

Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang

William¹, Budi Kartadinata¹, Linda Wijayanti¹

ABSTRACT: Nowadays, industry technology are developed to make productivity more efficient. The main problem that hampers the production process is using human labor. Therefore, industrial robots are developed to work more efficiently such as robots moving goods. The purpose of this research is to apply the robot arm to the process of moving goods that can be monitored and controlled remotely using Human Machine Interface (HMI). Robots require controllers as regulator of production processes such as Arduino Uno microcontroller and Programmable Logic Controller (PLC). Arduino Uno is used as a data processor from color sensor, then Arduino Uno will control the relay module which is used to communication medium with PLC. TCS230 is a color sensor that is also able to read the existence of an object. This color sensor produces digital frequencies as an output with the period that will be calculating by Arduino Uno. The object with color that have been detected will be move by the robot arm to a predetermined position. The arm of the robot moves using pneumatik and dc motors, as well as the limit switch as the x-axis position sensor of the robotic arm. The carrying of an object will be done with the air suction through a small hole that assisted by rubber lip. The pneumatik that used to suck an object has a cylindrical iron rod.

KEYWORDS: color sensor, arduino microcontroller, PLC, HMI.

ABSTRAK: Sekarang ini, teknologi bidang industri terus dikembangkan agar produktifitas menjadi semakin lebih efisien. Permasalahan utama yang menghambat proses produksi adalah penggunaan tenaga kerja manusia. Oleh karena itu, dikembangkanlah robot industri yang mampu bekerja lebih efisien seperti robot pemindah barang. Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan lengan robot untuk proses pemindahan barang yang dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *Human Machine Interface* (HMI). Robot membutuhkan kontroler sebagai pengatur proses produksi seperti mikrokontroler Arduino Uno dan *Programmable Logic Controller* (PLC). Arduino Uno digunakan sebagai pengolah data dari sensor warna, kemudian Arduino Uno akan mengaktifkan *relay* modul yang berguna sebagai media komunikasi dengan PLC. TCS230 merupakan sensor warna yang sekaligus mampu membaca keberadaan objek. Sensor warna ini menghasilkan keluaran berupa frekuensi digital yang akan dihitung periodenya oleh Arduino Uno. Benda yang telah dideteksi warnanya akan dipindahkan oleh lengan robot ke posisi yang telah ditentukan. Lengan robot bergerak menggunakan pneumatik dan motor dc, serta *limit switch* sebagai sensor posisi sumbu x dari lengan robot. Pengambilan benda dilakukan dengan hisapan udara melalui lubang kecil yang dibantu oleh bibir karet sebagai perekat. Pneumatik yang digunakan sebagai penghisap benda memiliki batang besi berupa silinder.

KATA KUNCI: sensor warna, mikrokontroler arduino, PLC, HMI.

PENDAHULUAN

Pada zaman ini, setiap industri mengupayakan agar produktifitas dapat berjalan lebih efisien. Efisiensi produksi terkendala bila proses produksi masih dikerjakan oleh tenaga kerja manusia karena manusia memiliki kelemahan dan kelelahan dalam menjalankan tugasnya. Mengatasi hal ini perusahaan besar sudah beralih ke penggunaan robot industri untuk menyelesaikan proses produksi terutama pada proses yang berbahaya atau proses yang melakukan gerakan yang sama secara terus-menerus. Contohnya adalah proses pemindahan dan pengelompokkan benda yang dilakukan secara terus-menerus dapat digantikan dengan lengan robot.

Pengetahuan mengenai pengoperasian dan gerakan yang dapat dilakukan lengan robot dalam melakukan suatu pekerjaan memerlukan pemahaman yang baik. Oleh karena itu pada penelitian ini dibuat sistem otomasi pemindahan dan pengelompokkan benda berdasarkan warna benda menggunakan lengan robot melalui kendali *Programmable Logic Controller* yang dilengkapi dengan *Human Machine Interface* (HMI) atau *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA).

LENGAN ROBOT

Lengan robot didesain meniru lengan manusia secara umum seperti adanya sendi dan efektor ujung (jepit, hisap, atau magnet) untuk mengangkat benda [1]. Robot memerlukan sensor untuk menentukan posisi lengan, dan kontroler yang menyimpan program untuk mengatur proses gerakkan lengan robot, serta aktuator sebagai penggerakannya.

