

Vertical Carousel Storage Obat Otomatis Menggunakan PLC

Irwanto Zarma Putra¹, Naufal Shadiq Maulana², Selvi Fitri Yani³, Muhammad Syafei Gozali⁴,
Widya Rika Puspita⁵

Politeknik Negeri Batam

Mechatronic Engineering Study Program

Jalan Ahmad Yani, Tlk. Tering, Kec. Batam Kota,

Kota Batam, Kepulauan Riau 29461, Indonesia

E-mail: irwanto@polibatam.ac.id

Abstrak

Mesin vertical carousel storage obat otomatis merupakan sebuah pengembangan dari gabungan sistem otomasi dengan sistem penyimpanan terutama penyimpanan obat. Mesin vertical carousel storage obat menggunakan sistem desain seperti wahana vertical carousel. Terdapat bin-bin penyimpan obat ditiap-tiap ayunan. Mesin ini dikendalikan oleh PLC yang menggerakkan motor servo. Motor servo sebagai penggerak lengan ayunan mesin sehingga mesin bisa memutar. Dalam proses pencarian obat, waktu yang diperlukan mesin dalam mencari obat dengan mengset 5 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 7,04 detik. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 6 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,93 detik dan tidak terdapat guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 7 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,28 detik dan tidak terdapat guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 8 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,15 detik.

Kata kunci: Vertical Carousel Storage, PLC, Yaskawa, Motor Servo

Abstract

Automatic vertical carousel storage machine is a development of a combination of automation systems with storage systems, especially medicine storage. The vertical carousel storage machine uses a design system similar to that of a vertical carousel vehicle. There are medicine storage bins in each swing. This machine is controlled by a PLC which drives a servo motor. Servo motor as the driving arm of the machine swing so that the machine can rotate. In the medicine search process, the time needed for the machine to search for drugs by setting 5 Rpm on the pulley driven, the average time for the machine to find medicine is 7.04 seconds. Testing the time to find the drug by setting 6 Rpm on the pulley driven, the average time for the machine to find the medicine is 5.93 seconds and there is no shaking in the bin. Testing the time to find the medicine by setting 7 Rpm on the pulley driven, the average time for the machine to find the medicine is 5.28 seconds and there is no shaking on the bin. Testing the time to find the drug by setting 8 Rpm on the pulley driven, the average time for the machine to find the medicine is 5.15 seconds.

Keywords: Vertical Carousel Storage, PLC, Yaskawa, Medicine, Motor Servo

1. Pendahuluan

Pada era sekarang ini, terutama pada sektor farmasi dituntut agar bisa menyediakan kebutuhan medis seperti obat. Terlebih lagi di masa sekarang obat-obatan sudah berbagai macam untuk segala macam penyakit. Obat-obatan ini perlu sistem penyimpanan yang otomatis dan cepat untuk memudahkan para apoteker tidak kesulitan ketika hendak mencari jenis obat-obatan tertentu.

Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sistem

penyimpanan otomasi. Dimana pengertian teknologi otomasi dapat diartikan sebagai penggunaan sistem pengatur yang mampu menggerakkan suatu mekanik secara mandiri tanpa sentuhan tangan manusia. Sistem penyimpanan otomasi ini diharapkan dapat memudahkan para apoteker dalam mencari dan menyimpan obat-obatan dengan penyimpanan yang akurat serta tidak memerlukan ruang yang besar.

Mesin ini bernama *vertical carousel storage*, kelebihan alat ini akan secara otomatis mencari bin

tempat penyimpanan obat, dengan cara memasukkan kata kunci obat ataupun kode barcode obat yang ingin dicari kemudian mesin akan mencari bin obat yang diinginkan. Dengan desain seperti bianglala, hal ini menjadikan mesin ini tidak membutuhkan tempat yang besar.

Alat ini menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai pengontrol, *servomotor* sebagai penggerak ayunan yang berisi bin-bin pada mesin dan motor DC sebagai pembuka dan penutup pintu mesin. PLC akan menerima perintah dari *Human Machine Interface* (HMI), PLC akan membandingkan data alamat yang berupa bin dan ayunan yang dituju dengan posisi terkini. Pada mesin terdapat sensor *photoelectric* yang berfungsi sebagai safety.

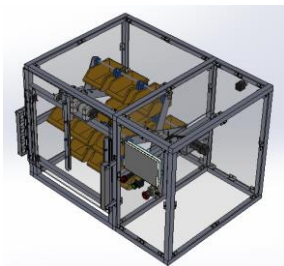
2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Sistem Mekanik

Hal dasar dalam merancang mekanik penelitian ini adalah bagaimana plant bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan proyek. Rancangan desain dibuat agar alat *vertical carousel storage* dapat berputar dan menyimpan obat sesuai tujuan.

2.1.1. Model Sistem

Model sistem mekanik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 Hal dasar dalam merancang mekanik penelitian ini adalah bagaimana plant bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan proyek. Rancangan desain dibuat agar alat *vertical carousel storage* dapat berputar dan menyimpan obat sesuai tujuan.



Gambar 1. Model *vertical carousel storage* tampak 3 dimensi

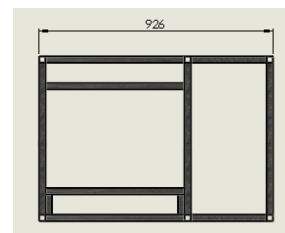
Penjelasan mengenai mekanik berdasarkan gambar diatas yang ditunjukkan pada Gambar 1. Motor servo

sebagai penggerak utama dimana tugasnya memutar ayunan, motor servo dipasangkan dengan dua buah pulley yang berukuran diameter 30.6 mm dan 62.1 mm dengan pitch 5mm. pulley tersebut dipakai untuk menambah torsi agar motor servo bisa memutar beban.

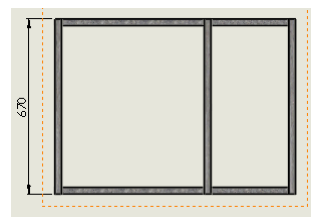
Untuk lengan ayunan menggunakan plat carbon steel dengan ketebalan 4 mm dipasang menyilang. Lalu dipasang shaft pada ujung lengan berdiameter 10 mm dengan panjang 476 mm untuk menggantung bin.

Pada mesin ini terdiri dari dua belas bin dengan tiga masing-masing pada tiap ayunan. Untuk pintu pada mesin ini menggunakan mekanik rack dan pinion gear yang dipasangkan pada motor DC PG-45 dan pada sisi kiri dan kanan pintu juga menggunakan slider agar melancarkan pintu untuk bergerak.

