

SISTEM PALLETIZING MENGGUNAKAN ROBOT UR3

Albertus Ferdinand Wiryadinata, Thiang, Handry Khoswanto
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Jawa Timur
E-Mail: email korespondensi: thiang@petra.ac.id, handry@petra.ac.id

Abstrak – Otomatisasi proses penataan barang (palletizing) menjadi kebutuhan penting dalam sistem industri modern untuk meningkatkan efisiensi dan ketelitian. Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem palletizing berbasis robot kolaboratif Universal Robot 3 (UR3) yang terintegrasi dengan Human-Machine Interface (HMI) menggunakan Raspberry Pi. Sistem dirancang untuk mendukung komunikasi dua arah secara waktu nyata melalui protokol socket TCP/IP, sehingga memungkinkan pertukaran perintah dan umpan balik antara robot dan antarmuka pengguna. Implementasi melibatkan integrasi mekanik seperti conveyor, suction cup, sensor fotoelektrik, serta pemrograman menggunakan URScript dan Python. Pengujian dilakukan terhadap keandalan komunikasi, akurasi penempatan objek hingga tiga lapisan, serta efektivitas sistem pada berbagai kecepatan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan proses palletizing secara presisi dan responsif, dengan tingkat keberhasilan yang tinggi pada pengoperasian kecepatan rendah. Sistem ini juga dirancang sebagai modul pembelajaran praktis di lingkungan laboratorium, sekaligus menawarkan potensi pengembangan untuk aplikasi industri skala kecil hingga menengah.

Kata kunci: palletizing, UR3, human-machine interface, raspberry pi, komunikasi dua arah, otomatisasi industri.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur modern mendorong peningkatan efisiensi, ketelitian, dan otomatisasi dalam setiap lini produksi. Salah satu proses yang sangat diuntungkan dari otomasi adalah palletizing, yaitu proses penataan produk ke dalam pallet secara sistematis. Sistem ini tidak hanya mempercepat proses pengepakan dan distribusi, tetapi juga mengurangi kesalahan akibat penanganan manual serta meningkatkan keselamatan kerja.

Robot kolaboratif seperti Universal Robot 3 (UR3) menawarkan fleksibilitas tinggi dan keamanan operasional yang memungkinkan penerapannya dalam berbagai skenario industri skala kecil hingga menengah. UR3 memiliki enam derajat kebebasan, ringan, serta kompatibel dengan beragam end-effector seperti suction cup, sehingga ideal untuk aplikasi pick-and-place termasuk palletizing. Namun demikian, tantangan umum yang masih dihadapi adalah keterbatasan dalam sistem komunikasi yang seringkali bersifat satu arah dan kurangnya integrasi antarmuka pengguna secara real-time.

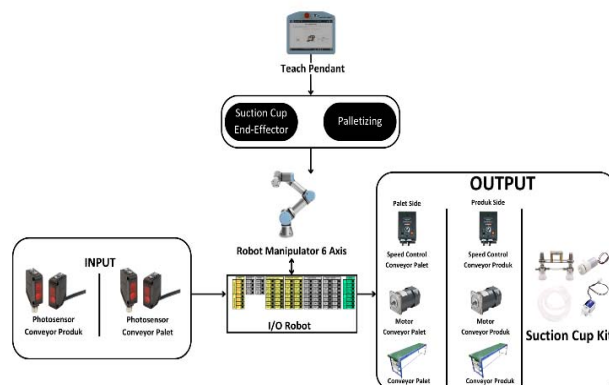
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem palletizing yang menggabungkan UR3 dengan antarmuka Human-Machine Interface (HMI) berbasis Raspberry Pi. Komunikasi dua arah antara UR3 dan HMI difasilitasi menggunakan protokol socket TCP/IP, sehingga memungkinkan sistem menerima perintah dan memberikan umpan balik status operasional secara langsung. Integrasi ini juga dirancang agar mudah diakses oleh mahasiswa sebagai modul pembelajaran praktis di laboratorium, mendukung

pemahaman terhadap konsep robotika, pemrograman URScript, dan komunikasi sistem tertanam.

