

## PEMBUATAN ROBOT *WAREHOUSE* INDUSTRI DENGAN 4 DOF MENGUNAKAN PLC

**Garry Hadinata P.P**

Teknik Elektro Universitas Surabaya

Blackxx\_starz@ymail.com

**Abstrak** – Beberapa industri masih banyak menggunakan cara manual seperti *forklift*. Tetapi *forklift* masih memiliki keterbatasan ketinggian dalam meletakkan barang mentah. Pada tugas akhir ini didesain dan dibuat miniatur robot *warehouse* menggunakan PLC Omron CQM1H yang berfungsi untuk membantu keterbatasan *forklift*. Robot *warehouse* didesain dapat bergerak sebanyak 4 DOF yang terdiri atas gerakan naik dan turun, geser kanan dan kiri, putar kanan dan kiri, serta gerakan maju dan mundur. *Sensor* yang digunakan untuk gerakan naik, turun dan bergeser menggunakan *rotary encoder*, sedangkan 2 DOF yang lain dengan menggunakan *limit switch*. Pemrograman PLC menggunakan *ladder diagram*. Tingkat keberhasilan dari hasil pengujian program 100%, sedangkan pengujian gerakan robot *warehouse* secara keseluruhan sebesar 36% hingga 40%. Kegagalan dalam gerakan robot *warehouse* dikarenakan robot tidak dapat berjalan dengan stabil. Namun pada rak yang berhasil dengan posisi yang berhadapan seperti pada rak 51 dan rak 121, waktu yang dibutuhkan oleh robot *warehouse* ini sama yaitu dengan waktu 30 detik. Hal ini menunjukkan bahwa robot *warehouse* dapat bekerja sesuai keinginan apabila *sensor* tidak bermasalah. Saat berat bertambah 500 gr, waktu bertambah 0,8 hingga 2,5 detik pada saat robot meletakkan barang menuju rak dan waktu lebih cepat 0,8 hingga 2,5 detik saat robot mengambil barang dari rak.

**Kata kunci** : Robot *warehouse* 4 DOF, Pergudangan, PLC Omron CQM1H

**Abstract** – Some industries still use manual method such as forklifts. But it still has a limited height for forklifts in putting raw goods. In this final project a miniature of warehouse robot is designed and made by using Omron PLC CQM1H CPU 51 which serves to assist the limitations of the forklift. Warehouse robot is designed to move as much as 4 DOF which consists of movement up and down, slide right and left, turn right and left, as well as forward and backward movement. Sensors are used for movement up, down and shifted using a rotary encoder, while the other 2 DOF using limit switches. PLC programming using ladder diagram Cx-programmer. The success rate of the results of the testing program 100%, whereas the warehouse robot testing movement as a whole by 36% to 40%. Failure in the miniature of warehouse robot motion because the robot can not run stable. But the shelves are successfully dealing with the position as at 51 racks and rack 121, the time taken by the robot is the same warehouse that is by 30 seconds. This shows that the robot can work as a desired warehouse robot if the sensor is not problematic. When 500 g weight, increased 0.8 times to 2.5 seconds when the robot put the goods to the shelves and faster time 0.8 to 2.5 seconds when the robots take things off the shelf.

**Keywords**: 4 DOF robotic warehouse, Warehousing, Omron PLC CQM1H

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi saat ini sudah maju dengan pesat yang dilengkapi dengan fitur kemampuan otomatisasi. Teknologi-teknologi tersebut sudah terbukti sangat membantu dalam melakukan kegiatan sehari-hari baik dalam rumah tangga, maupun dalam proses pekerjaan. Di bidang perindustrian masih banyak beberapa pengoperasian yang dilakukan dengan cara manual. Sistem manual tersebut kurang menguntungkan, terutama dalam penggunaan sumber daya manusia yang tidak efektif. Dalam kondisi industri yang terus berkembang maka keberadaan *warehouse* sebagai tempat penyimpanan barang mentah ataupun komponen-komponen mutlak sangat diperlukan. Tentunya dengan semakin berkembangnya industri kapasitas dan kompleksitas sebuah *warehouse* akan semakin bertambah dan semakin rumit. Maka perlu ada sebuah sistem atau alat yang dapat digunakan untuk mengatasi problem *warehouse* tersebut. Beberapa industri, *forklift* digunakan sebagai alat bantu untuk menempatkan komponen atau barang mentah ke rak-rak *warehouse* secara manual. Namun demikian *forklift* ini mempunyai keterbatasan ketinggian rak. Tentunya dengan semakin berkembangnya industri, efektifitas dan efisiensi *space* yang ada di *warehouse* akan sangat diperhatikan. Salah satu solusinya ada dengan membuat sistem penyimpanan barang yang menjulang ke atas dengan rak-rak yang tinggi. Hal itulah pada tugas akhir ini akan didesain dan dibuat sebuah robot *warehouse* yang dapat menggantikan keterbatasan *forklift* untuk menempatkan komponen atau barang mentah ke tempat yang diinginkan.