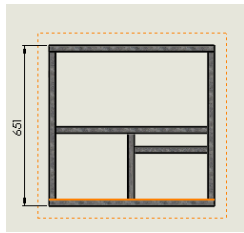
Untuk *enclosure* atau bingkai dari mesin ini menggunakan besi hollow 1 in x 1 in kemudian terdapat penutup pada tiap sisi mesin yang menggunakan akrilik bening. Untuk dimensi pada mesin *vertical carousel storage* obat otomatis bisa dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Gambar tampak depan



Gambar 3. Gambar tampak atas



Gambar 4. Gambar tampak samping

2.1.2. Perhitungan Beban Berat

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui total beban yang akan diputar servomotor. Beban berat ini meliputi berat obat, berat bin atau bin, berat shaft utama, berat shaft penompang bin dan plat lengan ayunan.

2.1.2.1. Berat Obat

Tabel 1. Hasil timbangan sampel obat

Obat	Berat (gram)	Berat dalam 1 bin (x10)
Obat 1	6	60
Obat 2	6	60
Obat 3	5	50
Obat 4	4	40
Obat 5	4	40
Obat 6	3	30
Obat 7	4	40
Obat 8	8	80
Obat 9	4	40
Obat 10	5	50
Obat 1	5	50
Obat 1	5	50
Total		590

Perhitungan ini mengambil dua belas sampel obat tablet. Berat obat yang ditimbang dikalikan dengan sepuluh sesuai jumlah total maksimal obat pada tiap bin. Untuk berat total yaitu 590 g atau 0.59 Kg.

2.1.2.2. Berat Shaft

Diketahui diameter shaft utama yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 mm dengan panjang 625 mm atau 0.625 m dan berbahan stainless steel. Dan diketahui juga diameter shaft penompang bin yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 mm dengan panjang 476 mm atau 0.476 m dan berbahan stainless steel. Dengan menggunakan rumus dibawah, sehingga untuk menghitung berat shaft utama dengan diameter 10 mm dan panjang 0.625 m adalah:

$$\frac{D^2 \times \text{Panjang shaft}}{162} \dots\dots\dots 1$$

$$\frac{10^2 \times 0.625}{162} = 0.38 \text{ Kg}$$

Sedangkan untuk berat shaft penompang bin dengan diameter 10 mm dan panjang 0.476 m adalah:

$$\frac{10^2 \times 0.476}{162} = 0.29 \text{ Kg}$$

Sehingga berat shaft utama adalah 0.38 Kg dan berat shaft penompang bin adalah 0.29 Kg, terdapat empat buah shaft penompang bin maka berat totalnya adalah 1.16 Kg.

2.1.2.3. Plat Lengan Ayunan

Diketahui pada penelitian ini menggunakan 4 buah plat berdimensi panjang 400 mm dan lebar 50 mm dengan ketebalan 4 mm dan berbahan carbon steel yang memiliki massa jenis sebesar g/cm kubik.

Dengan menggunakan rumus dibawah, sehingga berat plat yang digunakan adalah:

$$\frac{(\text{Lebar (mm)} \times \text{Tinggi (mm)}) \times \text{Panjang (m)} \times \text{Massa Jenis} (\frac{g}{cm^3})}{1000}$$

$$\frac{(50 \times 6) \times 0.4 \times 8}{1000}$$

$$0.64 \times 4 = 2.56 \text{ Kg}$$

Total berat plat yang digunakan pada penelitian ini adalah 2.56 Kg.

2.1.2.4. Beban Berat Total

Setelah mengetahui berat obat, berat bin, berat shaft dan berat lengan ayunan berat total dapat dihitung. Sehingga berat total adalah:

$$0.59 \text{ Kg} + 1.296 \text{ Kg} + 0.38 \text{ Kg} + 1.16 \text{ Kg} + 2.56 \text{ Kg} = 5.986 \text{ Kg}$$

2.1.3. Perhitungan Pulley dan Belt

Perhitungan-perhitungan ini dilakukan agar mengetahui apakah tipe motor servo yang digunakan (Yaskawa SGMJV-01A3A21) cocok digunakan untuk melakukan penelitian ini.

Adapun parameter-parameter yang sudah diketahui antara lain:

1. Diameter drive pulley (D_1) = 30.6 mm / 0.0306 m
2. Jari-jari drive pulley (r_1) = 15.3 mm /

0.0153 m

3. Diameter *driven pulley* (D_2) = 62. mm /

0.0621 m

4. Jari-jari *driven pulley* (r_2) = 31.05 mm /
0.03105 m

5. Jarak antara titik tengah *pulley* (x) = 124.6
mm / 0.1246 m

6. Torsi motor (T) = 0.318 Nm

7. Beban (m) = 5.986 Kg

8. Kecepatan yang akan dicapai (N_1) = 10
Rpm

2.1.3.1. Kecepatan Pada Pulley Drive

Diketahui kecepatan yang ingin dicapai pada roda *pulley driven* adalah 10 Rpm, untuk mencari kecepatan pada roda *pulley drive* dapat menggunakan rumus dibawah yaitu.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} \dots\dots\dots 2$$

$$N_1 = \frac{10 \times 0.0621}{0.0306}$$

$$N_1 = 20.29 \text{ Rpm}$$

2.1.3.2. Daya Motor yang Dihasilkan

Daya motor adalah salah satu parameter penting motor dalam menentukan performa motor. Pengertian daya adalah besarnya kerja motor kurun waktu tertentu. Satuan yang digunakan adalah *watt*.

Untuk menghitung daya motor dapat menggunakan rumus dibawah.

$$P = \frac{(T \times N)}{975} \dots\dots\dots 3$$

$$P = \frac{0.318 \times 20.29}{975}$$

$$P = 0.0066 \text{ Kw /6.6 watt}$$

Daya yang dihasilkan dengan kecepatan 20.29 Rpm adalah 0.0066 *kilowatt* atau 6.6 *watt*.