Kontribusi utama dari penelitian ini mencakup desain dan implementasi sistem palletizing yang lengkap, pengujian fungsional untuk keakuratan penempatan objek, serta evaluasi performa sistem dalam berbagai kondisi operasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efektif dan stabil, serta memiliki potensi untuk diterapkan baik dalam konteks edukasi maupun industri otomasi berskala kecil.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem palletizing yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari dua jalur conveyor terpisah yang memiliki peran fungsional masing-masing. Jalur pertama digunakan untuk mengantarkan produk hasil pencetakan 3D dengan ukuran seragam, sedangkan jalur kedua berfungsi membawa pallet yang menjadi media penataan. Keduanya dilengkapi sensor fotoelektrik yang secara otomatis menghentikan pergerakan saat objek atau pallet mencapai titik ambil. Integrasi sensor ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi deteksi posisi objek pada sistem otomatisasi berbasis robotik [1]. Robot kolaboratif UR3 ditempatkan di antara kedua conveyor sebagai manipulator utama. Dilengkapi dengan suction cup sebagai end-effector, UR3 mampu memindahkan objek secara presisi tanpa menyebabkan kerusakan permukaan. Proses penataan dikendalikan melalui antarmuka HMI, yang juga berfungsi untuk mengatur konfigurasi penempatan (maksimal 3x3x3) dan menerima umpan balik sistem. Komunikasi antara Raspberry Pi dan robot UR3 dilakukan secara dua arah melalui protokol socket TCP/IP berbasis jaringan Ethernet, yang menjamin responsivitas serta kestabilan sistem selama proses berlangsung [2][3]. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

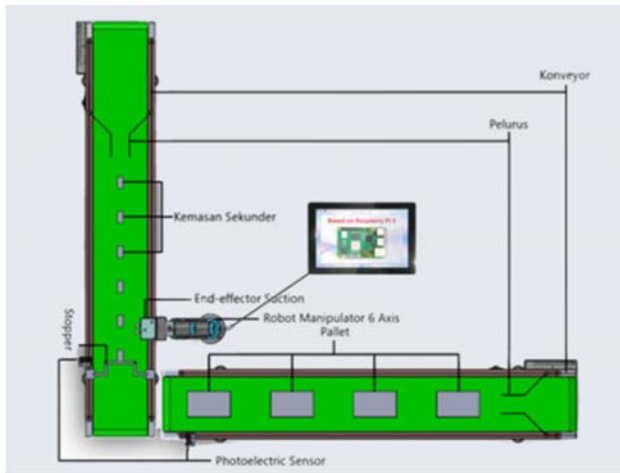


Gambar 1. Diagram Blok Sistem

A. Perancangan Hardware

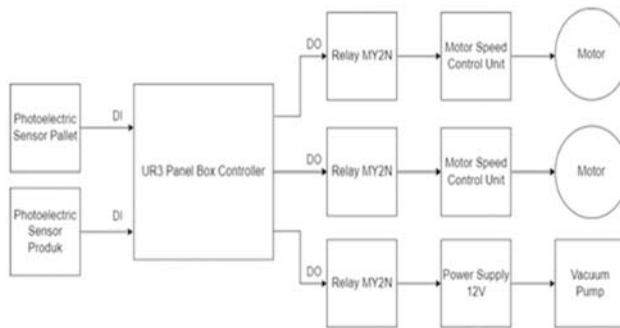
Rancangan perangkat keras melibatkan integrasi komponen elektromekanik yang terdiri dari dua conveyor, satu untuk produk dan satu untuk pallet, sensor fotoelektrik, robot UR3, serta komponen aktuator lainnya. Sensor fotoelektrik berfungsi untuk mendeteksi posisi objek dan pallet, lalu menghentikan conveyor saat objek siap diproses.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, robot UR3 ditempatkan secara strategis di tengah sistem untuk menjangkau kedua conveyor. UR3 dilengkapi suction cup dan vacuum pump sebagai alat pemindah yang efisien dan aman. Motor DC pada conveyor dikontrol melalui unit pengatur kecepatan (speed control unit) agar pergerakan belt dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.