PNEUMATIK

Pneumatik berupa tabung baja yang didalamnya terdapat plat bulat dengan karet yang memisahkan isi tabung menjadi 2 bagian seperti pada Gambar 1. Tekanan udara yang dimasukkan kedalam tabung akan mendorong plat bulat sehingga batang besi yang terhubung dengan plat akan ikut bergerak maju/mundur

¹ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Atma Jaya Jakarta



■ Gambar 1. Pneumatik

SOLENOID VALVE

Solenoid *valve* pneumatik adalah katup yang dikontrol menggunakan energi listrik melalui solenoida. Solenoid berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC [2].

Terdapat berbagai macam jenis pneumatik *valve* tergantung jumlah lubangnya. Pneumatik *valve* yang biasa digunakan memiliki 2 lubang keluaran seperti Gambar 2



■ Gambar 2. Solenoid valve Festo

MOTOR ARUS SEARAH

Motor adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik terdiri dari 2 bagian yaitu rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak dan stator bagian yang tidak bergerak [3]. Motor arus searah seperti pada Gambar 3 merupakan salah satu motor DC yang menggunakan magnet tetap sebagai statornya. Arus listrik pada kumparan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator sehingga menimbulkan gaya Lorentz pada rotor seperti Persamaan (1) [3]

$$F = B \times I \times L \times \sin \alpha$$

Keterangan:

F = Gaya Lorentz (newton)

B = Kuat medan magnet (tesla) I = Arus listrik (ampere)

L = Panjang kawat (meter)

α = sudut yang dibentuk B dan I



■ Gambar 3. Motor arus searah

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

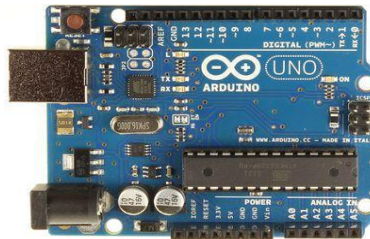
Programmable Logic Controller (PLC) merupakan sistem pengendali yang didesain untuk industri. PLC menggunakan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan secara internal instruksi-instruksi dengan fungsi- fungsi spesifik seperti logika, urutan, pewaktuan, pencacahan, dan operasi aritmatik untuk mengendalikan mesin atau proses melalui modul I/O digital maupun analog deprogram [4]. Bahasa pemrograman yang digunakan dapat berupa *ladder diagram*, *function block* atau *statement list*.



■ **Gambar 5.** PLC Versamax GE Fanuc

ARDUINO UNO

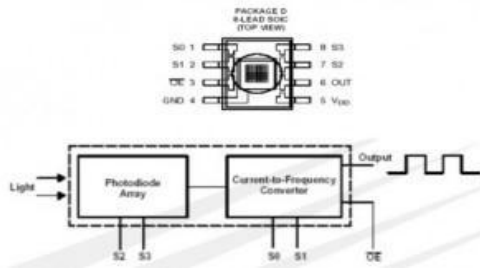
Arduino Uno adalah salah satu kit mikrokontroler yang berbasis pada ATmega28 [5]. Arduino Uno memiliki 14 pin digital *input/output*, 6 analog *input*, sebuah resonator keramik 16MHz, koneksi USB, *pin* power input, ICSP *header*, dan sebuah tombol reset dibentuk menjadi seperti pada Gambar 6



■ **Gambar 6.** Arduino Uno

SENSOR WARNA

Sensor warna, TCS230, merupakan serangkaian *photodiode* yang disusun secara matriks 8x8 dengan 16 buah *photodiode* yang berfungsi sebagai filter masing-masing warna dan filter tanpa warna [6]. Kontruksi sensor warna TCS230 dapat dilihat pada Gambar 7 [6].



■ **Gambar 7.** Konstruksi sensor warna TCS230

Sensor warna, TCS230, memiliki selektor S_2 dan S_3 yang berfungsi untuk memilih kelompok konfigurasi *photodiode* yang akan digunakan. Konfigurasi selektor S_2 dan S_3 dalam pemilihan kelompok *photodiode* ditetapkan pada Tabel 1.

■ **Tabel 1.** Konfigurasi S_2 dan S_3 Sensor warna TCS230 [6]

S_2	S_3	<i>Photodiode yang aktif</i>
0	0	Pemfilter Merah
0	1	Pemfilter Biru
1	0	Tanpa Filter
1	1	Pemfilter Hijau

Photodiode akan mengeluarkan arus yang besarnya sebanding dengan kadar warna cahaya yang diterimanya. Frekuensi *output* dapat diskalakan dengan mengatur selektor S_0 dan S_1 . Skala *output* ditetapkan pada Tabel 2. Komposisi warna RGB (*red, green, blue*) dihitung berdasarkan frekuensinya.