2.1.3.3. Sudut Kontak

Untuk menghitung sudut kontak dapat dilakukan sebagai berikut menggunakan rumus dibawah

$$\sin \alpha = \frac{r_1 - r_2}{x} \dots\dots\dots 4$$

$$\sin \alpha = \frac{0.0153 - 0.03105}{0.1246} = 0.126$$

$$\sin \alpha = 0.126$$

$$\alpha = 7.2^\circ$$

Setelah mendapat nilai α kemudian untuk mencari sudut kontak bisa menggunakan rumus dibawah.

$$\theta = (180^\circ \times 2\alpha) \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

$$\theta = (180 - (2 \times 7.2)) \frac{\pi}{180} = 2.9 \text{ rad}$$

2.1.3.4. Kecepatan Linear

Untuk mendapatkan nilai kecepatan linear sabuk dapat menggunakan rumus dibawah.

$$V = \frac{\pi \times d \times N}{60} \dots\dots\dots 5$$

$$V_p = \frac{\pi \times 0.0306 \times 20.29}{60}$$

$$V_p = 0.032 \text{ m/s}$$

2.1.3.5. Tegangan Sabuk

Untuk mendapatkan nilai tegangan sabuk dapat dilakukan dengan persamaan 7 Diketahui koefisien gesek (μ) adalah 0.3. dimana bahan sabuk yang digunakan pada penelitian ini adalah karet dan bahan untuk *pulley* adalah *cast iron steel dry*.

$$2.3 \log \frac{T_1}{T_2} = \mu \cdot \theta \dots\dots\dots 6$$

$$2.3 \log \frac{T_1}{T_2} = 0.3 \times 2.9$$

$$2.3 \log \frac{T_1}{T_2} = 0.87$$

$$\log \frac{T_1}{T_2} = \frac{0.87}{2.3} = 0.378$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 2.387$$

$$T_2 = \frac{T_1}{2.387}$$

Mencari persamaan kedua:

$$P = (T_1 - T_2) \times V_p \dots\dots\dots 7$$

$$6.6 = (T_1 - T_2) \times 0.032$$

$$(T_1 - T_2) = \frac{6.6}{0.032}$$

$$(T_1 - T_2) = 206.25$$

Setelah mendapatkan persamaan pertama besarnya tegangan sisi kancang dan kendor dapat dicari dengan

mensubstitusikan dengan persamaan kedua.

$$T_1 - \left(\frac{T_1}{2.387}\right) = 206.25 \quad \dots\dots\dots 8$$

$$T_1 - T_1 = 206.25 \times 2.387$$

$$T_1 = 492.3 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{492.3}{2.387} = 206.2 \text{ N}$$

2.1.3.6. Daya yang Ditrasmisi

Dengan menggunakan rumus dibawah dapat dicari daya yang ditransmisikan yaitu.

$$P = (T_1 - T_2) \times V \quad \dots\dots\dots 9$$

$$P = (492.3 - 206.2) \times 0.032$$

$$P = 9.15 \text{ w}$$

2.1.3.7. Torsi pada Pulley Driven

Untuk mencari nilai torsi pada *pulley driven* menggunakan rumus dibawah, maka nilai torsi pada *pulley driven* adalah.

$$T = (T_1 - T_2) \times r_2 \quad \dots\dots\dots 10$$

$$T = (492.3 - 206.2) \times 0.03105$$

$$T = 8.88 \text{ Nm}$$

2.1.3.8. Torsi Minimum yang Dibutuhkan

Torsi minimum yng diperlukan motor untuk memutar beban. Pertama yang diperlukan adalah mencari nilai gaya. Dapat dicari menggunakan rumus.

$$F = m \times g \quad \dots\dots\dots 11$$

$$F = 5.986 \times 10$$

$$F = 59.86 \text{ N}$$

Setelah mendapatkan nilai gaya (56) dilanjutkan menggunakan rumus torsi.

$$T = F \times r \quad \dots\dots\dots 12$$

$$T = 59.86 \times 0.03105$$

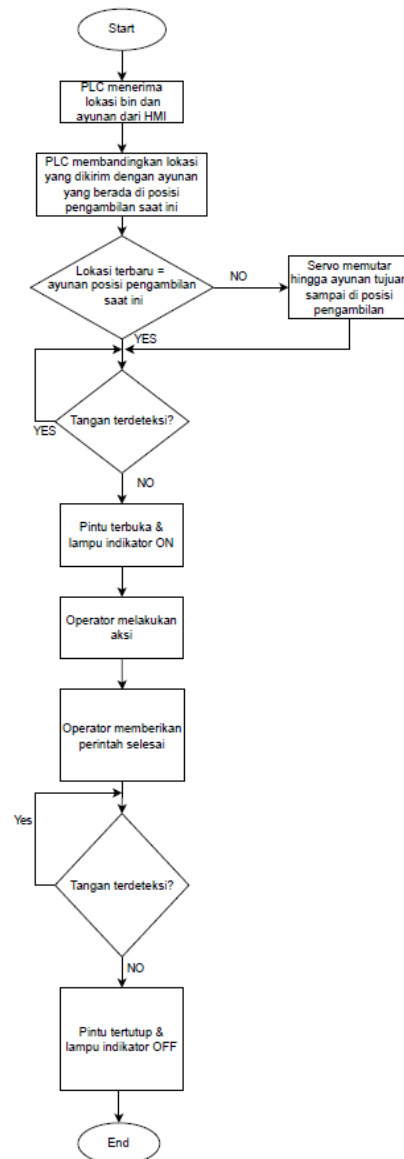
$$T = 1.85 \text{ Nm}$$

Kesimpulan yang bisa diambil adalah torsi motor yaitu 8.95 Nm lebih besar dari torsi minimum yang diperlukan yaitu 1.85 Nm sehingga motor Yaskawa yang digunakan dapat digunakan untuk melakukan penelitian.

$$1.86 \text{ Nm} < 8.95 \text{ Nm}$$

2.2. Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Berikut adalah flowchart dari *plant* yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart perancangan plant

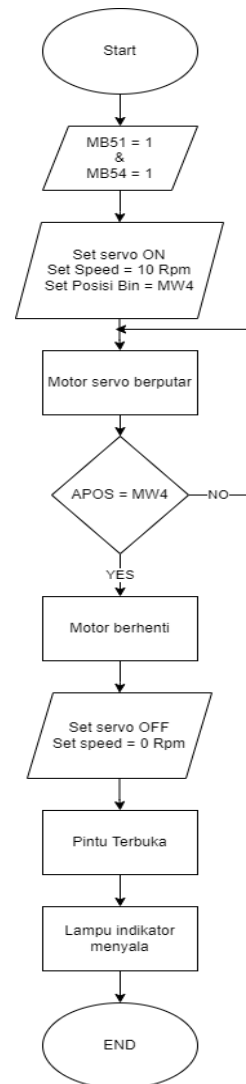
Penjelasan dari flowchart pada Gambar 5. Yang pertama ialah HMI akan mengirim data berupa lokasi *bin* dan ayunan yang dituju. PLC akan membandingkan alamat yang dituju dengan ayunan yang berada di posisi pengambilan saat ini.