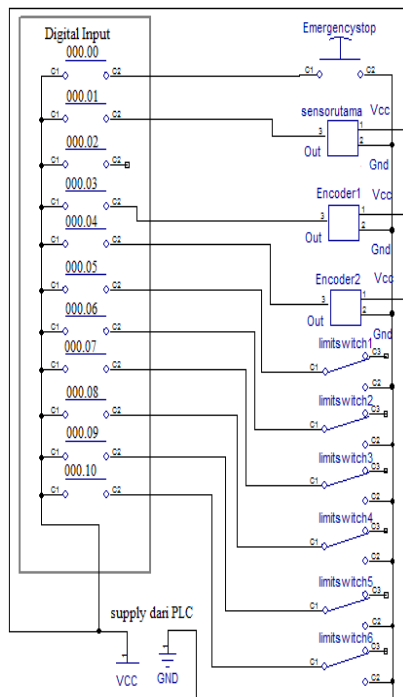
Tugas akhir ini memiliki tujuan utama yaitu meningkatkan kemampuan diri dalam membuat algoritma dalam penggunaan PLC dan mendesain robot *warehouse* yang efisien dan efektif. Robot *warehouse* didesain sehingga robot dapat bergerak sebanyak 4 DOF dan dapat meletakkan barang pada 2 buah lemari yang berukuran 175x60x240 cm dengan masing-masing lemari terdiri atas 70 buah rak.

## **DASAR TEORI**

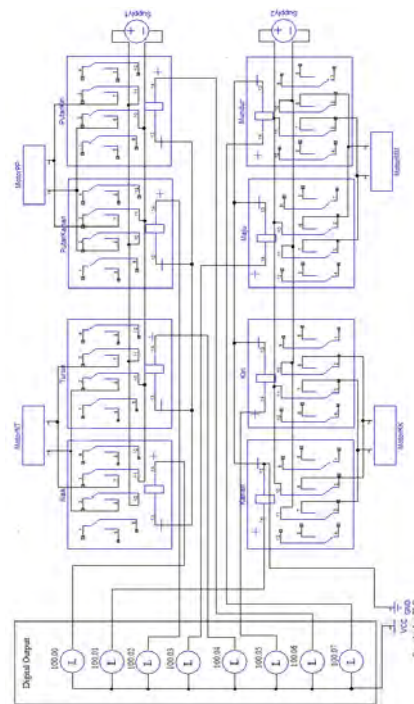
PLC merupakan *controller* yang sudah umum digunakan untuk pengontrolan mesin - mesin industri. PLC merupakan keluarga komputer yang secara umum tersusun dari *power supply*, *modul I/O*, CPU dan *programming device*. *Modul Input* tersusun dari rangkaian elektronik yang akan mengubah sinyal *analog* dari *sensor* dilapangan menjadi data *digital* yang akan diolah oleh CPU. Sedangkan modul *output* akan menterjemahkan sinyal *digital* hasil keputusan kontrol dari CPU menjadi *output contact relay* ataupun sinyal *analog*. PLC *OMRON CQM1H* yang memiliki 4 buah tipe yaitu CPU 11, CPU 21, CPU 51 dan CPU 61, yang digunakan pada Tugas akhir ini yaitu tipe CPU 51. PLC *Omron* memiliki 2 jenis I/O, yaitu I/O *digital* dan I/O *analog*. Modul I/O ini menempati area *memory Internal Register (IR)* yang masing masing memiliki 16 word. Modul *Input* menempati area memori dari IR000 s.d IR015 sedangkan *modul output* menempati area memori dari IR100 s.d IR115. Pada I/O *digital*, cara membaca *word*-nya dimulai dari kiri CPU dan seterusnya.