■ **Tabel 2.** Skala *output* S_0 dan S_1 sensor warna TCS230 [6]

S_0	S_1	Skala Frekuensi <i>output</i>
0	0	<i>Power Down</i>
0	1	2%
1	0	20%
1	1	100%

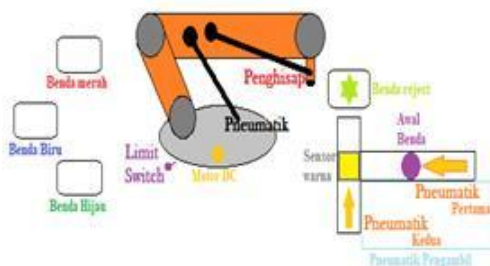
HUMAN MACHINE INTERFACE

Human Machine Interface (HMI) menampilkan proses kerja mesin yang sedang berlangsung di lapangan secara animasi pada layar monitor, sehingga dengan HMI operator lebih mudah dalam melakukan pekerjaan fisik [7].

HMI dapat terhubung dengan logika *input*, *output*, *memory*, serta register pada PLC. Logika yang sudah masuk kedalam *database* HMI dapat diambil dan diubah sesuai kebutuhan, sehingga pergerakan mesin dapat dimonitor dan masukan dapat dikontrol dengan HMI.

KONSEP PERANCANGAN

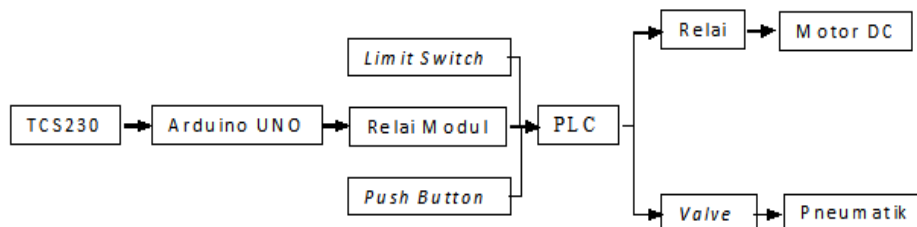
Robot industri bekerja dengan proses awal memasukkan benda yang akan dikelompokkan berdasarkan warnanya (merah, biru, dan hijau) ke posisi awal benda. Ketika tombol (*push button*) *start* ditekan operator, lengan robot akan terangkat dan motor akan memutar lengan sampai posisi lengan siap mengambil benda. Pneumatik pertama akan mendorong benda ke bagian sensor warna dan keberadaan benda akan terbaca, serta dideteksi warnanya. Setelah terbaca sensor, pneumatik kedua akan mendorong benda ke bagian pengambilan benda. Lengan robot akan turun dan akan menghisap benda, serta memindahkannya ke bagian yang sesuai warnanya seperti pada Gambar 8. Masing-masing warna akan dipindahkan sebanyak 3 kali. Jika ada benda ke-4 dengan warna yang sama, lengan robot akan memindahkannya ke bagian *reject*. Ketika seluruh warna sudah masing-masing 3 dipindahkan, proses kerja sistem selesai.



■ Gambar 8. Struktur Sistem

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS

Perancangan perangkat keras dibagi menjadi 2 bagian yaitu perancangan mikrokontroler arduino uno dan perancangan PLC yang masing-masing memiliki masukan dan keluaran. Masukan dari arduino adalah sensor warna, dan keluarannya adalah *relay* modul. Sensor warna yang digunakan dapat mendeteksi ada tidaknya benda dengan memanfaatkan warna *clear*. Diagram blok perangkat keras digambarkan seperti Gambar 9.



■ Gambar 9. Diagram blok perangkat keras

Perancangan sistem dijelaskan sebagai berikut:

1. TCS230 merupakan sensor warna yang berfungsi sebagai pendeteksi warna benda yang ada didepannya. Keluaran sensor warna berupa sinyal frekuensi yang dikirimkan ke salah satu *pin* Arduino Uno untuk diolah datanya sehingga dapat menetapkan warna benda merah, biru, atau hijau.
2. *Relay* modul berfungsi sebagai media komunikasi/perantara antara arduino dan PLC karena tegangan keluaran pin arduino sebesar 5 volt, sedangkan masukan pin PLC membutuhkan tegangan sebesar 24 volt. *Push button* digunakan sebagai tombol *start*, *reset*, dan *stop*.
3. *Push button* dihubungkan dengan *Vcc* dan *pin input* PLC.
4. *Limit switch* digunakan sebagai sensor posisi. Terdapat 5 posisi yang telah ditetapkan yaitu posisi pengambilan benda, benda *reject*, benda merah, benda biru, dan benda hijau. Pada sisi dinding alas lengan