Jika alamat *bin* yang dituju berada di ayunan yang

berada di posisi pengambilan sensor *photoelectric* akan mendeteksi terlebih dahulu apakah ada tangan yang terdeteksi di dekat pintu, jika terdeteksi maka pintu tidak akan terbuka sampai tangan tidak terdeteksi di dekat pintu. Apabila alamat *bin* yang dituju bukan pada ayunan yang berada di posisi pengambilan, PLC akan men- *command* terlebih dahulu motor *servo* untuk berputar hingga ayunan dan *bin* yang dituju berada di posisi pengambilan. Saat ayunan dan *bin* yang dituju berada di posisi pengambilan sensor akan mendeteksi terlebih dahulu apakah ada tangan berada dekat pintu. Pintu tidak akan terbuka jika ada tangan berada dekat pintu. Apabila tidak ada tangan yang terdeteksi berada dekat pintu, pintu akan terbuka dan lampu indikator akan menunjukkan *bin* yang diinginkan.

Untuk menutup kembali pintu, operator menekan tombol selesai pada HMI. Kemudian sensor *photoelectric* akan mendeteksi terlebih dahulu apakah ada tangan berada dekat pintu, jika sensor mendeteksi tangan pintu tidak akan tertutup. Apabila tidak ada tangan terdeteksi maka pintu akan tertutup dan lampu indikator akan mati.

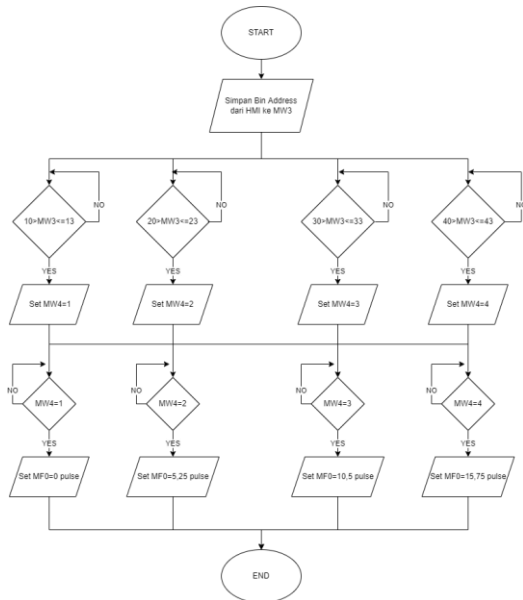
Adapun flowchart program PLC bisa dilihat Gambar 6 dibawah. Penjelasan mengenai flowchart program PLC yaitu dimulai dengan operator menekan tombol pencarian *bin*, HMI akan mengirim perintah *input* untuk menghidupkan *memory bit* 51 (MB51) dan *memory bit* 54 (MB54) yang dimana merupakan alamat pada PLC Yaskawa yang bertipe bit. Kemudian untuk memutar *servo* ada nilai yang akan diinputkan yaitu kecepatan *servo* dan data dari posisi *bin* yang terletak di *memory word* 4 (MW4) yang dimana merupakan *memory PLC* bertipe *word*. Untuk inputan data pada MW4 bisa dilihat pada Gambar 7. Setelah data yang diperlukan sudah terpenuhi maka motor *servo* akan mencari *bin* yang dituju. Ketika nilai APOS sama dengan nilai pada MW4 maka *servo* akan diset *off* dan kecepatan motor diset nol. APOS adalah nilai *feedback* posisi dari motor *servo*. Lalu pintu akan terbuka dan lampu indikator akan menyala.



Gambar 6. Flowchart program PLC

Untuk flowchart set posisi pada program PLC Yaskawa bisa dilihat pada Gambar 7 dibawah. Dimana yang pertama HMI akan memberikan alamat *bin* ke PLC, alamat tersebut akan disimpan di MW3. Kemudian alamat tadi akan disortir sesuai dengan ayunannya. Untuk ayunan satu memiliki kondisi dimana nilai MW3 harus ($10 < MW3 \leq 13$), untuk ayunan dua memiliki kondisi dimana nilai MW3 harus ($20 < MW3 \leq 23$), sedangkan untuk ayunan tiga memiliki kondisi nilai MW3 ($30 < MW3 \leq 33$) dan untuk ayuna empat memiliki kondisi nilai MW3 berisi ($40 < MW3 \leq 43$). Setelah disortir maka masing-masing akan mengset nilai ke MW4. Untuk ayunan satu akan diset nilai MW4=1, ayunan dua akan diset nilai MW4=2, ayunan tiga akan diset nilai MW4=3 dan ayunan empat akan diset nilai MW4=4.

Setelah itu nilai MW4 akan disaring untuk mengset nilai *pulse* posisi pada servo. Jika MW4=1 maka nilai *pulse* akan diset 0 pada *memory float* 0 (MF), jika MW4=2 maka nilai *pulse* akan diset 5,25 pada MF0, jika MW4=3 maka nilai *pulse* akan diset 10,5 pada MF0 dan jika MW4=4 maka nilai *pulse* akan diset 15,75 pada MF0.

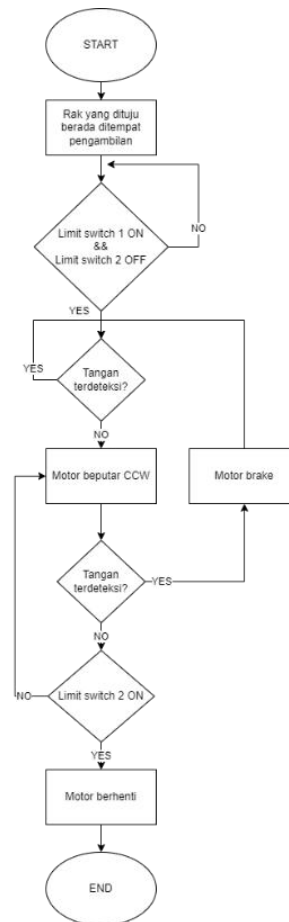


Gambar 7. Flowchart set posisi servo

Penjelasan flowchart perancangan membuka pintu pada Gambar 8. Perancangan ini dibuat untuk mengetahui bagaimana motor DC berputar agar bisa membuka pintu. Ada beberapa kondisi yang harus diperiksa oleh PLC untuk membuka pintu. Yang pertama adalah *bin* yang dituju berada ataupun sudah di posisi pengambilan.