Gambar 2. Desain Sistem Palletizing

Sistem kendali terpusat dikembangkan menggunakan Raspberry Pi yang berperan sebagai penghubung antara HMI dan UR3. Komunikasi dilakukan menggunakan protokol TCP/IP melalui jaringan Ethernet. Integrasi antarkomponen dilakukan melalui I/O UR3 dengan pengaturan sinyal digital dari sensor, solenoid valve, relay, dan pompa vakum. Skematik lengkap sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Sistem Palleting Menggunakan UR3

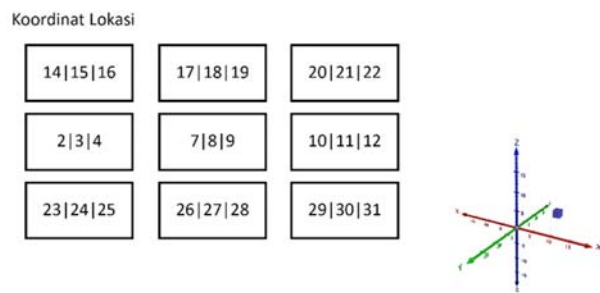
Proses instalasi melibatkan penempatan dan pengkabelan perangkat berdasarkan skema, dengan memperhatikan kemudahan akses untuk pemeliharaan serta stabilitas operasional. Pendekatan modular ini juga diterapkan dalam beberapa penelitian sejenis yang menekankan pada kemudahan debugging dan efisiensi implementasi [4].

B. Perancangan Software

Sistem perangkat lunak dikembangkan dalam dua bagian utama:

1. Program pengendali robot UR3 menggunakan bahasa *URScript*, yang bertanggung jawab mengatur siklus operasi robot dari pengambilan objek, pemindahan, hingga penataan di pallet.
2. Program *Python* yang berjalan pada *Raspberry Pi*, berperan sebagai pengelola komunikasi dua arah dan penghubung antarmuka HMI dengan UR3.

HMI digunakan untuk menentukan pola penataan dan memulai eksekusi program. *Raspberry Pi* bertindak sebagai *server socket TCP/IP* yang menerima perintah dari HMI dan meneruskannya ke UR3. Sistem juga menerima umpan balik dari robot untuk ditampilkan ke pengguna. Pendekatan ini telah banyak digunakan dalam sistem kendali terdistribusi berbasis *edge computing* [5]. Untuk penempatan pola lokasi dapat dilihat di Gambar 4.



Gambar 4. Koordinat Lokasi Palletizing

Perangkat lunak juga mengatur logika pembacaan sensor digital, pengendalian output untuk *suction cup* dan conveyor, serta prosedur pemrosesan urutan kerja (*stacking*) berdasarkan *input* pengguna. Fitur keamanan seperti tombol *emergency stop* dan *reset* diimplementasikan untuk mengantisipasi gangguan operasional. Logika pemrograman modular ini selaras dengan desain sistem *pick-and-place* otomatis yang dikembangkan pada penelitian Costa et al. [6].