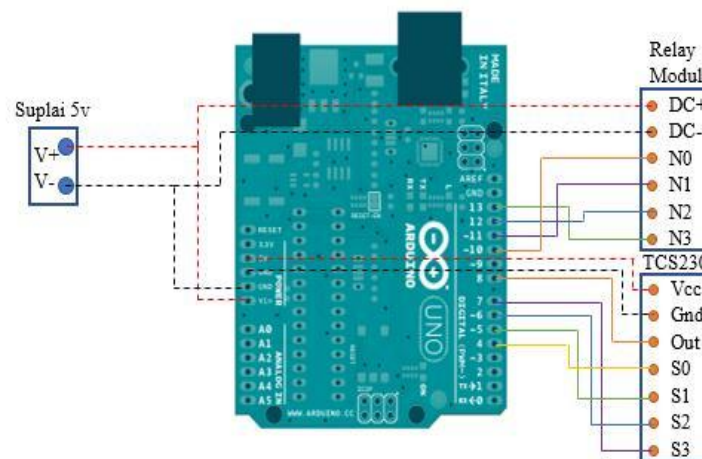
dipasangkan suatu bantalan sebagai penekan *limit switch*. *Limit switch* dihubungkan dengan tegangan positif suplai 24 V dan *pin input* PLC.

5. *Relay* digunakan sebagai pengatur arah arus motor DC seperti *driver*, digunakan 2 buah *relay* yang saling terhubung dengan motor DC. Kumparan *relay* dihubungkan dengan *ground* tegangan suplai dan *pin output* PLC.
6. Motor DC digunakan sebagai penggerak sumbu X dari sistem. Alas lengan robot terdiri 3 lapis: lapisan paling bawah adalah *gear* tetap yang besar, dilanjutkan dengan besi bundar, lalu di atasnya berupa kayu tebal yang menutupi $\frac{3}{4}$ besi bundar. Besi bundar diberi sebuah lubang yang berguna untuk motor. Motor DC dengan ujung mata *gear* dimasukkan kedalam lubang, sehingga ujung mata *gear* motor akan terhubung dengan *gear* alas.
7. *Valve* berfungsi sebagai pengontrol aliran udara dari kompresor. *Valve* pertama dihubungkan dengan pembalik aliran udara sehingga keluarannya akan menghisap. *Valve* kedua berfungsi untuk mengubah 2 kondisi lengan robot yaitu naik dan turun. *Valve* ketiga berfungsi untuk menggerakkan 2 pneumatik pengambil benda di awal. Solenoid *valve* dihubungkan ke *ground* tegangan suplai dan *pin output* PLC.

RANGKAIAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO

Rangkaian mikrokontroler Arduino Uno berfungsi untuk membaca frekuensi dan mengolah data yang berasal dari sensor warna, serta mengendalikan *relay* modul. Rangkaian skematik dari mikrokontroler Arduino Uno diperlihatkan pada Gambar 10 dengan konfigurasi *pin* sebagai berikut:

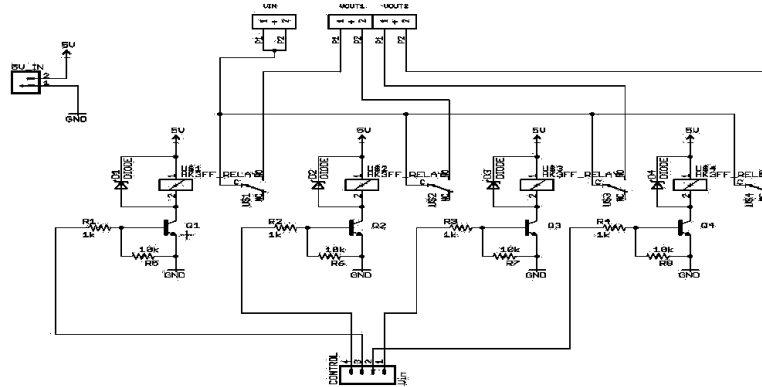
1. *Pin* Vin dihubungkan ke tegangan positif (+V) suplai DC 5v.
2. *Pin* Gnd 1 dihubungkan ke tegangan negatif (-V) suplai DC 5v.
3. *Pin* Gnd 2 dihubungkan ke ground pada TCS230.
4. *Pin* 5v dihubungkan ke Vcc pada TCS230.
5. *Pin* 4, 5, 6, dan 7 dihubungkan ke *pin* S0, S1, S2, dan S3 pada TCS230, bertipe *OUTPUT*.
6. *Pin* 8 dihubungkan ke *pin out* pada TCS230, bertipe *INPUT*.
7. *Pin* 10, 11, 12, dan 13 dihubungkan ke IN1, IN2, IN3, dan IN4 pada *relay* modul, bertipe *OUTPUT*.