Selanjutnya PLC akan memeriksa kondisi dari sensor *limit switch*, apakah *limit switch* 1 bernilai *high* dan *limit switch* 2 bernilai *low*. Jika kedua kondisi dari *limit switch* tersebut terpenuhi lanjut ke kondisi berikutnya, apabila kondisi *limit switch* belum terpenuhi maka tidak bisa melanjutkan ke pemeriksaan kondisi berikutnya sampai kondisi dari *limit switch* terpenuhi.

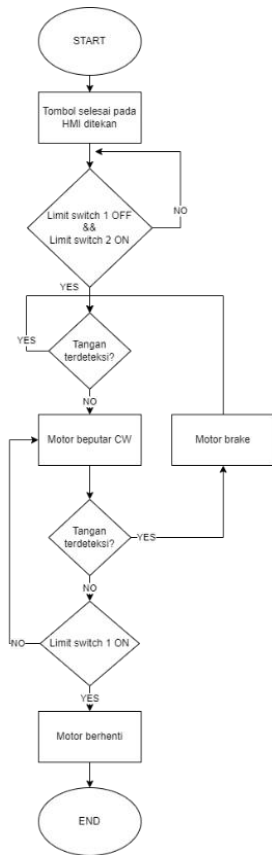
Setelah memeriksa kondisi dari *limit switch*, PLC akan memeriksa kondisi dari sensor *photoelectric*. Sensor



Gambar 8. Flowchart perancangan membuka pintu mesin

photoelectric berfungsi sebagai *safety*. Apabila sensor *photoelectric* mendeteksi tangan berada didekat pintu maka motor DC tidak akan berputar. Jika sensor tidak mendeteksi adanya tangan didekat pintu, maka bisa melanjutkan proses.

Setelah memeriksa kondisi-kondisi tersebut terpenuhi. PLC akan men- *command* motor DC untuk berputar CCW untuk membuka pintu. Jika disaat motor DC sedang berputar sensor *photoelectric* mendeteksi ada tangan didekat pintu, motor DC akan berhenti dan akan lanjut lagi ketika *photoelectric* tidak mendeteksi tangan. Kemudian apabila bagian sebelah atas pintu menghidupkan *limit switch* 2, motor akan berhenti yang berarti pintu sudah terbuka keseluruhan dan obat bisa diambil.



Gambar 9. Flowchart perancangan menutup pintu

Penjelasan flowchart perancangan menutup pintu pada Gambar 9. Perancangan ini dibuat untuk mengetahui bagaimana motor DC berputar agar bisa menutup pintu dimana operator sudah mengambil obat ataupun meletakkan obat. Ada beberapa kondisi yang harus diperiksa oleh PLC untuk menutup pintu. Yang pertama adalah operator menekan tombol tutup pada HMI.

Kemudian PLC akan memeriksa kondisi dari sensor *limit switch*, apakah *limit switch 1* bernilai *low* dan *limit switch 2* bernilai *high*. Jika kedua kondisi *limit switch* tersebut sesuai kondisi maka lanjut ke proses selanjutnya. Apabila belum PLC akan memeriksa kembali.

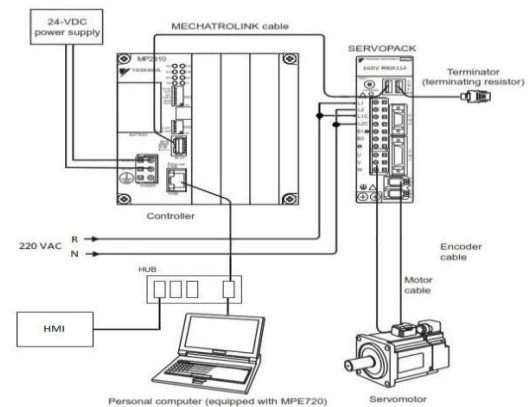
Selanjutnya PLC memeriksa kondisi dari kondisi dari sensor *photoelectric*. Apabila sensor mendeteksi adanya tangan di dekat pintu maka motor tidak akan berputar. Setelah memeriksa kondisi-kondisi tersebut terpenuhi. PLC akan men- *command* motor DC untuk berputar CW untuk menutup pintu.

Disaat motor DC sedang berputar dan sensor *photoelectric* mendeteksi ada tangan didekat pintu,

motor DC akan berhenti dan akan lanjut lagi ketika *photoelectric* tidak mendeteksi tangan. Apabila bagian sebelah bawah pintu menghidupkan *limit switch 1* maka motor akan berhenti berputar yang artinya pintu tertutup sepenuhnya.

2.3. Perancangan Sistem Elektronika


Untuk *wiring layout* antara PLC, *servopack* dan *servomotor* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Wiring layout model

PLC membutuhkan tegangan kerja 24 VDC dan *servopack* membutuhkan tegangan 220 VAC untuk bekerja. Kemudian komunikasi antara PLC, PC dan HMI menggunakan kabel *ethernet* yang menggunakan *modbus protocol*. Untuk komunikasi antara PLC Yaskawa dengan *servopack* menggunakan kabel komunikasi *mechatrolink*. Untuk spesifikasi pin kabel *mechatrolink* bisa dilihat pada Gambar 11.

Name	Connector Name	No. of Pins	Connector Model		
			Module	Cable	Manufacturer
MECHATROLINK Connector	M-III	4	1903814-1	2040305-1	Tyco Electronics Japan G.K.



No.	Signal Name	Description
1	(NC)	Not used
2	/DATA	Signal -
3	DATA	Signal +
4	SH	Not used
Shell	Shield	Connect a shielded wire.

Gambar 11. Spesifikasi pinout kabel mechatrolink

Untuk menutup komunikasi *mechatrolink* membutuhkan *end terminator* yang dipasang pada *port mechatrolink* yang tidak digunakan.

2.3.1. Perancangan Wiring Input dan Output PLC

Untuk *module I/O* Yaskawa tipe yang dipakai yaitu JAPMC-PL2310-E menggunakan tipe *sink mode* dimana 24 VDC digunakan sebagai *common* yang

masuk ke PLC. Tipe *module IO* ini tidak memakai *terminal block* untuk *input* dan *output* melainkan menggunakan *port* khusus sebagai *input output*. Sehingga membutuhkan kabel khusus pula yang telah disediakan Yaskawa yaitu kabel tipe JEPMC-W2061-A5.