## **PERANCANGAN MINIATUR ROBOT WAREHOUSE**

Pada miniatur robot *warehouse* ini menggunakan 3 macam *sensor* sebagai deteksi gerakan robot yaitu *sensor infrared* untuk mengetahui adanya barang pada pusat pengambilan barang, *limit switch* sebagai batas gerakan robot saat berputar ke arah lemari 1 dan berputar ke arah lemari 2, dan *rotary encoder* untuk menghitung *counter* pada saat robot bergerak naik dan turun dan bergeser ke kanan dan ke kiri. sedangkan penggerak robot menggunakan motor power window yang biasa digunakan pada mobil untuk membuka dan menutup kaca mobil. Skema rangkaian *digital input* PLC untuk deteksi *sensor* dapat dilihat pada Gambar 1 dan untuk skema rangkaian *digital output* untuk mengaktifkan *relay* motor dapat dilihat pada Gambar 2.



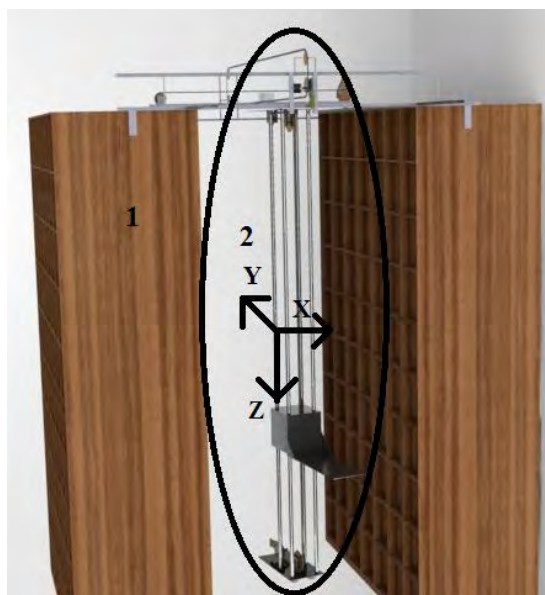
Gambar 1: Skema Digital Input



Gambar 2: Skema Digital Output

Perancangan mekanik ini dibagi menjadi 2 bagian mekanik, yaitu:

1. Desain rak lemari
2. Desain gerakan robot



Gambar 3: Desain Mekanik Miniatur Robot Warehouse

Besar ruangan untuk miniatur robot *warehouse* ini berukuran 220 cm x 270 cm x 250 cm. Pemilihan 2 buah lemari pada pembuatan robot *warehouse* ini untuk keefisienan dari robot *warehouse*, dengan menambahkan lebar 60 cm, miniature robot *warehouse* ini dapat menyimpan barang dua kali lipat lebih banyak.

Desain gerakan miniature robot *warehouse* terdapat 4 buah yaitu bergerak naik dan turun, rotasi kanan dan kiri, bergerak masuk menuju lemari 1 dan bergerak masuk menuju lemari 2, dan bergeser ke kanan dan ke kiri. bergerak naik dan turun menggunakan rantai motor yang dihubungkan motor *power window* untuk bergerak naik dan turun. Gerakan rotasi kanan dan rotasi kiri poros motor yang menempel pada mobil-mobilan untuk gerakan menuju lemari 1 dan lemari 2 dihubungkan pada poros robot yang berotasi, sehingga pada saat motor berputar, dan robot ikut berputar. Gerakan masuk menuju lemari 1 dan menuju lemari 2, dibuat robot mobil-mobilan yang dibuatkan lintasan yang sekaligus sebagai penggerak DOF robot bergerak ke kanan dan ke kiri. mobil-mobilan dihubungkan pada rantai kamrat motor, sehingga pada saat motor bergerak, rantai kamrat ikut bergerak dan mobil-mobilan ikut bergerak, sehingga robot bergerak mengikuti mobil-mobilan. Gerakan robot bergeser ke kanan dan ke kiri, rantai kamrat terhubung pada motor penggerak dan pada robot penggerak, sehingga pada saat motor bergerak, rantai kamrat ikut menarik robot.