Gambar 10. Skematik mikrokontroler Arduino Uno

RANGKAIAN RELAY MODUL

Rangkaian *relay* modul berfungsi sebagai media komunikasi/perantara antara mikrokontroler Arduino Uno dengan PLC. *Relay* modul memiliki masukan DC+ dan DC- yang berfungsi sebagai sumber tenaga untuk mengaktifkan kumparan *relay*. Masukan IN1, IN2, IN3, dan IN4 berfungsi sebagai kontrol untuk mengaktifkan *relay* bila diberikan tegangan positif 5V. *Pin* NC, COM, dan NO merupakan *pin* yang tersedia untuk tiap *relay*. Rangkaian skematik *relay* modul diperlihatkan pada Gambar 11.

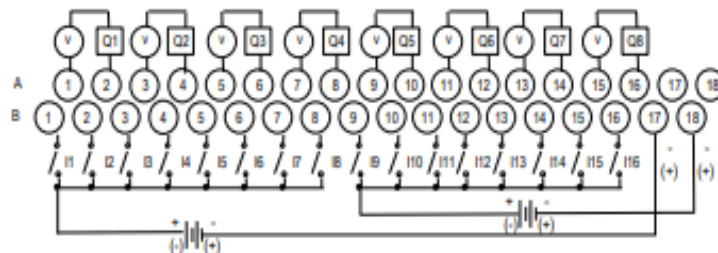


■ Gambar 11. Skematik relay modul

RANGKAIAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

Rangkaian PLC berfungsi sebagai kontroler utama dari sistem. Rangkaian *input/output* modul PLC diperlihatkan pada Gambar 12 dengan konfigurasi *pin* sebagai berikut:

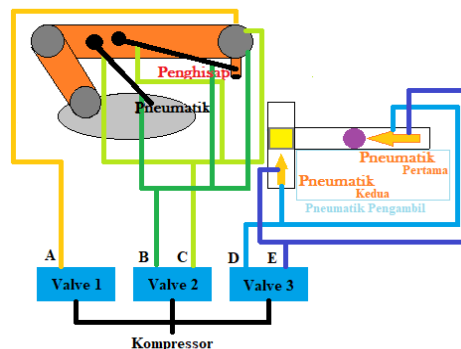
1. *Pin input* 1, 2, dan 3 dihubungkan ke *push button* dengan *pin push button* lainnya dihubungkan ke tegangan positif suplai 24V.
2. *Pin input* 4, 5, 6, dan 12 dihubungkan ke *pin NO* 1 sampai 4 pada relay modul yang COM-nya dihubungkan ke tegangan positif suplai 24V.
3. *Pin input* 7, 8, 9, 10, dan 11 dihubungkan ke NO dari *limit switch* sensor posisi yang COM-nya dihubungkan ke tegangan positif suplai 24V.
4. *Pin input* 17 dan 18 dihubungkan ke *ground* suplai 24V.
5. *Pin output* 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, dan 15 (angka ganjil) dihubungkan dengan tegangan positif suplai 24V.
6. *Pin output* 2, 4, 6, 8, dan 10 dihubungkan ke *port* kabel pada *solenoid valve*.
7. *Pin output* 12 dan 14 dihubungkan ke salah satu *pin* kumparan pada relay, dan *pin* kumparan lainnya dihubungkan ke *ground* suplai 24V.



■ Gambar 12. Rangkaian *input/output* modul PLC

RANGKAIAN ALIRAN UDARA PNEUMATIK

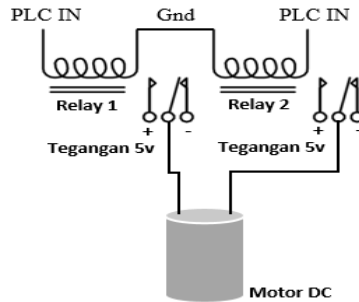
Rangkaian aliran udara pneumatik berfungsi sebagai pengontrol gerakan pneumatik oleh *valve*. *Valve* dapat mengubah aliran udara dengan mengaktifkan solenoid yang membutuhkan tegangan 24V. Rangkaian aliran udara pneumatik diperlihatkan pada Gambar 13.



