

# SISTEM PENGENDALIAN POSISI ROBOT LENGAN 4 AXIS DENGAN ANTARMUKA MANUSIA DAN MESIN

George Glenn Kamolie, Handry Khoswanto, Thiang  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra  
Jl. Siwalankerto, 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

*E-Mail:* glennkamolie4@gmail.com, handry@petra.ac.id, email korespondensi: thiang@petra.ac.id

**Abstrak** – Revolusi Industri 4.0 adalah program pemerintah Indonesia yang bertujuan untuk mendorong perkembangan industri dalam negeri agar dapat bersaing secara global. Salah satu aspek penting dalam era ini adalah peningkatan kemampuan sumber daya manusia (SDM). Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan untuk merancang sistem pengendalian posisi robot lengan 4 axis dengan antarmuka manusia dan mesin (HMI) yang dapat meningkatkan efisiensi SDM dan akurasi dalam berbagai aplikasi industri. Penelitian ini melibatkan pengembangan perangkat keras dan lunak. Perangkat keras mencakup desain casing HMI menggunakan printer 3 dimensi, sementara perangkat lunak melibatkan pengembangan tampilan HMI dan pemrograman Arduino Mega 2560 untuk mengelola komunikasi antara HMI dan robot lengan. Komunikasi antara HMI ke Arduino dan Arduino ke robot lengan menggunakan komunikasi serial UART. Selain itu, proyek ini membahas integrasi sistem HMI ke dalam kontrol robot dan pengujian untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik. Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa tahap, seperti pengujian integrasi HMI, pengujian manipulator, dan pengujian proses perpindahan dan penempatan objek. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan posisi robot dengan akurasi yang baik. Pada pengujian objek berwarna merah, nilai modulus pergeseran objek adalah 10 mm, dengan rata-rata pergeseran sekitar 10,62 mm. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki kinerja yang baik dalam mengendalikan posisi robot lengan 4 axis dengan HMI.

**Kata Kunci** – Arduino, Dobot Magician, Nextion, Human Machine Interface

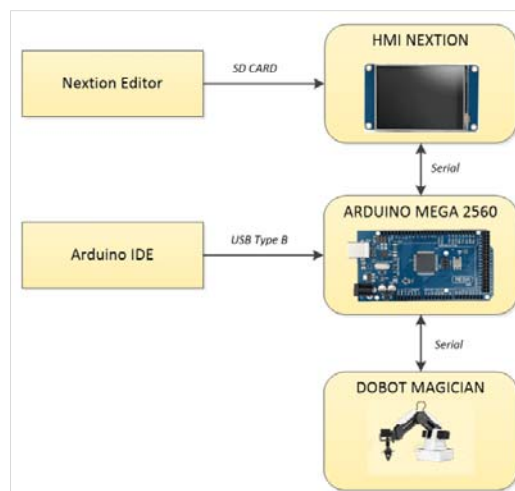
## I. PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0, atau Fourth Industrial Revolution (4IR), telah membawa perubahan signifikan dalam dunia industri global dengan memanfaatkan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Di Indonesia, pemerintah telah menginisiasi program Indonesia Industri Readiness Index (INDI 4.0) sebagai langkah strategis untuk mempercepat transformasi industri domestik agar mampu bersaing secara global [1]. Salah satu pilar utama dalam INDI 4.0 adalah aspek orang dan budaya, yang memberikan bobot sebesar 30,0% dalam penilaian. Hal ini menunjukkan pentingnya peningkatan kemampuan sumber daya manusia (SDM) sebagai faktor kunci dalam kesuksesan implementasi Industri 4.0 di Indonesia. Peningkatan kemampuan SDM dapat dicapai melalui berbagai metode, termasuk pengembangan dan pelatihan dalam penggunaan teknologi canggih seperti robotika industri. Robot lengan manipulator, sebagai salah satu implementasi teknologi terkini dalam Industri 4.0, telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia dalam

tugas-tugas repetitif dan berat [2]. Namun, tantangan utama yang masih dihadapi adalah kompleksitas dalam mengontrol dan mengendalikan robot tersebut dengan cara yang intuitif dan efisien. Untuk mengatasi kendala ini, pengembangan sistem Pengendalian Posisi Robot Lengan 4 Axis dengan Antarmuka Manusia dan Mesin (HMI) menjadi fokus utama penelitian ini. HMI memungkinkan interaksi yang lebih mudah antara manusia dan mesin melalui perangkat lunak antarmuka grafis (Graphical User Interface - GUI), yang memungkinkan pengguna untuk memonitor dan mengontrol robot dengan lebih efektif [3]. Beberapa penelitian terdahulu telah mengusulkan solusi serupa dengan penggunaan HMI untuk mengendalikan robot lengan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Sukabumi [4] dan Anggi [5]. Namun, penelitian ini akan mengembangkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan fokus pada integrasi HMI dalam sistem pengendalian posisi robot lengan 4 Axis, dengan tujuan untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman pembelajaran dalam konteks Industri 4.0. Melalui pendekatan ini, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam mendukung transformasi industri Indonesia menuju era Industri 4.0 dengan memperkuat infrastruktur SDM yang mampu menghadapi tantangan global.

## II. PERANCANGAN SISTEM

### A. Gambaran Umum Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Sistem yang dibuat dengan mengintegrasikan human machine interface, arduino dan dobot magician. Arduino mega 2560 berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengelola komunikasi input dan output antara HMI dan dobot magician melalui koneksi serial.

pengembangan antarmuka pengguna HMI menggunakan software nextion editor, dan kode diunggah ke HMI melalui SD card. Pemrograman arduino dilakukan menggunakan arduino IDE dan diunggah menggunakan kabel micro-USB.

Sistem pengendalian posisi robot lengan 4 axis dengan antarmuka manusia dan mesin terdiri dari beberapa komponen yang digunakan, yaitu:

- 1 buah nextion human machine interface.
- 1 buah Arduino mega 2560 sebagai mikrokontroler yang berperan mengatur jalannya sistem.
- 4 buah konektor IDC 4 pin male
- 1 buah adaptor dc input
- 1 buah kabel usb to source
- 1 buah soket IDC female pixy2
- 1 buah soket IDC female communication interface
- 1 buah kabel usb Vcc 5v

Input dalam sistem ini berupa pergerakan dobot dari perintah yang dimasukkan pada human machine interface. Protokol komunikasi antara HMI nextion dan Arduino mega 2560 menggunakan Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) untuk pertukaran data serial. Desain antarmuka pengguna dilakukan menggunakan perangkat lunak Nextion Editor, kemudian diunggah ke HMI. Arduino mega 2560 dan HMI Nextion terhubung melalui pin-pasangan serial UART (RX dan TX) untuk memungkinkan komunikasi dua arah. Kecepatan baudrate harus disesuaikan dengan konfigurasi di Nextion Editor dan kode Arduino. Dalam kode Arduino, perpustakaan Nextion digunakan untuk mempermudah komunikasi. Inisialisasi koneksi serial UART dilakukan dengan Serial.begin() pada kecepatan baud yang sesuai. Perintah-perintah dapat dikirim dari Arduino ke HMI Nextion atau sebaliknya untuk mengontrol tampilan layar dan variabel-variabel terkait. Perintah-perintah UART dapat mencakup berbagai fungsi, seperti pembaruan teks, penanganan sentuhan layar, atau pengiriman nilai variabel. Contoh perintah mencakup string ASCII seperti "t0.txt="Hello"" untuk memperbarui teks di tampilan atau "va0.val=50" untuk menetapkan nilai variabel. Dengan protokol komunikasi UART, Arduino mega 2560 dapat berinteraksi secara efektif dengan HMI Nextion, memberikan kendali penuh atas antarmuka pengguna dan memungkinkan pertukaran informasi yang diperlukan antara mikrokontroler dan layar sentuh.