Gambar 4: DOF Naik



Gambar 5: DOF putar



Gambar 6: DOF masuk lemari 1 dan lemari 2



Gambar 7: DOF gerak ke kanan dan ke kiri

Pemrograman PLC pada perencanaan awal menggunakan *ladder diagram* untuk program robot dan Intellution fix-32 sebagai human interface dan *input* nomer rak, namun kombinasi kedua program tidak dapat dilakukan, sebab pada saat ladder posisi run, intellution hanya dapat menerima data *digital input* dari PLC. Perencanaan kedua menggunakan Intellution sebagai program robot dan interface serta *input* nomer rak, namun kendala dari perencanaan ke dua yaitu adanya delay pada software yang dipakai menyebabkan pulsa dari rotary encoder tidak terbaca sebagai *counter* gerakan robot. Perencanaan ketiga yaitu menggunakan *ladder diagram* sebagai pemrograman robot *warehouse*, dan untuk *input* rak menggunakan remote yang dilengkapi dengan *7-segment* untuk mengetahui nomer rak yang dipilih.



Gambar 8: *Remote Input User*

Algoritma ambil barang dari pusat menuju rak, yaitu:

1. PLC menunggu *input* dari *user*.
2. Setelah dapat *input* ambil barang pada lemari, *sensor* pusat cek apakah ada barang.
3. Apabila tidak ada barang, maka robot tidak bergerak hingga barang diletakkan pada palet
4. Apabila ada barang, robot bergerak menuju rak yang telah diinputkan.

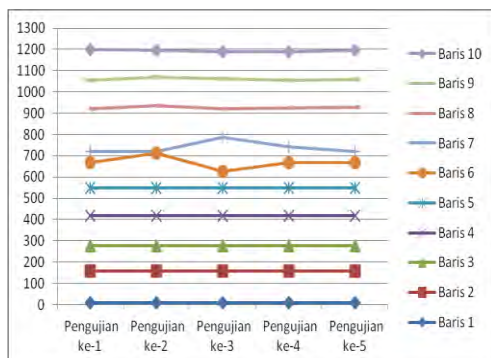
5. Setelah itu robot kembali menuju pusat untuk menanti *input* dari pengguna dan proses selesai.

Algoritma ambil barang dari rak menuju pusat, yaitu:

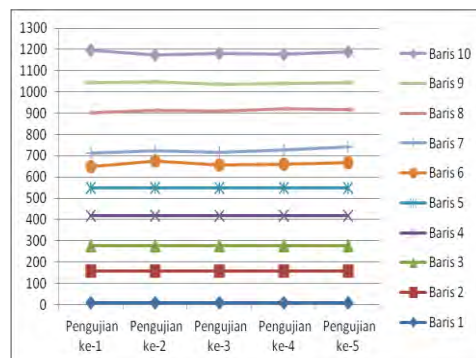
1. PLC menunggu *input* dari *user*.
2. Setelah dapat *inputan* ambil barang pada Lemari, *sensor* pusat cek apakah ada barang.
3. Apabila ada barang, robot tidak bergerak hingga barang pada palet diambil.
4. Bila pada pusat tidak ada barang, robot bergerak mengambil barang pada rak yang di-*input*-kan *user*.
5. Setelah itu barang akan diletakkan pada pusat dan proses selesai.

## **PENGUJIAN**

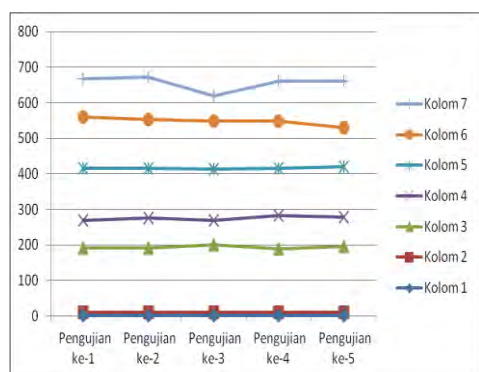
Pada pengujian robot *warehouse* ini sebelum dilakukan pengujian alat, maka dilakukan pengujian sistem kerja dari *sensor* robot. Pengujian sistem robot ini untuk melihat keakurasian dari *sensor* gerak sumbu Z dan *sensor* gerak sumbu Y robot *warehouse*. Dari masing-masing gerakan diambil nilai *counter sensor* yang dilakukan sebanyak 5 kali yang digrafikan. Grafik keakurasian *sensor* dari gerakan sumbu Z dan sumbu Y dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12. Gerakan sumbu Z dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10, dari grafik tersebut terlihat bahwa pada saat bergerak pada saat tingkat 1 hingga 5 robo terlihat akurasi, sedangkan pada saat tingkat 6 hingga tingkat 10 nilai yang didapatkan kurang akurat dikarenakan pengaruh mekanik sehingga mempengaruhi baca *sensor*. Sedangkan pada sumbu Y yang ditunjukkan grafik Gambar 11 dan Gambar 12 terjadi akurasi pada kolom 2, sedangkan pada kolom 3 hingga kolom 7 kurang akurasi. Hal ini karena mekanik yang lentur, sehingga ketika robot berhenti, karena kelenturan mekanik sehingga robot tergeser sedikit dan mengakibatkan nilai *counter* berubah pula. Selanjutnya dilakukan pengujian kelinearan dari *sensor* kedua gerakan tersebut untuk mengetahui apakah perubahan *counter* dari pusat menuju rak 1 dan rak lainnya bersifat linear.