Dalam penelitian ini, yang sebagai *input* yaitu dua buah *limit switch* yang berfungsi sebagai sensor untuk motor pembuka pintu. Kemudian ada kontak NO relay yang berfungsi sebagai *input* sensor *photoelectric*. Keluaran data sensor *photoelectric* bernilai 1 atau high jika mendeteksi sesuatu, maka untuk menghubungkan ke IO module PLC menggunakan relay. Keluaran data sensor *photoelectric* dihubungkan ke *coil relay* agar saat data sensor bernilai *high* maka akan menghidupkan *coil relay* yang kemudian kontak NO pada *relay* tersebut terhubung dan menghubungkan 0 volt ke IO module. Sensor *photoelectric* ini digunakan sebagai sensor *safety*.

Untuk *output* sendiri yaitu empat buah *pilot lamp* yang berfungsi sebagai indikator *bin* obat yang dituju. Kemudian 2 *output* yang mengaktifkan *relay* sebagai kontrol arah putar motor pembuka penutup pintu.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Waktu dalam Mencari Obat

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan waktu yang efisien untuk mesin *carousel storage* obat tanpa adanya masalah pada mekanik mesin. Dengan melakukan pengujian semua perpindahan sudut dari 90°, 180°, dan 270° yang dimana akan diuji dengan lima sampel kecepatan motor. Dari pengujian tersebut bisa didapatkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan semua perpindahan sudut pada motor *servo*. Pengambilan data waktu dalam mencari obat dilakukan dengan menggunakan *stopwatch*. Berikut Gambar 12, hasil pengujian waktu dengan perpindahan sudut 90° dan kecepatan lima Rpm pada *Pulley driven* atau kecepatan N2.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	2	5	90	Tidak Tergoncang	4,02
2	1	5	90	Tidak Tergoncang	3,61
2	3	5	90	Tidak Tergoncang	3,77
3	2	5	90	Tidak Tergoncang	3,85
3	4	5	90	Tidak Tergoncang	4
4	3	5	90	Tidak Tergoncang	3,76
Rata-rata					3,84

Gambar 12. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 90° kecepatan 5 Rpm

Bisa dilihat pada Gambar 12, rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan semua perpindahan 90° adalah 3,84 detik. Pada saat melakukan perpindahan kondisi ayunan tidak mengalami guncangan sehingga obat yang disimpan aman. Kemudian untuk pergerakan 180° dan 270° dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	3	5	180	Tidak Tergoncang	6,93
2	4	5	180	Tidak Tergoncang	7,17
3	1	5	180	Tidak Tergoncang	7,42
4	2	5	180	Tidak Tergoncang	7,17
Rata-rata					7,17

Gambar 13. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 180° kecepatan 5 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	4	5	270	Tidak Tergoncang	10,24
4	1	5	270	Tidak Tergoncang	9,99
Rata-rata					10,12

Gambar 14. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 270° kecepatan 5 Rpm

Pada Gambar 13, besaran rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan semua perpindahan sudut 180° adalah 7,17 detik dengan kondisi ayunan tidak mengalami guncangan. Untuk perpindahan sudut 270°, rata-rata waktu yang diperlukan adalah 10,12 detik seperti pada Gambar 14. Kondisi ayunan tidak mengalami guncangan. Dari ketiga rata-rata tersebut dapat dirata-ratakan kembali untuk mengetahui rata-rata untuk semua perpindahan sudut.

Tabel 2. Rata-rata waktu pada kecepatan 5 Rpm

Rata-rata untuk 90°	3,84 detik
Rata-rata untuk 180°	7,17 detik
Rata-rata untuk 270°	10,12 detik
Rata-rata	7,04 detik

Untuk melakukan semua pergerakan *bin* dengan kecepatan lima Rpm membutuhkan waktu rata-rata adalah 7,04 detik dengan kondisi bin tanpa mengalami guncangan. Untuk melihat hasil pengujian waktu dengan kecepatan *pulley driven* enam Rpm dapat dilihat pada Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	2	6	90	Tidak Tergoncang	3,12
2	1	6	90	Tidak Tergoncang	3,24
2	3	6	90	Tidak Tergoncang	3,34
3	2	6	90	Tidak Tergoncang	3,41
3	4	6	90	Tidak Tergoncang	3,16
4	3	6	90	Tidak Tergoncang	3,22
Rata-rata					3,25

Gambar 15. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 90° kecepatan 6 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	3	6	180	Tidak Tergoncang	5,99
2	4	6	180	Tidak Tergoncang	6,04
3	1	6	180	Tidak Tergoncang	6,15
4	2	6	180	Tidak Tergoncang	5,66
Rata-rata					5,96

Gambar 16. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 180° kecepatan 6 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	4	6	270	Tidak Tergoncang	8,76
4	1	6	270	Tidak Tergoncang	8,37
Rata-rata					8,57

Gambar 17. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 270° kecepatan 6 Rpm

Dari ketiga tabel diatas, bahwa rata-rata waktu yang diperlukan pergerakan 90° dengan kecepatan 6 Rpm pada *pulley driven* adalah 3,25 detik sedangkan untuk pergerakan 180° yaitu 5,96 detik dan untuk pergerakan

270° adalah 8,57 detik. Dari semua pergerakan tidak terjadi guncangan pada *bin*. Dari semua nilai rata-rata waktu tiap pergerakan kemudian dapat diketahui rata-rata waktu keseluruhan yang diperlukan untuk semua pergerakan yaitu 5,93 detik dapat dilihat pada Tabel 3. Rata-rata waktu pada kecepatan 6 Rpm dibawah.

Tabel 3. Rata-rata waktu pada kecepatan 6 Rpm

Rata-rata untuk 90	3,25
Rata-rata untuk 180	5,96
Rata-rata untuk 270	8,57
Rata-rata	5,93

Untuk melihat hasil pengujian waktu untuk semua pergerakan pada kecepatan tujuh Rpm bisa dilihat pada Gambar 18.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	2	7	90	Tidak Tergoncang	3,05
2	1	7	90	Tidak Tergoncang	3,36
2	3	7	90	Tidak Tergoncang	3,15
3	2	7	90	Tidak Tergoncang	3,09
3	4	7	90	Tidak Tergoncang	2,71
4	3	7	90	Tidak Tergoncang	3,09
Rata-rata					3,08

Gambar 18. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 90° kecepatan 7 Rpm