### B. Perancangan Perangkat Keras

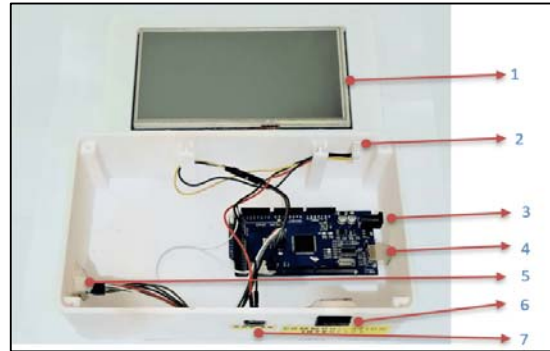
Pada sistem ini perancangan perangkat keras berupa perakitan casing Human Machine Interface, dan rangkaian kabel Arduino Mega 2560.

Casing Hardware ini merupakan perakitan yang dirancang khusus untuk menampung monitor Human Machine Interface yang dilengkapi dengan Arduino Mega 2560 di dalamnya. Casing ini dilengkapi dengan beberapa komponen utama untuk mendukung fungsionalitasnya.

Di dalamnya terdapat:

1. Human Machine Interface (HMI) sebagai antarmuka pengguna.
2. Konektor IDC 4-pin male untuk menghubungkan dengan Dobot.
3. DC input untuk Arduino.

4. USB to source untuk memberikan daya pada Arduino.
5. Socket IDC female 10-pin pertama untuk konektor Pixy2 dan yang kedua untuk antarmuka komunikasi.
6. VCC 5V yang menyediakan listrik untuk operasional HMI.

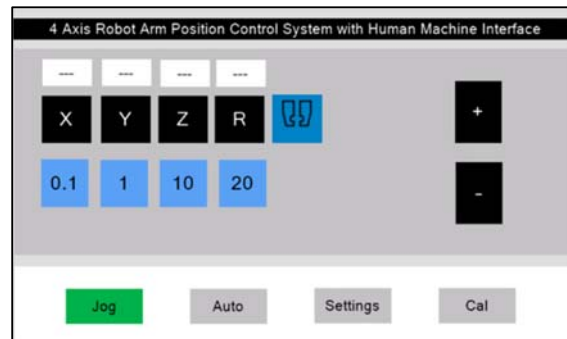


Gambar 2. Casing Hardware

Dengan komponen-komponen ini, casing HMI ini dirancang untuk mendukung penggunaan monitor HMI dengan Arduino Mega 2560 secara efisien dan terintegrasi.

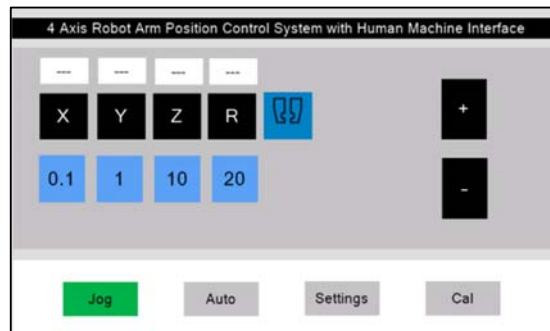
### C. Perancangan User Interface GUI

Terdapat desain HMI yang dapat meningkatkan efisiensi dan kemudahan penggunaan sistem. Desain HMI ini terdiri dari 5 halaman sebagai berikut.



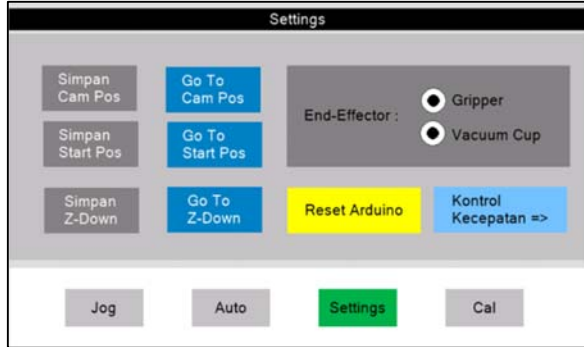
Gambar 3. Halaman Jogging HMI

Halaman jogging dirancang untuk mengendalikan gerakan robot dengan mudah dan intuitif. Terdapat 11 tombol yang terbagi menjadi dua fungsi utama, 4 tombol untuk mengendalikan gerakan pada sumbu X, Y, Z, dan R, 1 tombol untuk mengendalikan end effector, 4 tombol untuk memilih skala gerakan dari 0.1mm hingga 20mm, 1 tombol untuk menambah skala (+), dan 1 tombol untuk mengurangi (-). Selain itu, terdapat 4 elemen teks untuk menampilkan angka koordinat.



Gambar 4. Halaman Auto HMI

Halaman otomatis dirancang untuk mempermudah proses pick and place dengan menyediakan antarmuka yang intuitif. Terdapat dua tombol, tombol Mulai untuk memulai proses, dan tombol Berhenti untuk menghentikannya. Selain itu, terdapat dua elemen teks untuk menampilkan koordinat X dan Y. Desain ini dirancang untuk memulai, dan menghentikan proses pick and place secara otomatis.



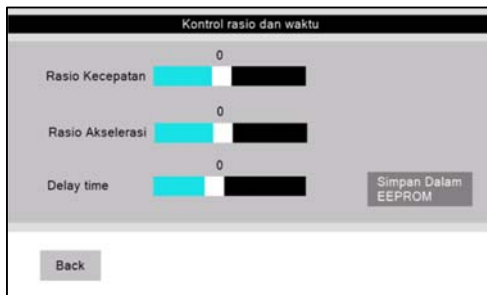
Gambar 5. Halaman Settings HMI

Halaman pengaturan menyediakan kontrol menyeluruh atas kamera dan robot, terdiri dari delapan tombol memungkinkan pengguna untuk menyimpan titik kamera, mengatur posisi awal, menurunkan sumbu Z, menavigasi ke berbagai lokasi, mereset Arduino, dan beralih ke sub-halaman kontrol kecepatan. Dua tombol radio memungkinkan pengguna memilih antara end effector gripper atau vacuum cup.