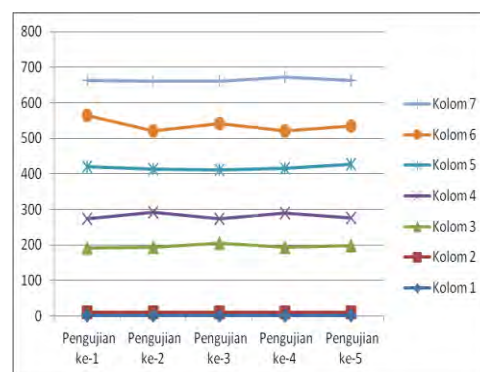
Gambar 9: Grafik Keakuratan Sistem Gerak Robot ke Atas



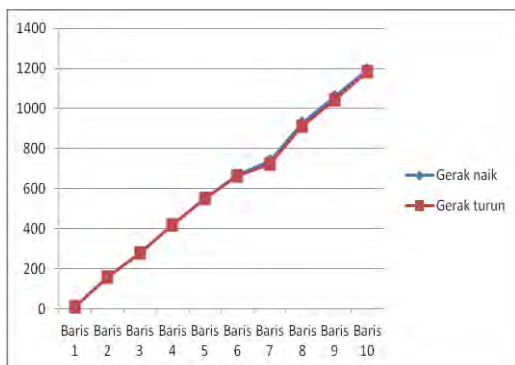
Gambar 10: Grafik Keakuratan Sistem Gerak Robot ke Bawah



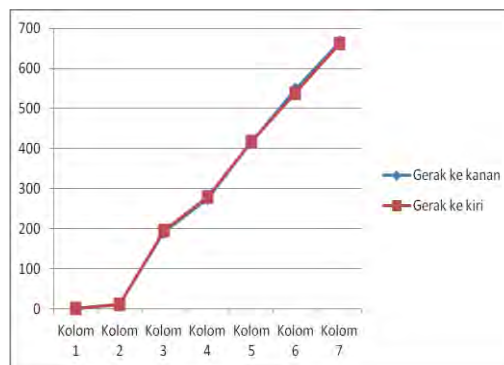
Gambar 11: Grafik Keakuratan Sistem Gerak Robot Ke kanan



Gambar 12: Grafik Keakuratan Sistem Gerak Robot Ke kiri



Gambar 13: Grafik Kelinearan Sistem Gerak Robot Sumbu Z



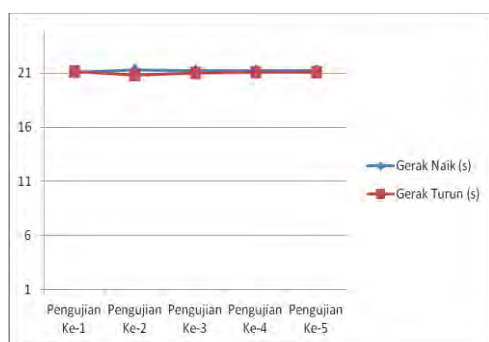
Gambar 14: Grafik Kelinearan Sistem Gerak Robot Sumbu Y

Pengujian kelinearan gerakan robot dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 yang digrafikan. Nilai yang digunakan sebagai melihat kelinearan gerakan yaitu rata-rata dari 5 kali percobaan yang dilakukan saat pengujian sistem gerak robot. Kedua grafik dapat dilihat bahwa membentuk garis lurus, hal ini menunjukkan bahwa perubahan *counter* dari kedua gerakan bersifat linear.