■ Gambar 13. Rangkaian aliran udara pneumatik

RANGKAIAN MOTOR DRIVER DENGAN RELAY

Rangkaian motor *driver* berfungsi sebagai pengaman dan pengatur arah gerak untuk motor dc. Motor *driver* dirangkai menggunakan 2 buah *relay* yang memiliki kumparan dengan tegangan aktif 24V, karena *relay* akan diaktifkan/dikontrol menggunakan PLC. Rangkaian motor *driver* menggunakan 2 buah *relay* diperlihatkan seperti pada Gambar 14.



■ Gambar 14. Rangkaian motor *driver* dengan 2 buah *relay*

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

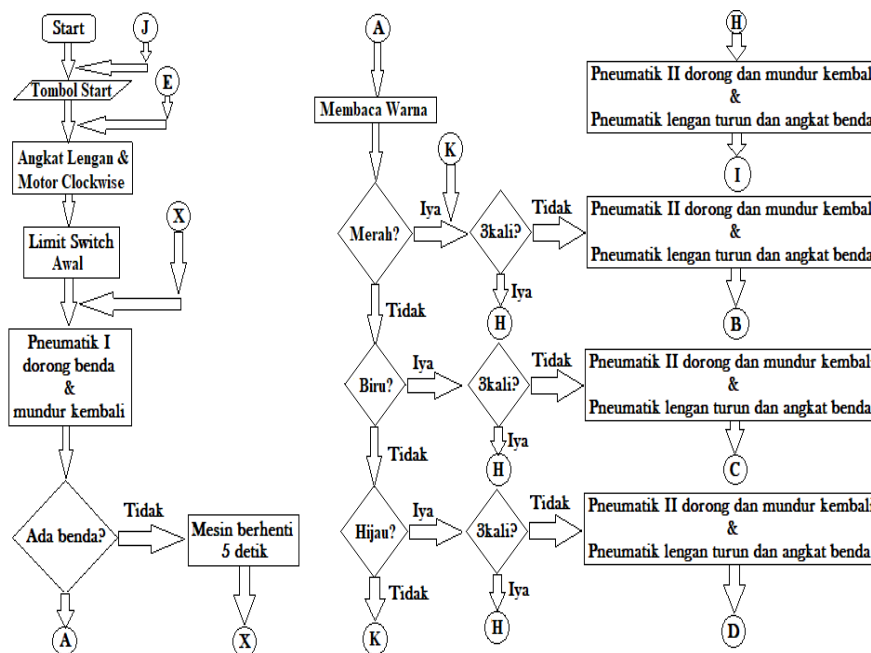
Perancangan perangkat lunak menggunakan 3 buah program berbeda yaitu untuk mikrokontroler Arduino Uno, PLC (Proficy), dan HMI (iFIX). Secara singkat, program PLC diperlihatkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 15.

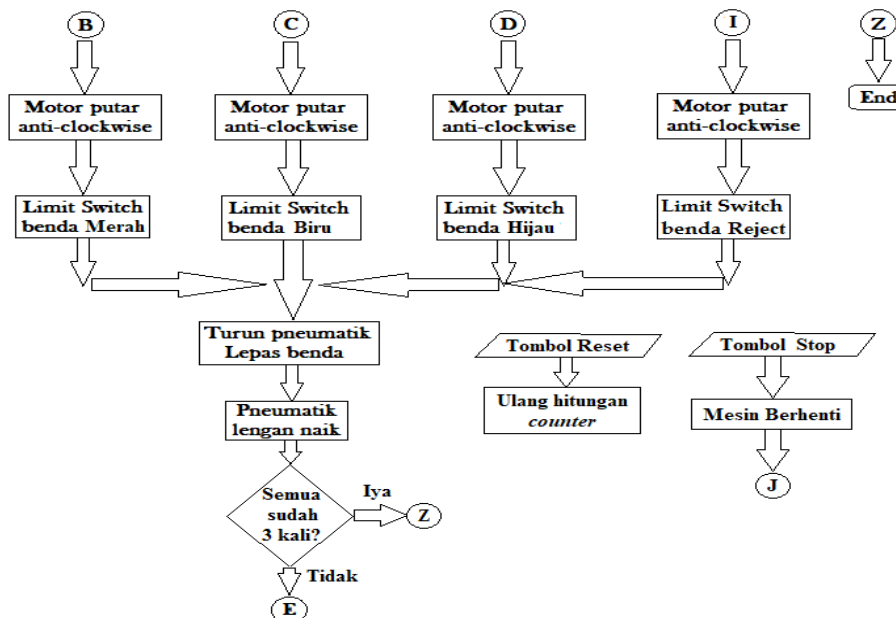
Program mikrokontroler Arduino Uno berawal dengan mengatur *output frekuensi scaling* yang berfungsi sebagai pengatur keluaran dari sensor warna. Setiap pembacaan salah satu warna, sensor perlu diberikan sinyal tertentu kemudian dibaca frekuensinya untuk setiap warna. Arduino Uno akan memberikan sinyal keluaran untuk mengaktifkan *relay* modul.