Gambar 6. Halaman Calibration HMI

Halaman calibration yang menyediakan kontrol untuk mengakses EEPROM, perpindahan posisi, serta posisi peletakan objek, terdiri dari 13 tombol pada pengaturan terbagi tombol untuk kalibrasi dan drop. Kalibrasi titik Axy, Bxy, Cxy. Tombol drop simpan dan akses lokasi objek yang akan diambil kamera.



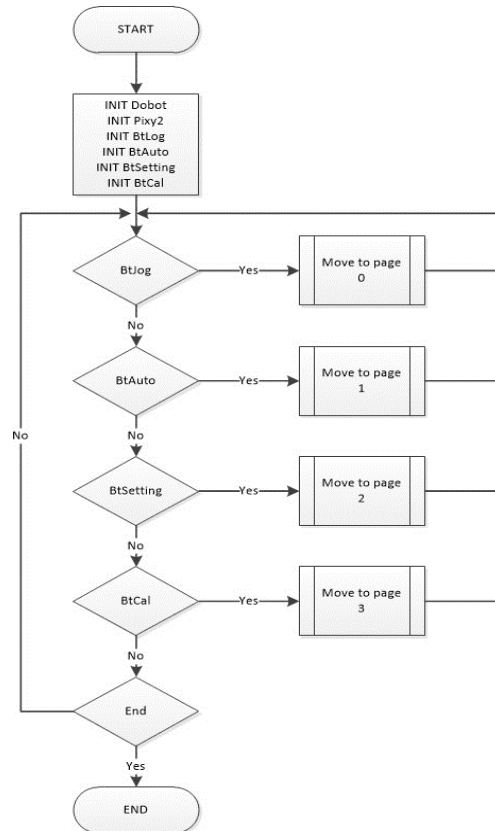
Gambar 7. Halaman Speed HMI

Halaman kecepatan dirancang untuk mengatur kecepatan dan akselerasi robot dengan presisi, terdiri dari tiga buah slider kontrol memungkinkan pengaturan rasio kecepatan, rasio

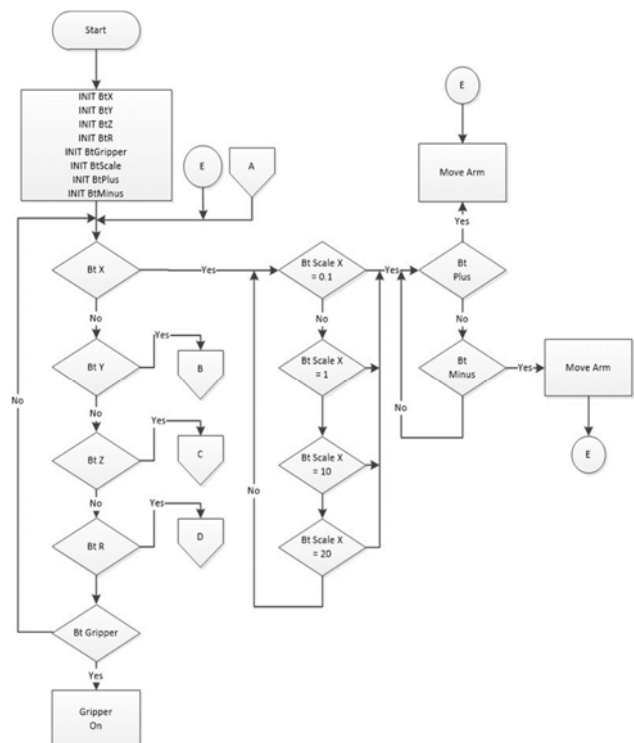
akselerasi, dan delay time. Nilai yang dipilih untuk setiap slider ditampilkan pada elemen teks yang sesuai.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan ini terdiri dari flowchart sistem yang menunjukkan alur kerja sebagai berikut:

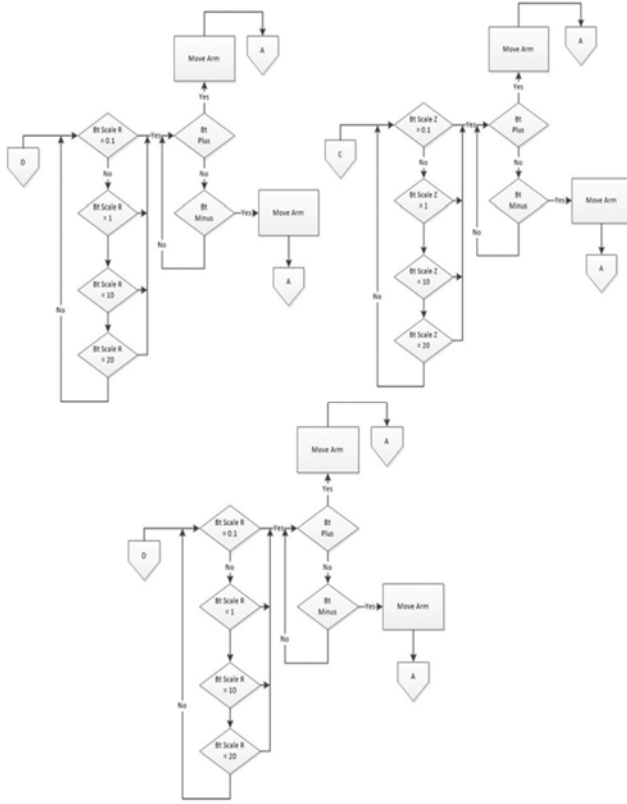


Gambar 8. Flowchart Sistem Halaman Menu HMI



Gambar 9. Flowchart Sistem Kontrol Jogging HMI

Flowchart dimulai dengan inialisasi halaman dengan empat menu utama. Jogging untuk operasi manual, Auto untuk fungsi otomatis pick and place berdasarkan warna objek, Setting untuk pengaturan posisi dan kecepatan, serta Cal untuk kalibrasi dan penentuan lokasi drop-off. Inialisasi mencakup persiapan Dobot, sensor Pixy2, dan tombol submenu. Flowchart pada gambar 9 menjelaskan proses kontrol dobot magician secara manual jogging yang dimulai dari inialisasi beberapa tombol (Bt) yang meliputi tombol X, Y, Z, R, Gripper, scaling, plus, dan minus.