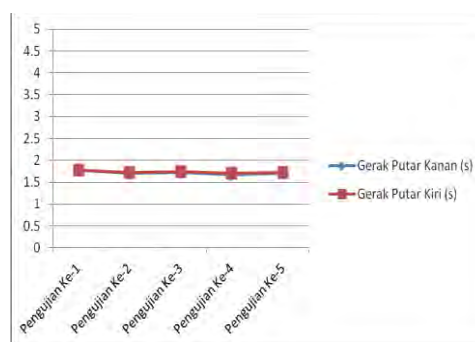


Setelah melakukan pengujian dari sistem gerak robot, selanjutnya dilakukan pengujian gerak masing-masing robot

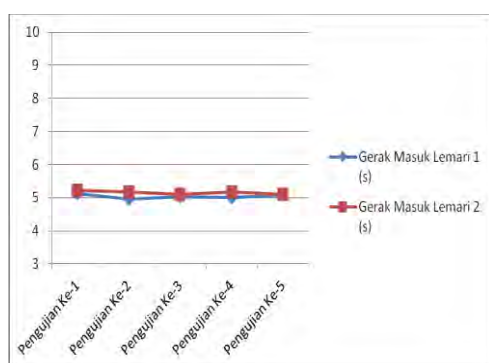
Pengujian masing-masing gerakan robot dengan menggerakkan robot dari titik terdekat robot pada pusat robot menuju titik terjauh dari pusat robot dengan parameter waktu. Pengujian masing-masing gerakan dilakukan sebanyak 5 kali dan ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12. Pada semua grafik di bawah ini menunjukkan bahwa pada saat masing-masing DOF digerakkan, grafik membentuk garis lurus. Garis lurus tersebut menunjukkan bahwa waktu dari hasil pengujian sama dari masing-masing gerakan, perbedaan hanya berkisar 0,2 hingga 0,15 detik saja. Hal ini menunjukkan pula bahwa robot dapat bergerak dengan baik.



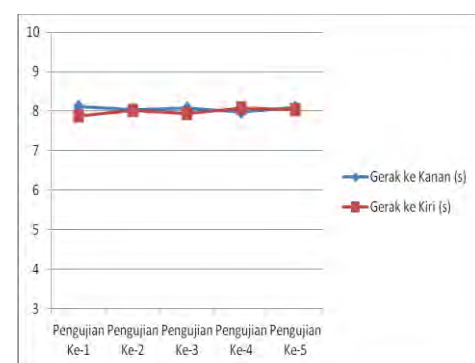
Gambar 15: Grafik Pengujian Waktu Pada Sistem Gerak Sumbu Z Robot



Gambar 16: Grafik Pengujian Waktu Pada Sistem Gerak Putar Robot



Gambar 17: Grafik Pengujian Waktu Pada Sistem Gerak Sumbu X Robot



Gambar 18: Grafik Pengujian Waktu Pada Sistem Gerak Sumbu Y Robot

Setelah melakukan pengujian dari masing-masing gerakan, selanjutnya dilakukan pengujian program yang dilakukan secara manual. Pengujian program ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa program *ladder diagram* yang dibuat sesuai dengan algoritma yang telah dibuat sebelumnya. Pembuatan program yang tidak benar dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada robot *warehouse* seperti *gearbox* rusak akibat motor memaksakan robot bergerak, dapat merusak *sensor*, dan dapat merusak robot.

Tabel 1: Pengujian Program Kirim Barang Menuju Lemari 1

Tahap	Sensor										Aktuator								
	photodiode	encoder		limit switch						Tombol		Relay							
		1	2	1	2	3	4	5	6	Kirim	Ambil	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2: Pengujian Algoritma Ambil Barang dari Lemari 1

Tahap	Sensor										Aktuator								
	photodiode	encoder		limit switch						Tombol		Relay							
		1	2	1	2	3	4	5	6	Kirim	Ambil	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3: Pengujian Algoritma Kirim Barang Menuju Lemari 2

Tahap	Sensor										Aktuator								
	photodiode	encoder		limit switch						Tombol		Relay							
		1	2	1	2	3	4	5	6	Kirim	Ambil	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4: Pengujian Algoritma Ambil Barang dari Lemari 2

Tahap	Sensor										Aktuator								
	photodiode	encoder		limit switch				Tombol		Relay									
		1	2	1	2	3	4	5	6	Kirim	Ambil	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dari hasil pengujian Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa keberhasilan program 100%. Keberhasilan 100% karena sesuai dengan algoritma yang diinginkan pada robot *warehouse*. Tahap selanjutnya program tersebut diimplementasikan pada robot *warehouse* yang telah dibuat bentuk miniaturnya, dan diuji tingkat keberhasilannya.