Bisa dilihat pada Gambar 18 diatas, rata-rata waktu yang diperlukan untuk pergerakan 90° dengan kecepatan 7 Rpm adalah 3,08 detik dan pada kecepatan 7 Rpm kondisi ayunan tanpa terjadi guncangan sehingga aman untuk obat yang tersimpan pada *bin*.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	3	7	180	Tidak Tergoncang	5,32
2	4	7	180	Tidak Tergoncang	5,17
3	1	7	180	Tidak Tergoncang	5,19
4	2	7	180	Tidak Tergoncang	4,96
Rata-rata					5,16

Gambar 19. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 180° kecepatan 7 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	4	7	270	Tidak Tergoncang	7,56
4	1	7	270	Tidak Tergoncang	7,65
Rata-rata					7,61

Gambar 20. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 270° kecepatan 7 Rpm

Pada Gambar 19 dan Gambar 20, untuk rata-rata waktu yang diperlukan mencari obat dengan pergerakan sudut 180° dengan kecepatan *pulley driven* 7 Rpm adalah 5,16 detik sedangkan untuk pergerakan 270° adalah 7,61 detik. Dengan menggunakan kecepatan 7 Rpm, kondisi ayunan tidak mengalami goncangan saat motor servo berputar. Dari nilai rata-rata waktu yang diperlukan pada Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20 dapat dicari nilai rata-rata keseluruhan waktu yang diperlukan untuk melakukan semua pergerakan yaitu 5,28 detik seperti pada Tabel 4 dibawah.

Tabel 4. Rata-rata waktu pada kecepatan 7 Rpm

Rata-rata untuk 90	3,08
Rata-rata untuk 180	5,16
Rata-rata untuk 270	7,61
Rata-rata	5,28

Untuk melihat hasil pengujian waktu yang diperlukan untuk mencari obat dengan kecepatan pada *pulley driven* 8 Rpm bisa dilihat pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	2	8	90	Tidak Tergoncang	3,21
2	1	8	90	Tergoncang	4,59
2	3	8	90	Tidak Tergoncang	3,05
3	2	8	90	Tidak Tergoncang	3,41
3	4	8	90	Tidak Tergoncang	2,98
4	3	8	90	Tidak Tergoncang	2,94
Rata-rata					3,39

Gambar 21. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 90° kecepatan 8 Rpm

Pada Gambar 21 diatas, rata-rata waktu yang diperlukan untuk pergerakan 90° dengan kecepatan 8 Rpm adalah 3,39 detik. Pada pergerakan dari ayunan dua ke ayunan satu kondisi ayunan mengalami goncangan yang dapat membuat obat tidak aman

karena dapat membuat obat jatuh dari *bin*. Hal ini juga membuat waktu yang diperlukan juga bertambah.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	3	8	180	Tidak Tergoncang	4,94
2	4	8	180	Tidak Tergoncang	5,4
3	1	8	180	Tidak Tergoncang	5,12
4	2	8	180	Tidak Tergoncang	4,87
Rata-rata					5,08

Gambar 22. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 180° kecepatan 8 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	4	8	270	Tidak Tergoncang	7,1
4	1	8	270	Tidak Tergoncang	6,86
Rata-rata					6,98

Gambar 23. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 270° kecepatan 8 Rpm

Hasil pada Gambar 22 dan Gambar 23 adalah rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan pergerakan 180° adalah 5,08 detik dan untuk melakukan pergerakan 270° memerlukan rata-rata waktu yaitu 6,98 detik. Dari kedua tabel diatas, kondisi ayunan tidak terjadi goncangan. Setelah mendapatkan nilai dari rata-rata tiap pergerakan dapat dicari nilai rata-rata keseluruhan waktu yang diperlukan untuk mencari obat pada kecepatan *pulley driven* 8 Rpm adalah 5,15 detik. Pada kecepatan 8 Rpm terdapat pergerakan yang menyebabkan goncangan pada *bin*.

Tabel 5. Rata-rata waktu pada kecepatan 8 Rpm

Rata-rata untuk 90	3,39
Rata-rata untuk 180	5,08
Rata-rata untuk 270	6,98
Rata-rata	5,15

Untuk melihat hasil pengujian dengan kecepatan *pulley driven* 9 Rpm dapat dilihat pada Gambar 24, Gambar 25 dan Gambar 26 dibawah.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	2	9	90	Tergoncang	3,81
2	1	9	90	Tidak tergoncang	3,04
2	3	9	90	Tergoncang	3,17
3	2	9	90	Tergoncang	4,16
3	4	9	90	Tidak tergoncang	3,23
4	3	9	90	Tidak tergoncang	2,84
Rata-rata					3,29

Gambar 24. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 90° kecepatan 9 Rpm

Pada Gambar 24 diatas, rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan pergerakan 90° adalah 3,29 detik. Pada pengujian juga terdapat goncangan pada ayunan mesin.

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	3	9	180	Tergoncang	6
2	4	9	180	Tidak Tergoncang	4,38
3	1	9	180	Tidak Tergoncang	5,03
4	2	9	180	Tidak Tergoncang	4,95
Rata-rata					5,09

Gambar 25. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 180° kecepatan 9 Rpm

Bin		Kecepatan N2 (Rpm)	Perpindahan Sudut	Kondisi Bin	Waktu (Detik)
Awal	Tujuan				
1	4	9	270	Tergoncang	7,84
4	1	9	270	Tidak Tergoncang	6,47
Rata-rata					7,16

Gambar 26. Hasil pengujian waktu sudut perpindahan 270° kecepatan 9 Rpm

Hasil pada Gambar 25 dan Gambar 26, rata-rata untuk melakukan pergerakan 180° pada kecepatan *pulley driven* 9 Rpm adalah 5,09 detik dan kondisi ayunan terdapat goncangan. Pada saat melakukan pergerakan 270°, rata-rata waktu yang diperlukan adalah 7,16 detik dan pada saat pergerakan terjadi goncangan. Untuk rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan keseluruhan pergerakan pada kecepatan *pulley driven* 9 Rpm adalah 5,18 detik dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah.