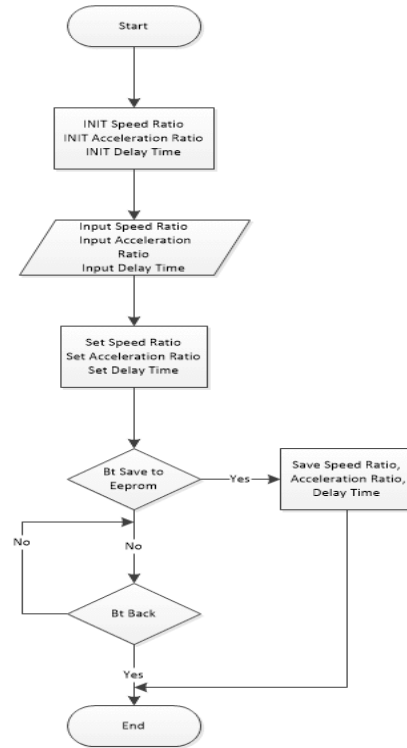


Gambar 10. Flowchart Sistem Kontrol Jogging HMI

Flowchart dimulai dengan inialisasi beberapa tombol (Bt) yang meliputi tombol X, Y, Z, R, Gripper, scaling, plus, dan minus. Setelah inialisasi, pengguna harus memilih salah satu tombol untuk mengubah koordinatnya. Perubahan koordinat ini dapat dilakukan dengan skala 0.1, 1, 10, atau 20, dan pengguna juga harus memilih apakah perubahan tersebut akan berupa penambahan (+) atau pengurangan (-). Setelah pengguna menentukan pilihannya, program akan melanjutkan dengan menggerakkan lengan robot ke posisi yang sesuai dengan masukan yang telah diberikan. Prosedur ini dirancang untuk memastikan bahwa lengan robot bergerak sesuai dengan instruksi pengguna.

Flowchart speed menggambarkan proses penetapan nilai rasio kecepatan, rasio percepatan, dan waktu tunda berdasarkan input yang diberikan. Setelah nilai-nilai ini ditetapkan, pengguna diberi pilihan untuk menyimpan data tersebut ke dalam EEPROM (memory non volatile) atau tidak. Jika pengguna memilih "iya", nilai-nilai rasio kecepatan, rasio percepatan, dan waktu tunda akan disimpan ke dalam EEPROM. Jika pengguna memilih "tidak", mereka akan diarahkan untuk memutuskan apakah ingin kembali ke halaman sebelumnya atau tetap di halaman saat ini. Jika

pengguna memilih untuk kembali, sistem akan mengembalikannya ke halaman sebelumnya.



Gambar 11. Flowchart Sistem Kontrol Speed HMI

E. Parameter dan Instruksi pada Human Machine Interface

Dalam antarmuka HMI, tombol-tombol dan input lainnya menghasilkan paket-paket untuk berkomunikasi dengan Dobot. Setiap kali tombol ditekan atau input diberikan, HMI akan membuat dan mengirimkan paket yang terdiri dari header, ID, kontrol, parameter, dan checksum yang sesuai untuk memberikan instruksi kepada Dobot Magician. Instruksi-instruksi ini bisa berupa perintah untuk bergerak ke posisi tertentu, mengatur kecepatan, atau mengaktifkan/deaktivasi perangkat tertentu. Parameter dan instruksi yang tepat ini memastikan bahwa Dobot merespons dengan benar terhadap setiap input yang diberikan.

Tabel 1. Mapping HMI Instruksi dan Parameter

Bagian Tombol Tampilan pada HMI	Command HMI to Dobot Magician
X, Y, Z, R: Tambah (+) atau kurang (-): 0.1, 1, 10, 20	<pre> Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 98 99 8b 43 00 00 80 3f 68 66 06 c1 00 00 80 3f checksum:95 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:11 params: 02 cb 0c 9b 43 00 00 80 3f 68 66 06 c1 00 00 80 3f checksum:df Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: e2 00 00 00 00 00 00 00                     </pre>

Sistem Pengendalian Posisi Robot Lengan  
[George Glenn Kamolie et al]

End-Effector	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 cb 8c 8b 43 e0 ff 7f 3f 68 66 06 c1 e0 ff 7f 3f checksum:b3 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 01 checksum:be Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 01 checksum:be Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 38 01 00 00 00 00 00 00
Start dan Stop automatic pick and place	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 96 19 3b 43 00 00 e8 c1 66 66 2a 42 e0 ff 7f 3f checksum:fc Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 44 01 00 00 00 00 00 00 play_obj.name: auto Error: Tidak ditemukan objek, minimal 1 objek diperlukan untuk memulai proses pick and place!Pick and Place STARTKALIBRASI [6452:2,10,b22] nextStepName: 1 Stop Status Auto
Simpan posisi kamera	[6476:2,8,b20] Kalibrasi posisi X disimpan di EEPROM: 187.10 Kalibrasi posisi Y disimpan di EEPROM: -29.00 Kalibrasi posisi Z disimpan di EEPROM: 42.60 Kalibrasi posisi R disimpan di EEPROM: 0.00 Posisi kalibrasi tersimpan di EEPROM:999
Simpan posisi Start	[6452:2,10,b22] Posisi Start X disimpan di EEPROM: 279.10 Posisi Start Y disimpan di EEPROM: 0.00 Posisi Start X disimpan di EEPROM: -8.40 Posisi Start R disimpan di EEPROM: 0.00
Simpan posisi Z-down	[6428:2,12,b24] Posisi Z-Down disimpan di EEPROM: -7.40
Goto start pos	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 cb 8c 8b 43 00 00 00 00 68 66 06 c1 00 00 00 00 checksum:ed Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 71 01 00 00 00 00 00 00
Goto cam pos	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 96 19 3b 43 00 00 e8 c1 66 66 2a 42 00 00 00 00 checksum:99 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:70, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 6c 01 00 00 00 00 00 00
Goto Z-Down	move to x:279.10 y:0.00 z:-7.40 r:0.00 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 cb 8c 8b 43 00 00 00 00 d0 cc ec c0 00 00 00 00 checksum:3a Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 72 01 00 00 00 00 00 00
Simpan kal Axy, Bxy, Cxy	Titik a2X disimpan di EEPROM: 178.10 Titik a2Y disimpan di EEPROM: 96.00 Titik b2X disimpan di EEPROM: 186.40 Titik b2Y disimpan di EEPROM: -81.50 Titik c2X disimpan di EEPROM: 299.10 Titik c2Y disimpan di EEPROM: 103.00