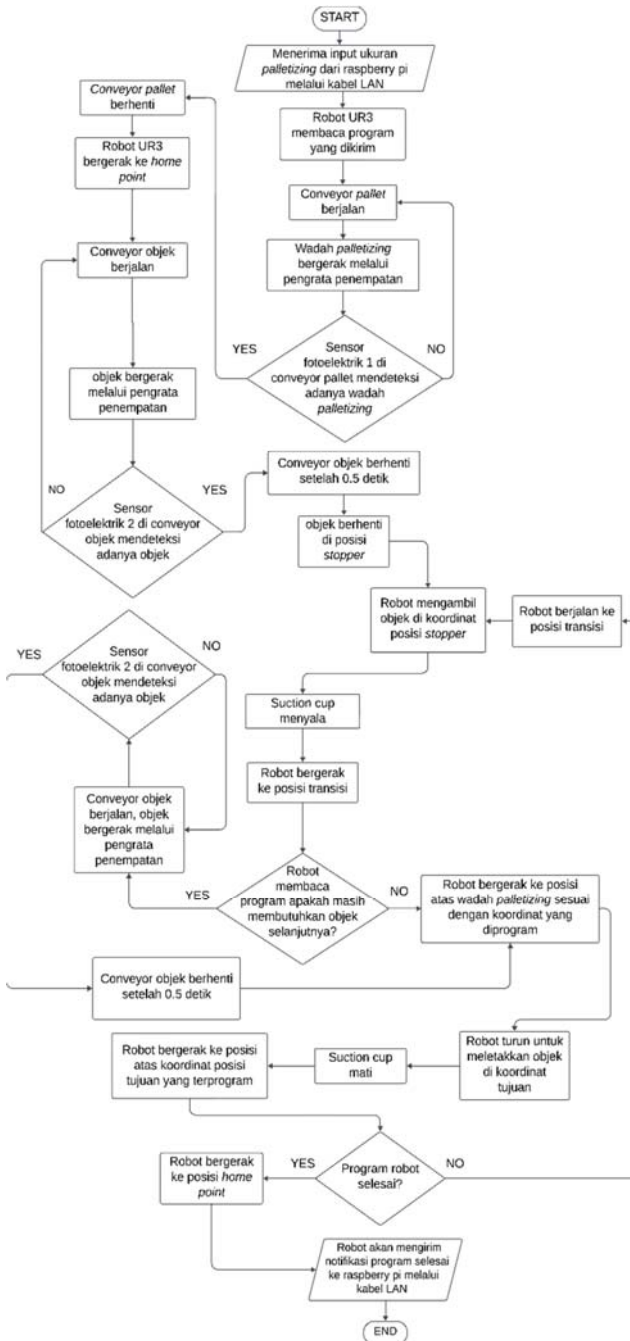
C. Flowchart Kerja Sistem

Proses kerja sistem palletizing dimulai saat Raspberry Pi menerima konfigurasi penataan melalui koneksi Ethernet. Konfigurasi ini mencakup jumlah objek serta pola penataan yang akan digunakan oleh robot UR3. Setelah input diterima, UR3 menjalankan skrip perintah, dan conveyor pallet secara otomatis mengantarkan wadah ke posisi kerja. Saat posisi pallet terdeteksi oleh sensor fotoelektrik, conveyor berhenti untuk menjamin posisi yang presisi [1].

Selanjutnya, conveyor produk diaktifkan untuk mengantarkan objek hasil 3D printing ke posisi stopper. Setelah objek terdeteksi oleh sensor kedua, conveyor berhenti secara otomatis. Robot UR3 kemudian bergerak dari posisi awal menuju posisi pengambilan, dan suction cup diaktifkan dengan membuka solenoid valve guna menciptakan tekanan vakum untuk mengambil objek.

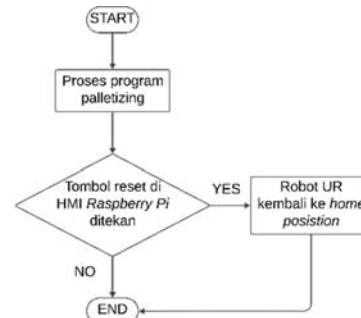
Setelah objek berhasil diambil, UR3 bergerak menuju posisi peletakan dan menempatkan objek sesuai koordinat yang telah ditentukan berdasarkan konfigurasi. Suction cup kemudian dinonaktifkan untuk melepaskan objek ke atas pallet. Proses ini diulang secara otomatis hingga semua objek berhasil ditempatkan. Setelah seluruh objek ditata, robot kembali ke posisi awal (*home point*) dan mengirimkan sinyal notifikasi

“selesai” ke Raspberry Pi [2]. Alur kerja ini ditunjukkan pada Gambar 5.