PERANCANGAN HUMAN MACHINE INTERFACE

Perancangan *Human Machine Interface* (HMI) menggunakan aplikasi iFIX. Jika aplikasi iFIX dan PLC sudah terhubung, langkah selanjutnya adalah membuat database untuk *input, output, memory, dan register*.

Pembuatan animasi HMI dengan aplikasi iFIX dilakukan pada *workspace* dan dapat memilih *object* sesuai keinginan. Setiap penggunaan HMI, operator harus selalu menghubungkan aplikasi iFIX dengan PLC. Operator harus membuka *database dan SCU*".





PENGUJIAN SENSOR WARNA

Pengujian sensor warna TCS230 bertujuan untuk memastikan *photodiode* pada sensor warna berfungsi dengan baik untuk warna merah, biru, hijau, dan clear. Hasil respon frekuensi dari sensor warna ditampilkan pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19.

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

R= 36	G= 120	B= 91	C= 22
R= 36	G= 120	B= 92	C= 23
R= 36	G= 121	B= 91	C= 23
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23
R= 35	G= 120	B= 91	C= 23
R= 36	G= 121	B= 92	C= 23
R= 36	G= 121	B= 91	C= 23
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23
R= 30	G= 114	B= 85	C= 22
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23
R= 36	G= 121	B= 92	C= 23
R= 36	G= 120	B= 90	C= 23
R= 36	G= 120	B= 91	C= 23

■ Gambar 16. Respon frekuensi warna merah

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

R= 126	G= 114	B= 42	C= 24
R= 130	G= 112	B= 41	C= 24
R= 121	G= 112	B= 41	C= 24
R= 125	G= 111	B= 41	C= 24
R= 126	G= 112	B= 41	C= 24
R= 126	G= 112	B= 42	C= 24
R= 125	G= 111	B= 41	C= 24
R= 126	G= 112	B= 41	C= 24
R= 120	G= 105	B= 35	C= 24
R= 125	G= 112	B= 41	C= 24
R= 127	G= 112	B= 41	C= 24
R= 126	G= 111	B= 41	C= 24
R= 125	G= 112	B= 41	C= 24
R= 119	G= 105	B= 41	C= 24
R= 126	G= 111	B= 42	C= 24
R= 125	G= 111	B= 41	C= 24

■ Gambar 17. Respon frekuensi warna biru

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

R= 128	G= 86	B= 99	C= 33
R= 126	G= 85	B= 97	C= 32
R= 126	G= 85	B= 96	C= 32
R= 124	G= 84	B= 96	C= 32
R= 125	G= 84	B= 97	C= 32
R= 125	G= 85	B= 90	C= 32
R= 124	G= 84	B= 96	C= 32
R= 124	G= 84	B= 96	C= 26
R= 125	G= 84	B= 97	C= 32
R= 125	G= 82	B= 97	C= 32
R= 124	G= 84	B= 96	C= 32
R= 119	G= 85	B= 96	C= 32
R= 125	G= 84	B= 96	C= 32
R= 123	G= 84	B= 96	C= 32
R= 125	G= 84	B= 97	C= 32
R= 125	G= 85	B= 96	C= 32

■ Gambar 18. Respon frekuensi warna hijau

COM3 (Arduino/Genuino Uno)