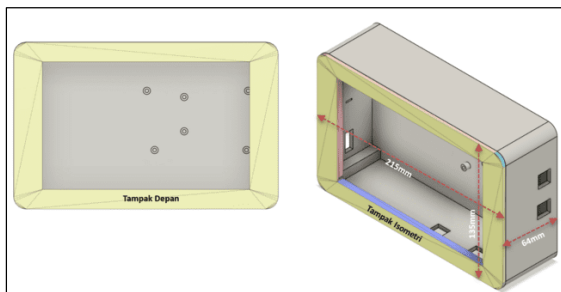
Goto kal Axy, Bxy, Cxy	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 96 19 32 43 00 00 c0 42 68 66 06 c1 00 00 00 00 checksum:ec Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 60 66 3a 43 ff ff a2 c2 68 66 06 c1 00 00 00 00 checksum:6d Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 cb 8c 95 43 00 00 ce 42 68 66 06 c1 00 00 00 00 checksum:d3 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf
Simpan Drop Pos 1, 2, dan 3	Drop location1 X disimpan di EEPROM: 279.10 Drop location1 Y disimpan di EEPROM: 0.00 Drop location1 Z disimpan di EEPROM: -8.40 Drop location1 R disimpan di EEPROM: 0.00 Drop location2 X disimpan di EEPROM: 279.10 Drop location2 Y disimpan di EEPROM: 0.00 Drop location2 Z disimpan di EEPROM: -8.40 Drop location2 R disimpan di EEPROM: 0.00 Drop location3 X disimpan di EEPROM: 279.10 Drop location3 Y disimpan di EEPROM: 0.00 Drop location3 Z disimpan di EEPROM: -8.40 Drop location3 R disimpan di EEPROM: 0.00
Goto Drop Pos 1, 2, dan 3	Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 96 19 6f 43 00 00 42 43 cc cc ec 41 00 00 00 00 checksum:fc Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 95 01 00 00 00 00 00 00 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 96 19 2a 43 00 00 3d 43 cc cc ec 41 00 00 00 00 checksum:46 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 96 01 00 00 00 00 00 00 Tx Packet: Packet header:aa aa, id:84, ctrl:03, payloadLen:19 params: 02 2c 33 d4 42 00 00 3d 43 cc cc ec 41 00 00 00 00 checksum:ed Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Tx Packet: Packet header:aa aa, id:62, ctrl:03, payloadLen:3 params: 00 checksum:bf Rx message: message id:62, rw:1, isQueued:1, paramsLen:8 params: 9b 01 00 00 00 00 00 00
Start kalibrasi	3 titik kalibrasi ditemukan: Titik a1X disimpan di EEPROM: 29.00 Titik a1Y disimpan di EEPROM: 17.00 Titik b1X disimpan di EEPROM: 296.00 Titik b1Y disimpan di EEPROM: 23.00 Titik c1X disimpan di EEPROM: 41.00 Titik c1Y disimpan di EEPROM: 189.00
Slider rasio kecepatan, rasio akselerasi, dan delay time	recvRetNumber :70 gPTPCommonParams.velocityRatio = 70.00 recvRetNumber :83 gPTPCommonParams.accelerationRatio = 83.00 recvRetNumber :1493 delayInterval = 1493
Simpan pengaturan Slider ke EEPROM	SpeedRatio disimpan di EEPROM: 70 AccelerationRatio disimpan di EEPROM: 83 DelayInterval disimpan di EEPROM: 1493

Pada tabel instruksi di atas, Paket yang dikirim (Tx Packet) terdiri dari beberapa elemen penting. Header paket, ditandai dengan "aa aa", menunjukkan awal paket komunikasi. Setiap paket memiliki ID unik, seperti 84 atau 62, yang

mengidentifikasi perintah atau perangkat yang digunakan. Byte kontrol (Ctrl) dengan nilai seperti 03 menunjukkan tipe operasi yang dilakukan, seperti membaca atau menulis data, sementara panjang data dalam paket ditunjukkan oleh payloadLen. Untuk Tx Packet pertama, parameter (Params) yang dikirim berisi informasi posisi dan orientasi robot, seperti koordinat x, y, z, dan orientasi (r). Setiap parameter biasanya dipecah menjadi byte individu yang mewakili nilai-nilai tertentu. Misalnya, 02 cb 8c 8b dapat mewakili nilai koordinat x dalam format tertentu. Nilai checksum digunakan untuk memastikan integritas data dalam paket. Pesan yang diterima (Rx Message) memiliki ID pesan yang mengidentifikasi pesan yang diterima, byte RW yang menunjukkan apakah pesan tersebut untuk membaca atau menulis data, dan isQueued yang menunjukkan apakah pesan ini diletakkan dalam antrian untuk dieksekusi. Panjang data parameter yang diterima dan parameter yang diterima berisi informasi status atau konfirmasi dari perintah yang diberikan. Header dan ID mengindikasikan kepada sistem bahwa paket tersebut adalah instruksi baru atau pesan status, di mana ID yang berbeda mengidentifikasi perangkat atau perintah spesifik yang diterima. Byte kontrol menentukan tipe operasi yang harus dilakukan, seperti menggerakkan robot atau membaca sensor, sementara payload dan parameter berisi data yang dikirim ke Dobot untuk menentukan tindakan spesifik. Nilai checksum digunakan untuk verifikasi data, memastikan tidak ada kesalahan selama transmisi. Saat menerima pesan, Dobot akan memproses panjang parameter untuk memastikan semua data diterima dengan benar dan sesuai dengan ekspektasi. Berbeda dengan komunikasi antarmuka manusia-mesin (HMI) yang menggunakan paket transmisi seperti Tx Packet dan perintah lainnya, EEPROM digunakan untuk menyimpan data instruksi dan parameter langsung di dalam mikrokontroler. Data yang disimpan di EEPROM dapat berupa pengaturan, kalibrasi, atau informasi penting lainnya yang jarang berubah tetapi harus tetap tersedia saat perangkat dihidupkan kembali. Proses menulis dan membaca data dari EEPROM dilakukan melalui fungsi EEPROM.write dan EEPROM.read untuk byte sederhana, atau EEPROM.put dan EEPROM.get untuk tipe data yang lebih kompleks.

F. Desain Casing pada Human Machine Interface

Berikut ini merupakan desain dari casing pelindung dari HMI yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan.



Gambar 12. Casing HMI

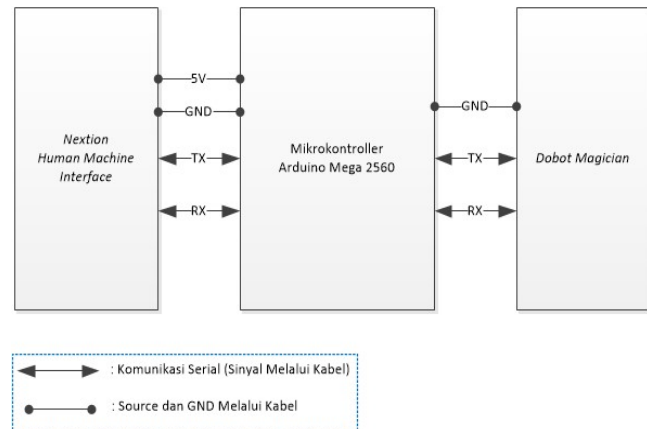
Fungsi casing pada gambar tersebut adalah untuk melindungi HMI dan komponen elektronik, perangkat keras, atau peralatan lainnya dari kerusakan, debu, kelembapan, atau benturan fisik. Casing ini dibuat dari filamen 3D printer dengan lebar 215 mm dan tebal 4 mm, serta dilengkapi dengan lubang untuk port antarmuka komunikasi, USB ke sumber daya, input DC, VCC 5V, dan konektor Pixy2.