Tabel 6. Rata-rata waktu pada kecepatan 9 Rpm

Rata-rata untuk 90	3,29
--------------------	------

Rata-rata untuk 180	5,08
Rata-rata untuk 270	7,16
Rata-rata	5,18

3.2. Hasil Pengujian Lampu Indikator

Pengujian lampu ditujukan untuk mengetahui apakah lampu indikator sesuai dengan *bin* yang dituju. Pengujian ini mengambil dua belas *bin* yang ada pada mesin. Dari pengujian lampu untuk menghidupkan L1 adalah *bin* dengan alamat n.1, untuk menghidupkan lampu L2 adalah *bin* dengan alamat n.2 dan untuk menghidupkan lampu L3 adalah *bin* dengan alamat n.3. Hasil pengujian lampu sudah benar sesuai dengan *bin* yang dituju. Berikut hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 7

Tabel 7. Hasil pengujian lampu

Bin	Lampu Indikator			Keterangan
	L1	L2	L3	
1.1	1	0	0	Berhasil
1.2	0	1	0	Berhasil
1.3	0	0	1	Berhasil
2.1	1	0	0	Berhasil
2.2	0	1	0	Berhasil
2.3	0	0	1	Berhasil
3.1	1	0	0	Berhasil
3.2	0	1	0	Berhasil
3.3	0	0	1	Berhasil
4.1	1	0	0	Berhasil
4.2	0	1	0	Berhasil
4.3	0	0	1	Berhasil

3.3. Hasil Pengujian Pintu

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pintu sudah sesuai dengan perintah dan juga pintu berhenti ketika tangan terdeteksi oleh sensor *photoelectric*. Hasil dari pengujian ini yaitu sudah sesuai dengan perintah yang diberikan PLC. Motor akan berputar CCW untuk membuka dan CW untuk menutupi pintu. Pintu juga berhasil berhenti ketika ada sesuatu yang terdeteksi oleh sensor *photoelectric*. Untuk hasil pengujian pintu dapat dilihat pada Gambar 27.

Operasi	Limit Switch		Keterangan	Kondisi Pintu
	LS1	LS2		
Membuka	High	Low	Tangan Tidak Terdeteksi	CCW
Membuka	High	Low	Tangan Terdeteksi	Break
Menutup	Low	High	Tangan Tidak Terdeteksi	CW
Menutup	Low	High	Tangan Terdeteksi	Break

Gambar 27. Hasil pengujian pintu

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan pada mesin vertical carousel storage obat otomatis menggunakan PLC. Dapat disimpulkan Pada pengujian waktu dalam mencari obat dengan mengset 5 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 7,04 detik dan tidak terdapat guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 6 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,93 detik dan tidak terdapat guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 7 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,28 detik dan tidak terdapat guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 8 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,15 detik. Terdapat sekali guncangan pada bin. Pengujian waktu mencari obat dengan mengset 9 Rpm pada pulley driven, waktu rata-rata mesin mencari obat adalah 5,18 detik. Terdapat lima kali guncangan pada bin. Dari pengujian yang telah dilakukan mesin berputar stabil dan keefisien waktu yang diperlukan untuk mencari obat menggunakan 7 Rpm pada pulley driven. Dari 5 sampel kecepatan pulley driven, pengujian waktu dalam mencari obat, mesin berhasil menemukan lokasi bin yang dicari. Lampu indikator sesuai dengan bin yang dituju. Pintu mesin akan berhenti ketika sensor photoelectric mendeteksi ada objek mendekati pintu. Torsi tipe motor Yaskawa yang digunakan dapat digunakan penelitian ini dengan torsi motor 8,95 Nm dengan torsi minimum yang digunakan pada mesin adalah 1,85 Nm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada pihak-pihak yang sudah terlibat dan membantu penelitian ini sehingga penelitian ini berjalan lancar

References

- [1] S. Electric, "Apa itu PLC? Bagaimana cara kerja dan memilih PLC," Schneider Electric, 1 Mar 2021. [Online]. Available: www.se.com/id/id/faqs/FA378339. [Accessed 13 Apr 2021].
- [2] R. B. Hee, "Knowing the basics of PLCs.," 1 Oct 1995. [Online]. Available: www.ecmweb.com/content/article/20891093/knowing-the-basics-of-plcs. [Accessed 13 Apr 2021].
- [3] Anonim, "5 Jenis Bahasa Pemrograman PLC.," 10 Aug 2020. [Online]. Available: www.kelasplc.com/bahasa-pemrograman-plc. [Accessed 13 Apr 2021].
- [4] Kitoma Indonesia, "Instruksi-intruksi Dasar PLC (Programmable Logic Control).," [Online]. Available: www.kitomaindonesia.com/article/17/instruksi-dasar-plc. [Accessed 17 Apr 2021].
- [5] Schneider Electric, "Apa Itu Servo Motor dan Kegunaannya?," 1 Mar 2021. [Online]. Available: www.se.com/id/id/faqs/FA374507. [Accessed 18 Apr 2021].
- [6] Sinaupedia, "Pengertian Motor Servo.," 18 Jan 2020. [Online]. Available: www.sinaupedia.com/pengertian-motor-servo/#1_Motor_Servo_AC. [Accessed 18 Apr 2021].
- [7] Oriental Motor, "Structure of Servo Motors.," [Online]. Available: www.orientalmotor.com/servo-motors/technology/servo-motor-overview.html#. [Accessed 20 Apr 2021].
- [8] D. Kho, "Pengertian Motor DC dan Prinsip Kerjanya," [Online]. Available: www.teknikelektronika.com/pengertian-motor-dc-prinsip-kerja-dc-motor. [Accessed 25 Jul 2021].
- [9] S. and R. S. , PERANCANGAN ROBOT MANUAL KONTES ROBOT ABU INDONESIA (KRAI) TAHUN 2018, Yogyakarta: Skripsi. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2019.
- [10] Robu.IN, "Photoelectric Proximity Sensor-Methods, Advantages, Applications," 28 Apr 2020. [Online]. Available: www.robu.in/photoelectric-proximity-sensor-methods-advantages-applications. [Accessed 25 Jul 2021].
- [11] A. Waugh, "What is a Limit Switch?," [Online]. Available: www.library.automationdirect.com/what-is-a-limit-switch/. [Accessed 25 Jul 2021].
- [12] Q. and Y. , PERANCANGAN PULLEY DAN SABUK PADA MESIN MIXER GARAM BLENG,

Surakarta: Skripsi. Program Diploma Tiga Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, 2017.

[13] R. Khurmi, J. Gupta and S. Chand, Textbook of Machine Design, New Delhi: Eurasia Publishing House (Pvt) Ltd, 2005.

[14] CivilSir, "Weight of Steel bars size 8mm, 10mm, 12mm, 16mm & 20mm," [Online]. Available: www.civilsir.com/weight-of-steel-bars-size-8mm10mm12mm-16mm-20mm. [Accessed 26 Jul 2021].

[15] Summit Steel & Manufacturing Inc, "How To Calculate The Weight Of your Metal Project," 23 Dec 2020. [Online]. Available: www.summitsteelinc.com/resources/blog/metal-weight-calculator/. [Accessed 2 Aug 2021].