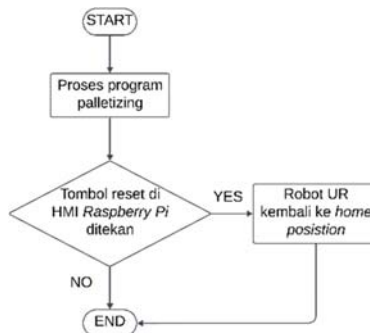
Gambar 5. Flowchart Program Palletizing

Untuk menjamin fleksibilitas dan keamanan sistem, antarmuka HMI dilengkapi tombol reset. Flowchart pada Gambar 6 menunjukkan proses ketika tombol reset ditekan oleh operator saat proses sedang berjalan. Sistem akan langsung menghentikan operasi dan UR3 akan bergerak kembali ke posisi home untuk mengamankan posisinya. Setelah mencapai posisi awal, sistem akan menunggu input konfigurasi baru. Jika tombol reset tidak ditekan, proses palletizing akan berjalan seperti biasa. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip keamanan sistem otomasi berbasis robot kolaboratif seperti disarankan oleh Zhou et al. [3].



Gambar 6. Flowchart reset button

Sebagai fitur pengaman utama, sistem juga dilengkapi tombol emergency stop pada antarmuka HMI. Tombol ini dipantau secara kontinu selama proses berlangsung. Jika tombol ditekan, robot UR3 akan segera menghentikan seluruh aktivitas secara langsung di posisi terakhir tanpa kembali ke posisi awal. Proses dianggap selesai dan operator dapat mengambil tindakan lanjutan secara manual. Penanganan darurat ini dirancang untuk mencegah potensi bahaya atau kerusakan sistem akibat kondisi tak terduga, sebagaimana telah diterapkan dalam sistem otomasi industri modern [4]. Alur sistem ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Flowchart Emergency Button

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Setelah perancangan sistem selesai, dilakukan pengujian menyeluruh terhadap seluruh komponen dalam skenario nyata. Pengujian difokuskan pada lima aspek utama:

1. Komunikasi dua arah UR3 dan HMI,
2. Efektivitas suction cup,
3. Presisi algoritma penataan,
4. Kestabilan sistem terhadap kecepatan robot, serta
5. Fungsi tombol keselamatan seperti emergency dan reset

Pengujian dilakukan dengan pendekatan black-box testing yang mengevaluasi keluaran sistem berdasarkan input HMI. Sistem berhasil menjalankan komunikasi real-time dan menunjukkan respons stabil tanpa jeda waktu berarti dalam berbagai kondisi pengujian.

B. Komunikasi UR3 dan Raspberry Pi

Komunikasi antara Raspberry Pi dan robot UR3 diuji menggunakan protokol TCP/IP dengan socket programming. Saat tombol perintah pada HMI ditekan, Raspberry Pi mengirimkan URScript ke UR3 dan menerima feedback berupa notifikasi teks ketika program selesai dijalankan. Selama tiga kali pengujian, tidak ditemukan gangguan koneksi,

dan perintah berhasil dieksekusi 100% dengan koneksi stabil. Dapat dilihat hasil pengujian dari Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Parameter Pengujian HMI

<i>Parameter</i>	Hasil Pengujian
Stabilitas Koneksi	Stabil (tidak terputus)
Keberhasilan Pengiriman Data	100% (3/3 pengiriman)

Komunikasi antara robot UR3 dan Raspberry Pi melalui jaringan TCP/IP terbukti berjalan lancar dan andal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perintah yang dikirim melalui antarmuka HMI berhasil diterima dan dijalankan oleh robot tanpa hambatan, sehingga mengonfirmasi bahwa sistem komunikasi dua arah yang dirancang mampu mendukung operasi robotik secara real-time dengan kestabilan koneksi yang baik.