III. PENGUJIAN SISTEM DAN HASIL

Bagian ini akan membahas pengujian terkait integrasi antarmuka manusia-mesin (HMI) dengan sistem pengendalian Dobot Magician. Pertama, akan dijelaskan cara tujuan HMI dapat diintegrasikan ke dalam sistem pengendalian Dobot Magician. Selanjutnya, akan dibahas metode, hasil, dan analisis robot untuk melaksanakan proses pemindahan dan penempatan objek.

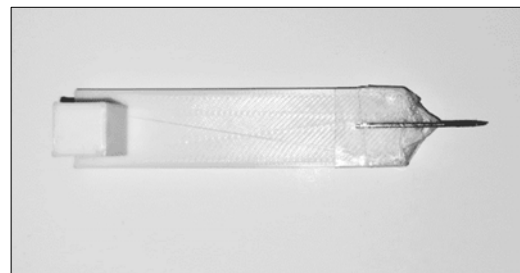
A. Pengujian Integrasi HMI ke dalam sistem kontrol dobot magician

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memverifikasi bahwa komunikasi antara HMI, Arduino Mega, dan Dobot Magician berjalan lancar dan efisien. Pengujian akan dilakukan melalui serangkaian tahap. Pada tahap awal, pengujian akan fokus pada eksekusi perintah yang dikirimkan dari HMI dan respons yang dihasilkan oleh Dobot, serta keberhasilan dalam menjalankan perintah tersebut. Proses ini melibatkan konfigurasi komunikasi serial dan pengiriman perintah dari HMI ke Arduino dan Dobot untuk melakukan gerakan sesuai dengan instruksi pengguna.



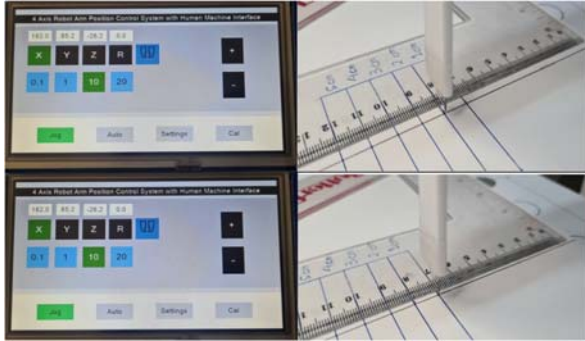
Gambar 13. Blok Diagram Kelistrikan dan Metode Komunikasi

Diagram kelistrikan dan metode komunikasi menunjukkan berbagai jalur serial yang digunakan dalam sistem ini. Serial digunakan untuk pesan debug yang ditampilkan di serialmonitor dalam program Arduino IDE. Serial pertama digunakan untuk berkomunikasi dengan Dobot, menggunakan pin 18 untuk transmisi (TX) dan pin 19 untuk penerimaan data (RX). Serial kedua digunakan untuk berkomunikasi dengan HMI, menggunakan pin 16 sebagai transmisi (TX) dan pin 17 sebagai penerimaan data (RX). Percobaan integrasi sebelumnya menghasilkan pengujian pergerakan menggunakan end effector yang dilengkapi dengan jarum untuk mengevaluasi akurasi gerakan lengan Dobot.



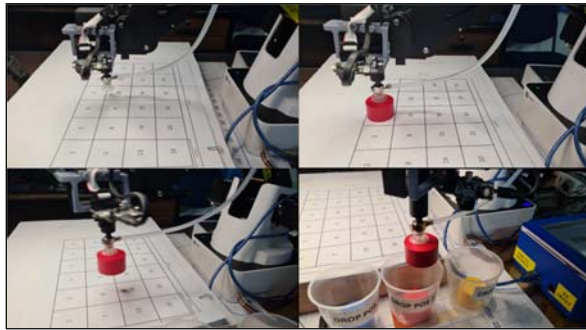
Gambar 14. End effector yang Dipasang Jarum

Metode ini bertujuan untuk mengukur jarak gerakan robot Dobot Magician melalui penggunaan menu Jogging pada HMI. Fokus utama dari percobaan ini adalah mengubah koordinat x dengan penambahan 10mm, sebagai representasi dari perintah-perintah lainnya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi respons robot dalam menjalankan perintah yang diberikan melalui HMI.



Gambar 15. Pengujian Integrasi HMI ke Dobot

Pengujian ini dilakukan menggunakan working space yang telah diberi ukuran 10mm, kemudian dilakukan pengujian pergerakan dan end effector bergerak sejauh 10mm kearah sumbu X.



Gambar 16. Pengujian Integrasi End Effector

Pengujian integrasi end effector dan posisi pergerakan dobot magician, perubahan skala x dengan penambahan 10mm berhasil dilakukan dengan baik. Metode ini memastikan bahwa robot Dobot Magician dapat akurat dan konsisten merespons perintah yang diberikan melalui HMI, terutama dalam konteks penggunaan menu Jogging HMI.

**B. Pengujian End Effector Dobot Magician**

Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kinerja end effector seperti gripper atau vacuum cup pada Dobot Magician dalam mengambil, memindahkan, dan menempatkan objek sesuai instruksi dari HMI.

Metode pengujian ini melibatkan penggunaan end effector secara mandiri di luar dari kode program lainnya, dengan HMI berkomunikasi melalui serial ke kontroler Arduino, yang kemudian mengontrol Dobot Magician. Hasil dari pengujian ini dicatat dalam tabel dengan 10 pengulangan untuk memastikan reliabilitas kinerja end effector.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 2, end effector yang diuji, baik vacuum cup maupun gripper, menunjukkan hasil yang berbeda. Untuk vacuum cup, dari 10 percobaan, berhasil menghidupkan suction sebanyak 8 kali, dengan rasio

keberhasilan 80%. Ini menunjukkan bahwa vacuum cup dapat diandalkan dalam operasinya untuk proses pick and place. Sementara itu, untuk gripper, berhasil menutup gripper = sebanyak 6 kali dengan rasio keberhasilan 60%, dan membuka gripper sebanyak 4 kali dengan rasio keberhasilan 40%. Terdapat kecenderungan gripper lebih sering menutup daripada membuka, yang bisa mempengaruhi proses pick and place. Kinerja gripper yang tidak konsisten dalam membuka dapat menyebabkan gangguan pada sistem, terutama saat menempatkan objek di drop pos.

