.15661>
- Engelen, B., Marelle, D. De, Diaz-Romero, D. J., Den Eynde, S. Van, Zaplana, I., Peeters, J. R., & Kellens, K. (2022). Techno-Economic Assessment of Robotic Sorting of Aluminium Scrap. *Procedia CIRP*, 105, 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.026>
- Gao, Y., Qiao, T., Zhang, H., Yang, Y., Pang, Y., & Wei, H. (2019a). A contactless measuring speed system of belt conveyor based on machine vision and machine learning. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 139, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.03.030>
- Gao, Y., Qiao, T., Zhang, H., Yang, Y., Pang, Y., & Wei, H. (2019b). A contactless measuring speed system of belt conveyor based on machine vision and machine learning. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 139, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.03.030>
- Hasminta, D., Maha, S., Dizky Thantowi S, Y., Adi, C., & Tamba, S. (n.d.). *Perancangan Robot Lengan Pemindah Barang Berdasarkan Ukuran Berbasis Arduino Dengan Sensor Ping Hc-Sr04 Dan Sensor Inframerah*.
- Indah, I. P., & Wildian, W. (2022). Prototipe Konveyor Sistem Pemisah Barang Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Sensor Load Cell. *Jurnal Fisika Unand*, 11(2), 153–159. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.2.153-159.2022>
- Madamanchi, S., Kushal, G., Ravikumar, S., Dhanvin, P., Remya, M. S., & Nedungadi, P. (2024). Real-Time Speaker Identification and Subtitle Overlay with Multithreaded Audio Video Processing. *Procedia Computer Science*, 233, 733–742. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.262>
- Maha, D. H. S., Thantowi S, Y. D., & Tamba, C. A. S. (2021). Perancangan Robot Lengan Pemindah Barang Berdasarkan Ukuran Berbasis Arduino Dengan Sensor Ping Hc-Sr04 Dan Sensor Inframerah. *Jurnal Teknik Informatika Unika St. Thomas (JTIUST)*, 6(1), 70–78.
- Morales, P., & Terrades, A. (n.d.). *Tracking implementation on a collaborative robot*.
- Nielsen, K. G., Sung, I., El Yafrani, M., Kılıç, D. K., & Nielsen, P. (2023). A Scheduling Solution for Robotic Arm-Based Batching Systems with Multiple Conveyor Belts †. *Algorithms*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/a16030172>

- Polatoğlu, A., & Yeşilyaprak, C. (2023). Using and Testing Camera Sensors with Different Devices at Cosmic Ray Detection. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 590–597. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.1167041>
- Quang, H., & Ngo, T. (2024). Using HSV-based Approach for Detecting and Grasping an Object by the Industrial Mechatronic System. *Results in Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102298>.
- Rozikin, C., Enri, U., & Suharso, A. (2021). Workshop Pembuatan Mini Konveyor Untuk Proses Quality Control Berbasis Computer Vision. *Jurnal Pemberdayaan Komunitas MH Thamrin*, 3(2), 96–103. <https://doi.org/10.37012/jpkmht.v3i2.629>
- Saputri, P. A., Taqwa, A., & Soim, S. (2022). Analisis Deteksi Objek Citra Digital Menggunakan Algoritma Yolo dan CNN Dengan Arsitektur REPVGG pada Sistem Pendeteksian dan Pengenalan Ekspresi Wajah. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(9), 13068–13080.
- Setyono, W. W., Sutisna, S. P., & Sutoyo, E. (2020). Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Pengantar Barang Menggunakan Lidar. *Jurnal ALMIKANIK*, 2(2), 63–70.
- Syach, I., Salma Azzahra, Y., & Rayhan Seftia, S. (2021). Monitoring dan Kendali Konveyor Penyortir Barang Berdasarkan Warna RGB Berbasis Supervisory Control and Data Acquisition. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(11).
- Tipary, B., & Erdős, G. (2021). Generic development methodology for flexible robotic pick-and-place workcells based on Digital Twin. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102140>
- Ushofa, D. B., Anifah, L., Putu Asto Buditjahjanto, I. G., & Endryansyah. (2022). Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID 332 Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 332–342.
- Wilyanti, S., & Manfaluhty, M. (2019). Conveyor Control System Product Calculation Based On Programmable Logic Controller. *Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 8(2), 33–39.
- Zhang, W., Mei, J., & Ding, Y. (2012). Design and Development of a High Speed Sorting System Based on Machine Vision Guiding. *Physics Procedia*, 25, 1955–1965. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.335>