C. Presisi Penempatan Pallet

Penempatan pallet yang dilakukan secara manual diuji dari sisi akurasi terhadap posisi target yang telah ditentukan (misalnya 4,5 cm dari sisi kiri). Hasil menunjukkan rata-rata deviasi posisi maksimal 0,2 cm, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Meski demikian, deviasi kecil ini bisa berdampak pada ketepatan penempatan objek di layer atas pallet, sehingga penggunaan alat bantu mekanis seperti stopper disarankan. Hasil peletakan dapa dilihat dari Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Peletakan Pallet

Pallet	Tingkat Kesamaan
1	100% (4,5cm x 13,5cm x 7cm)
2	90% (4,4cm x 13,6cm x 7,1cm)
3	95% (4,5cm x 13,5cm x 6,8cm)

Hasil pengujian terhadap tiga unit pallet menunjukkan bahwa proses penempatan secara manual telah mencapai tingkat presisi yang cukup baik, dengan rata-rata deviasi posisi tidak melebihi toleransi maksimum sebesar 0,2 cm. Meskipun tergolong akurat, penyimpangan kecil tersebut masih berpotensi memengaruhi ketepatan penataan objek pada lapisan atas. Oleh karena itu, disarankan adanya peningkatan sistem penempatan pallet melalui penerapan komponen mekanis tambahan seperti stopper atau pemandu tetap guna menjamin kestabilan posisi secara konsisten.

D. Efektivitas Suction Cup

Suction cup diuji pada objek dengan empat jenis permukaan: berstiker, datar, kasar, dan berongga. Hasil menunjukkan bahwa objek dengan permukaan berstiker mencapai tingkat keberhasilan 100%, diikuti permukaan datar 90%, permukaan kasar 80%, dan permukaan berongga hanya 30-40%. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas suction sangat bergantung pada karakteristik objek. Untuk penggunaan industri yang lebih luas, perlu dipertimbangkan penggunaan gripper alternatif untuk objek tidak standar.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Pengambilan Objek

Objek	Keberhasilan Ambil	Keberhasilan Letak
Kotak Objek 1 (permukaan berstiker)	100% (10/10)	100% (10/10)
Kotak Objek 2 (permukaan rata)	90% (9/10)	90% (9/10)
Kotak Objek 3 (permukaan kasar)	80% (8/10)	80% (8/10)
Kotak Objek 4 (permukaan berongga)	40% (4/10)	30% (3/10)

Kinerja suction cup dalam proses pengambilan objek terbukti sangat dipengaruhi oleh sifat permukaan objek yang diangkat. Objek dengan permukaan halus dan tertutup, seperti yang dilapisi stiker, menunjukkan tingkat keberhasilan pengangkatan mencapai 100%. Sebaliknya, permukaan yang kasar atau memiliki rongga menyebabkan penurunan signifikan dalam efektivitas, dengan tingkat keberhasilan hanya berkisar antara 30% hingga 40%. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan sistem vakum perlu dievaluasi ulang apabila sistem dirancang untuk menangani objek dengan bentuk atau tekstur permukaan yang tidak seragam.

E. Uji Algoritma Penataan (Palletizing)

Pengujian dilakukan pada konfigurasi penataan mulai dari 1x1x1 hingga 3x3x3. Pada layer pertama, akurasi mencapai 98% dengan deviasi posisi ±2 mm. Layer ini cukup stabil karena permukaan pallet masih datar. Pada layer kedua, akurasi menurun menjadi 90% akibat efek kumulatif dari posisi sebelumnya, terutama karena kemiringan kecil antar objek. Sedangkan pada layer ketiga, deviasi meningkat hingga ±4 mm dan akurasi turun menjadi 85%. Penurunan ini disebabkan oleh ketidakraturan pada susunan bawah dan pelepasan objek yang kurang presisi.

Meskipun terjadi penurunan akurasi pada lapisan atas, sistem tetap mampu menyusun objek tanpa tumpang tindih atau jatuh, menunjukkan algoritma bekerja dengan baik untuk kebutuhan laboratorium atau skala uji coba. Hasil pengujian akan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil *palletizing* di layer 1, 2 dan 3

Layer	Keakuratan Posisi
1	98% tepat (<u>orientasi sesuai dengan lokasi yang diharapkan tetapi ada sedikit jarak disalah satu posisi</u>)
2	90% tepat (<u>orientasi meleset dengan lokasi yang diharapkan dan jarak antar objek juga ada yang renggang</u>)
3	85% tepat (<u>orientasi meleset dengan lokasi yang diharapkan dan jarak antar objek juga ada yang renggang cukup jauh</u>)