Tabel 2. Pengujian End Effector

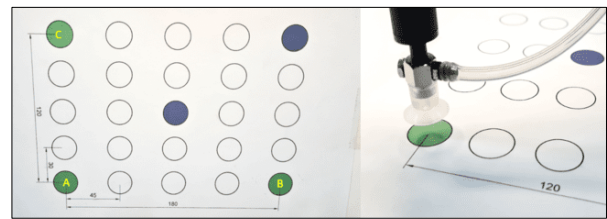
NO	Vacuum Suction Cup On	Vacuum Suction Cup OFF	Gripper Open	Gripper Close
1	1	0	1	0
2	1	0	1	0
3	1	0	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	0	1
6	1	0	0	1
7	1	0	0	1
8	0	1	1	0
9	1	0	0	1
10	0	1	0	1

Keterangan:

1 = ON  
 0 = OFF

**C. Pengujian Integrasi HMI pada Kontrol Dobot Magician untuk Proses Pick and Place**

Pengujian HMI pada sistem kontrol Dobot Magician bertujuan untuk memverifikasi kemampuan robot dalam mencapai posisi yang ditentukan secara akurat dalam proses perpindahan dan penempatan objek, tanpa menggunakan end effector. Metode yang dilakukan mencakup menetapkan posisi kamera untuk deteksi objek, melakukan kalibrasi titik Axy, Bxy, dan Cxy, menentukan drop posisi objek, serta mengatur signature pada perangkat lunak Pixymoon untuk kamera Pixy2.

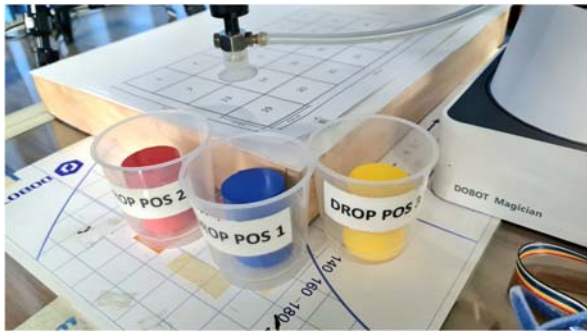


Gambar 17. Kalibrasi Titik Axy, Bxy, dan Cxy pada Kertas Kalibrasi

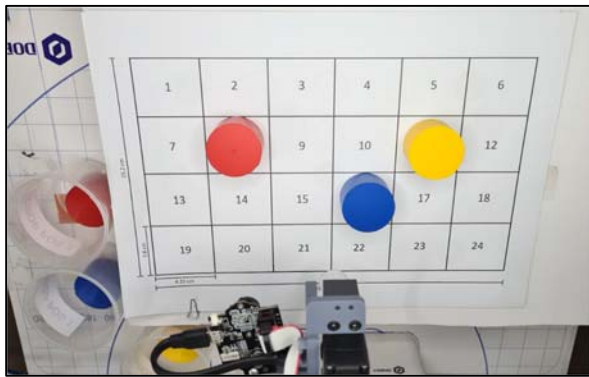
Kalibrasi pada Dobot perlu dilakukan untuk memastikan bahwa semua gerakan robot dapat dilakukan dengan akurat sesuai dengan instruksi dari HMI. Proses kalibrasi ini melibatkan penyesuaian posisi titik Axy, Bxy, dan Cxy pada lembar kalibrasi yang telah dirancang untuk memastikan bahwa gerakan dobot sesuai dengan koordinat yang telah ditetapkan.

Gambar 19 menunjukkan proses pick and place, di mana langkah berikutnya adalah menentukan posisi drop objek (drop pos). Tersedia tiga drop pos untuk objek, dan pengguna memiliki fleksibilitas untuk menggunakan satu, dua, atau ketiga drop pos ini sesuai kebutuhan. Gambar tersebut

menampilkan lokasi drop pos untuk objek yang sudah ditentukan sebelumnya.

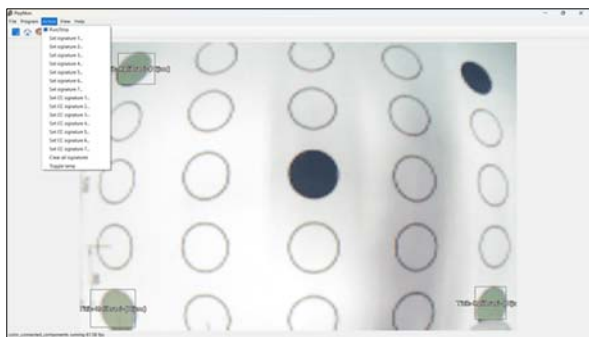


Gambar 18. Drop Position dobot



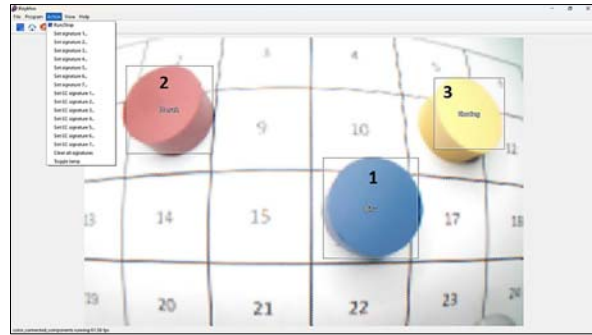
Gambar 19. Meletakkan Objek Dalam Working Space

Untuk memastikan kamera dapat mendeteksi objek dan mengetahui titik awal serta titik penempatan dalam proses pemindahan objek, ketinggian kamera (Cam Pos) harus ditentukan. Dengan menempatkan kamera pada ketinggian yang tepat, objek dapat dideteksi dengan akurat, memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi titik awal objek sebelum dipindahkan.



Gambar 20. Signature 7 pada Software Pixymoon untuk Kalibrasi

Untuk menginput dan menyimpan warna pada Pixy2, pastikan perangkat terhubung melalui USB dan terhubung ke software PixyMoon dengan benar. Pilih warna yang diinginkan pada PixyMoon dan klik "OK". Warna tersebut akan disimpan di salah satu dari signature 1 dan seterusnya di PixyMoon. Gambar 20 menunjukkan hasil dari pengaturan signature pada software, di mana signature 7 digunakan untuk warna hijau yang digunakan dalam titik kalibrasi.



Gambar 21. Menyetel dan Menyimpan Signature pada Perangkat Lunak PixyMoon

Setelah mengatur signature pada perangkat lunak PixyMoon, tempatkan objek yang memiliki warna yang ingin diambil di depan lensa Pixy2. Pilih aksi (action) yang sesuai dan atur signature 1 untuk warna biru, signature 2 untuk warna merah, dan signature 3 untuk warna kuning pada PixyMoon.



Gambar 22. Percobaan Posisi Perpindahan dan Penempatan Objek

Setelah melakukan pengaturan kamera, dilakukan percobaan perpindahan dan penempatan objek tanpa menggunakan end effector untuk menguji keberhasilan kamera dalam mendeteksi objek berdasarkan signature yang telah diatur sebelumnya.