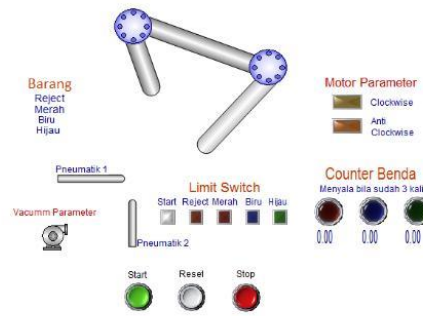
R= 107	G= 130	B= 107	C= 38
R= 103	G= 134	B= 109	C= 38
R= 101	G= 131	B= 107	C= 38
R= 109	G= 134	B= 109	C= 38
R= 107	G= 131	B= 107	C= 38
R= 109	G= 134	B= 109	C= 38
R= 101	G= 131	B= 107	C= 37
R= 109	G= 134	B= 109	C= 39
R= 107	G= 131	B= 107	C= 38
R= 108	G= 133	B= 109	C= 39
R= 107	G= 131	B= 107	C= 38
R= 108	G= 134	B= 109	C= 39
R= 108	G= 131	B= 107	C= 37
R= 108	G= 134	B= 109	C= 38
R= 108	G= 132	B= 107	C= 37
R= 107	G= 133	B= 109	C= 38

■ Gambar 19. Respon frekuensi warna clear

PENGUJIAN HUMAN MACHINE INTERFACE

Pengujian *human machine interface* (HMI) bertujuan untuk memastikan HMI berhasil terhubung dan mampu mengontrol serta memonitor sistem secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan HMI

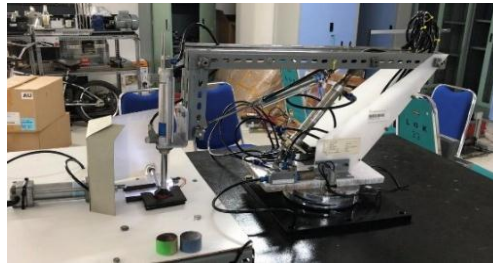
yang telah dibuat dengan PLC, membuka database HMI, dan SCU-nya. Tombol “switch to run” ditekan, maka animasi untuk kontrol dan monitor sudah dapat diuji. Tampilan HMI diperlihatkan pada Gambar 20.



■ **Gambar 20.** Tampilan animasi sistem alat pada HMI

PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk memastikan setiap modul bekerja dengan baik ketika digabungkan menjadi satu sistem. Pneumatik 1 dan pneumatik 2 akan menyala secara bergantian sampai sensor warna mendeteksi keberadaan benda. Setelah sensor mendeteksi benda dan warnanya, lengan robot akan turun untuk mengambil benda dan membawa benda ke posisi yang telah ditetapkan. Pengujian saat lengan robot mengambil benda diperlihatkan pada Gambar 21, dan saat lengan robot menempatkan benda pada posisinya diperlihatkan pada Gambar 22.



■ **Gambar 21.** Lengan robot mengambil benda



■ **Gambar 22.** Lengan robot menempatkan benda

PENGUJIAN BERAT BENDA

Pengujian berat benda bertujuan untuk menganalisis berapa berat maksimal benda yang mampu diangkat oleh lengan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa benda yang berbeda berat. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3.

■ **Tabel 3.** Pengujian berat benda pada sistem

Berat benda (gram)	Pengambilan benda	Penempatan benda
45	Berhasil	Berhasil
55	Berhasil	Berhasil
65	Berhasil	Berhasil
75	Berhasil	Sesekali berhasil

85	Berhasil	Gagal
----	----------	-------

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan sistem, realisasi sistem, dan pengujian sistem, lengan robot pemindah barang dengan bantuan *human machine interface* (HMI) dapat ditarik simpulan bahwa lengan robot dapat beroperasi mengambil dan menempatkan benda sesuai posisi peletakkan yang dirancang dengan berat benda maksimum 65 gram. Kerja dari sistem dapat dimonitor dan dikendalikan menggunakan HMI secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syam, R. 2015. Seri Buku Ajar Robotika: Kinematika dan Dinamika Robot Lengan. Makassar: Universitas Hassanuddin.
- [2] Sumbodo, W., Setiadi, R., dan Poedjiono, S. 2017. *Pneumatik & Hidrolik*. Yogyakarta: Deepublish
- Wildi, T. 2000. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Wildi, T. 2000. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. New Jersey: Prentice Hall
- [4] Chakraborty, K., De, P., and Roy, I. 2016. *Industrial Application of Programmable Logic Controllers and Scada*. Hamburg: Anchor Academic Publishing.
- [5] Nussey, J. 2013. *Arduino for Dummies*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- [6] Elektronika Dasar. 2013. Sensor warna TCS230. <http://elektronika-dasar.web.id/sensor-warna-tcs230/>. 9 Juli 2012.
- [7] Boyer, Stuart A. 2010. *SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition*. New York: International Society of Automation (ISA).