Algoritma palletizing mampu menyusun objek sesuai urutan yang ditentukan, namun menunjukkan penurunan akurasi seiring bertambahnya ketinggian layer. Pengujian

menunjukkan bahwa tingkat akurasi mencapai 98% pada layer pertama, kemudian menurun menjadi 90% dan 85% pada layer kedua dan ketiga. Penurunan ini diduga akibat akumulasi deviasi posisi serta ketidakrataan kecil pada permukaan pallet yang memengaruhi kestabilan penyusunan di lapisan atas.

F. Pengaruh Kecepatan Robot Terhadap Akurasi

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan kerja robot UR3 terhadap tingkat akurasi penempatan objek. Tiga skenario kecepatan dipilih, yaitu 50%, 65%, dan 85% dari kecepatan maksimum yang diizinkan oleh UR3. Setiap skenario diuji menggunakan proses penataan objek berulang dengan jumlah dan posisi yang sama agar hasil dapat dibandingkan secara objektif.

Pada kecepatan 50%, sistem menunjukkan performa terbaik dengan tingkat akurasi mencapai 98%. Objek dapat ditempatkan dengan presisi tinggi, dan deviasi posisi sangat minim (kurang dari ± 2 mm). Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, UR3 memiliki cukup waktu untuk melakukan koreksi posisi dan menjalankan perintah dengan sangat stabil.

Ketika kecepatan ditingkatkan ke 65%, terjadi penurunan akurasi menjadi 88%. Meskipun perbedaan waktu eksekusi lebih efisien, koordinat akhir penempatan objek mulai menunjukkan deviasi yang lebih besar, terutama saat melepas objek dengan suction cup. Hal ini menandakan bahwa peningkatan kecepatan menyebabkan berkurangnya waktu koreksi gerak, sehingga sistem menjadi lebih sensitif terhadap kesalahan mekanik kecil.

Pada kecepatan tertinggi, yaitu 85%, akurasi menurun signifikan hingga 70%. Beberapa objek mengalami pergeseran posisi yang cukup mencolok dan hampir berada di luar batas toleransi sistem. Selain itu, gerakan robot tampak kurang halus, dan waktu antara pengambilan serta peletakan objek menjadi terlalu singkat untuk menjaga stabilitas proses.

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi negatif antara kecepatan robot dan akurasi penempatan objek. Semakin tinggi kecepatan, semakin besar potensi kesalahan dalam posisi akhir. Oleh karena itu, disarankan agar kecepatan operasional robot dibatasi maksimal pada 65% untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi waktu dan ketepatan peletakan. Rangkuman hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil palletizing di layer 1, 2 dan 3

No.	Kecepatan Robot	Keakuratan Posisi
1	50%	98% tepat (jarak rata-rata antar objek sejauh $\pm 1-2$ mm)
2	65%	85% tepat (jarak rata-rata antar objek sejauh $\pm 2-3$ mm, tetapi posisi koordinat ada yang bergeser)
3	85%	70% tepat (jarak rata-rata antar objek sejauh $\pm 5-10$ mm, posisi koordinat dari objek juga banyak yang bergeser)

Kecepatan operasional robot terbukti berpengaruh terhadap tingkat akurasi penempatan objek. Saat dijalankan pada kecepatan 50%, akurasi mencapai 98%, namun menurun menjadi 88% dan 70% saat kecepatan ditingkatkan ke 65% dan 85%. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengaturan kecepatan yang seimbang untuk menjaga presisi. Untuk aplikasi yang memprioritaskan akurasi, disarankan agar kecepatan robot tidak melebihi 65%.

G. Pengujian Tombol Reset dan Emergency

Fitur keselamatan seperti tombol reset dan emergency stop berfungsi dengan baik.

1. Ketika emergency stop ditekan, robot langsung berhenti di tempat untuk mencegah potensi bahaya.
2. Ketika reset ditekan, robot kembali ke posisi home dan siap menjalankan ulang program palletizing.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi aspek keamanan operasional sesuai standar industri.