Dari hasil pembacaan warna pada kamera dalam gambar 22, kamera berhasil mendeteksi tiga objek yang akan dipindahkan ke drop pos, yaitu objek berwarna merah, biru, dan kuning. Pengujian posisi dilakukan dengan memberikan titik pada pusat setiap objek yang berbentuk lingkaran, di dalam working space yang terdiri dari 24 tempat berbentuk persegi. Kemudian dilakukan proses pick and place menggunakan objek dengan warna merah, kuning, dan biru. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan warna yang paling sering muncul dari titik pusat objek selama proses pick and place, serta warna yang paling jarang muncul. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Pengujian Posisi Pick and Place Objek Berwarna Merah, Biru, dan Kuning

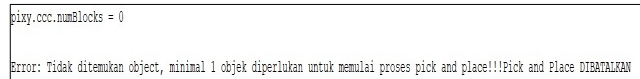
Warna	Posisi Objek	Out of Position (mm)	Posisi
Merah	1	15	Kanan
	2	5	Kanan
	3	7.5	Kanan-Atas
	4	10	Kanan - Atas
	5	10	Kanan
	6	17.5	Kiri

	7	10	Kanan-Atas	
	8	15	Kiri-Atas	
	9	15	Kiri-Atas	
	10	15	Kanan-Atas	
	11	12.5	Kanan-Atas	
	12	10	Kiri	
	13	7.5	Kanan-Atas	
	14	10	Kiri-Atas	
	15	5	Kiri-Atas	
	16	10	Kanan	
	17	7.5	Kanan	
	18	15	Kiri	
	19	7.5	Kanan	
	20	10	Kiri	
	21	10	Kiri-Bawah	
	22	10	Kanan	
	23	13	Kanan	
	24	10	Kiri	
	Biru	1	10	Kanan
		2	2,5	Tengah-Atas
		3	5	Atas
		4	2,5	Tengah-Kanan
		5	5	Kiri-Bawah
		6	17.5	Atas
7		15	Kiri-Atas	
8		15	Kiri-Atas	
9		13	Kiri-Atas	
10		20	Kanan-Atas	
11		13	Kanan-Bawah	
12		17.5	Kiri-Bawah	
13		5	Kiri	
14		15	Kiri	
15		15	Bawah	
16		10	Kanan	
17		5	Kanan	
18		17.5	Kiri-Bawah	
19		5	Kanan	
20		10	Kiri	
21		5	Kiri	
22		5	Kiri-Bawah	
23		10	Kanan-Atas	
24		15	Kiri-Atas	
Kuning	1	15	Kanan-Atas	
	2	5	Atas	
	3	5	Kanan-Atas	
	4	10	Kanan-Atas	
	5	5	Kanan	
	6	10	Kiri-Bawah	
	7	15	Kanan-Atas	
	8	20	Atas	
	9	20	Atas	
	10	15	Kanan-Atas	
	11	15	Kanan-Atas	
	12	10	Kiri	
	13	5	Kanan	
	14	15	Kiri-Atas	
	15	5	Kiri	
	16	10	Kanan	
	17	15	Kanan	

	18	10	Kiri
	19	5	Kanan-Atas
	20	15	Kiri
	21	5	Kiri
	22	10	Kanan Atas
	23	13	Kanan
	24	10	Kiri

Hasil dari percobaan automatic pick and place dengan objek berwarna merah, biru, dan kuning menunjukkan bahwa pergeseran objek relatif stabil dengan beberapa variabilitas. Untuk objek merah, pergeseran paling sering terjadi sebesar 10mm, dengan rata-rata pergeseran sekitar 10.62mm dari posisi awalnya. Objek biru cenderung mengalami pergeseran paling sering sebesar 5mm, dengan rata-rata pergeseran sekitar 10.73mm. Sementara itu, objek kuning menunjukkan modulus pergeseran 10mm, dengan rata-rata pergeseran sekitar 10.63mm. Dari hasil ini, dapat disimpulkan juga bahwa objek dengan ukuran lebih dari 15mm tidak berhasil diangkat oleh end effector. Meskipun ada sedikit variasi, pergeseran objek dalam percobaan ini relatif konsisten di sekitar nilai-nilai modulus mereka masing-masing, menunjukkan kinerja yang dapat diandalkan dalam proses pick and place.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, integrasi antara Human Machine Interface (HMI) dengan sistem kontrol Dobot Dobot Magician terbukti efektif dalam proses perpindahan dan penempatan objek. Proses kalibrasi titik Axy, Bxy, dan Cxy pada kertas kalibrasi memastikan gerakan robot akurat sesuai dengan perintah dari HMI. Fleksibilitas dalam menentukan posisi drop objek memungkinkan penyesuaian sesuai kebutuhan. Pengaturan ketinggian kamera dan penempatan objek dalam working space memastikan deteksi lokasi objek yang akurat.



Gambar 23. Error Perpindahan dan Penempatan Objek Saat Tidak Mendeteksi Adanya Objek

Deteksi objek yang tidak berhasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 23 dengan error pada serial monitor karena tidak ditemukannya objek. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa HMI dan sistem kontrol Dobot Magician dapat beroperasi secara efektif.

#### IV. KESIMPULAN

Secara umum, end effector berfungsi dengan baik meskipun terdapat variasi dalam keberhasilan operasi. Vacuum cup menunjukkan rasio keberhasilan yang stabil sebesar 80%, sementara gripper memiliki rasio keberhasilan yang lebih rendah yaitu 60% untuk kondisi mencengkram dan 40% untuk kondisi membuka. Performa vacuum cup lebih konsisten dan seimbang dalam setiap percobaan, menjadikannya lebih dapat diandalkan dalam sistem ini.

Berdasarkan data dari percobaan perpindahan dan penempatan objek (pick and place), pergeseran objek berwarna merah, biru, dan kuning menunjukkan tingkat konsistensi yang baik meskipun ada beberapa variasi. Objek merah memiliki modulus 10mm dan rata-rata 10,62mm, objek biru memiliki modulus 5mm dan rata-rata 10,73mm, sementara objek kuning memiliki modulus 10mm dan rata-rata 10,63mm. Pergeseran objek biru

menunjukkan konsistensi tertinggi dengan nilai modus yang lebih rendah (5mm).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. R. Adzani and M. S. Zuhrie, "Perancangan kontroler pid tyreus-luyben untuk kendali vibrasi pada robot single link flexible joint manipulator," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 523–530, 2019. doi: 10.26740/JTE.V8N3.P
- [2] J. M. Anggi and Z. Iklima, "Robot lengan 4 derajat kebebasan menggunakan tampilan antarmuka pengguna berbasis arduino uno," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, p. 134, 2021. doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.006
- [3] S. Sadi, "Implementasi human machine interface pada mesin heel lasting Chin Ei berbasis programmable logic controller," *Jurnal Teknik*, vol. 9, no. 1, pp. 18-24, 2020. doi: 10.31000/JT.V9I1.2561
- [4] Agni, "Perancangan robot lengan lima derajat kebebasan untuk misi pick and place berbasis inverse kinematics," SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan), n.d. [Online]. Available: <https://semnastera.poleksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/162>
- [5] "Indonesia industry 4.0 readiness index," n.d. [Online]. Available: [https://sindi4.kemenperin.go.id/assets/content/INDI4.0\\_Full\\_v1.pdf](https://sindi4.kemenperin.go.id/assets/content/INDI4.0_Full_v1.pdf)