Fitur tombol emergency dan reset bekerja secara optimal dan memenuhi standar keselamatan operasional. Saat tombol emergency ditekan, robot segera menghentikan gerakannya tanpa menyelesaikan siklus kerja. Setelah tombol reset diaktifkan, sistem kembali ke posisi awal dan siap digunakan kembali. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah dirancang dengan mempertimbangkan perlindungan peralatan serta keselamatan operator.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem palletizing otomatis berbasis robot UR3 dan Raspberry Pi berhasil diimplementasikan secara fungsional dan efektif. Sistem ini mampu menjalankan proses penataan objek hasil cetakan 3D ke atas pallet dengan konfigurasi maksimal $3 \times 3 \times 3$ secara otomatis dan berurutan, sesuai perintah dari HMI.

Komunikasi dua arah antara Raspberry Pi dan UR3 menggunakan protokol TCP/IP berjalan stabil dan responsif, memungkinkan perintah dari HMI dikirim dan dijalankan secara real-time tanpa kendala koneksi. Pengujian juga menunjukkan bahwa algoritma penataan mampu mengatur urutan penempatan objek dengan baik, meskipun terjadi sedikit penurunan akurasi pada layer yang lebih tinggi akibat akumulasi deviasi posisi.

Efektivitas suction cup dalam mengambil objek terbukti sangat tergantung pada jenis permukaan benda. Permukaan halus seperti stiker memberikan hasil terbaik, sementara permukaan kasar atau berongga menunjukkan keberhasilan yang rendah. Selain itu, kecepatan pergerakan robot turut memengaruhi akurasi; kecepatan optimal ditemukan pada 50–65%, di mana akurasi masih tetap terjaga tanpa mengorbankan efisiensi waktu secara signifikan.

Dari sisi keamanan, fitur tombol emergency stop dan reset bekerja secara andal. Sistem langsung menghentikan operasi saat tombol emergency ditekan, dan dapat kembali ke posisi awal ketika reset diaktifkan, menunjukkan perhatian terhadap aspek keselamatan kerja dan perlindungan perangkat.

Secara keseluruhan, sistem ini telah memenuhi fungsinya sebagai alat bantu otomatisasi penataan barang dan dapat dijadikan sebagai modul pembelajaran robotika untuk lingkungan laboratorium. Dengan penyempurnaan pada sistem penempatan pallet dan pemilihan end-effector yang sesuai untuk berbagai jenis objek, sistem ini juga berpotensi untuk diterapkan dalam lingkungan industri skala kecil hingga menengah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Hajah and M. Nur, "Rancang Bangun Prototype Robot Arm Palletizing Menggunakan Sekuensial Kontrol," *Techno Bahari*, vol. 10, no. 1, pp. 45–52, 2023. <https://jurnal.poltera.ac.id/index.php/technobahari/article/view/213>

- [2] K. Gu, Q. Cao, and P. Wang, "Dynamic Modelling and Motion Controller Design for Industrial Palletizing Robot and Collision Detection," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 790, no. 1, p. 012157, 2020. doi:10.1088/1757-899X/790/1/012157
- [3] A. Wolniakowski, K. Miatliuk, J. J. Quintana, M. A. Ferrer, and M. Diaz, "Towards Human-Like Kinematics in Industrial Robotic Arms: A Case Study on a UR3 Robot," arXiv preprint arXiv:2409.17114, 2024. <https://arxiv.org/abs/2409.17114>
- [4] Y. Zhou et al., "Intelligent Robotic Palletizer System," *ResearchGate Publications*, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/357192543>
- [5] Zhang, L., & Sun, Y. "Edge-Based Real-Time Control System Using Raspberry Pi for Industrial Applications." *Journal of Industrial Automation*, 12(1), 22–29., 2024
- [6] J. Costa, G. Almeida, and A. Cordeiro, "Automated Pick and Place Solution Based on Raspberry Pi," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 67, no. 10, pp. 48–53, 2019. doi:10.14445/22315381/IJETT-V67I10P209 <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V67I10P209>