Berdasarkan Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10 di bawah, dapat dilihat bahwa tingkat kegagalan lebih besar dibandingkan tingkat keberhasilan. Kegagalan yang terjadi diakibatkan robot salah masuk rak, dan rantai penggerak robot terlepas. Berdasarkan data yang berhasil, ada beberapa rak yang memiliki waktu hampir sama, seperti rak 25 dengan rak 96. Pada rak ini memiliki beda lokasi, namun waktu penyelesaian hampir sama, hal ini disebabkan untuk bergeser ke kanan dengan gerakan naik dilakukan bersamaan, sedangkan ketinggian dari rak 25 dengan 96 sama, dan gerakan menggeser ke kanan lebih cepat dibandingkan dengan gerakan naik. Oleh karena itu waktu yang ditempuh oleh robot juga menjadi sama. Rak 51 dengan rak 121 juga memiliki kesamaan dalam pengerjaan. Hal ini disebabkan posisi rak tersebut saling berhadapan, sehingga waktu untuk menuju rak sama. Perbedaan hanya pada algoritma jika rak 25, robot berputar ke arah kanan, maka untuk rak 121 robot berputar ke arah kiri. Sedangkan setiap penambahan berat beban yang diangkut robot sebesar 500 gr, maka waktu yang dibutuhkan robot untuk meletakkan barang pada rak bertambah 0,8 detik hingga 2,5 detik. Sedangkan waktu saat robot mengambil barang dari rak menjadi lebih cepat 0,8 detik hingga 2,5 detik. Perubahan waktu tersebut

bergantung pada seberapa ketinggian rak yang di tuju oleh robot sehingga tiap-tiap rak memiliki perubahan waktu yang berbeda.

Tabel 5: Pengujian Alat Meletakkan Barang pada Rak Tanpa Beban dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	Gagal	36:77	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	57:54	Gagal	29:97	31:55	Gagal	56:10	Gagal	30:10	Gagal
3	Gagal	Gagal	Gagal	30:09	Gagal	Gagal	Gagal	56:03	30:55	Gagal
4	Gagal	Gagal	37:10	29:98	Gagal	47:02	Gagal	Gagal	30:35	34:12
5	Gagal	56:43	37:14	30:06	31:40	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
Rata2 36%	0%	40%	60%	80%	40%	20%	20%	20%	60%	20%

Tabel 6: Pengujian Alat Meletakkan Barang pada Rak dengan Beban 0,5kg dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	59:08	37:89	31:15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	31:58	Gagal
2	Gagal	58:33	Gagal	Gagal	33:25	Gagal	57:57	Gagal	31:37	35:42
3	Gagal	Gagal	37:96	30:93	32:98	Gagal	Gagal	57:31	31:44	Gagal
4	Gagal	58:47	38:10	30:95	Gagal	48:40	58:08	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	31:11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
Rata2 40%	0%	60%	60%	80%	40%	20%	40%	20%	60%	20%

Tabel 71: Pengujian Alat Meletakkan Barang pada Rak dengan Beban 1kg dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	Gagal	38:96	33:21	Gagal	50:32	Gagal	58:87	Gagal	37:11
2	Gagal	60:35	39:25	32:84	34:55	50:02	59:04	Gagal	33:10	Gagal
3	Gagal	Gagal	Gagal	32:98	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	32:55	Gagal
4	Gagal	Gagal	41:42	Gagal	33:89	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	60:42	Gagal	32:06	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	34:35	Gagal
Rata2 38%	0%	40%	60%	80%	40%	40%	20%	20%	60%	20%

Tabel 8: Pengujian Alat Mengambil Barang dari Rak Tanpa Beban dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	Gagal	35:11	29:18	31:09	Gagal	55:48	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	55:67	36:04	28:40	32:39	46:05	Gagal	53:98	Gagal	Gagal
3	Gagal	54:58	Gagal	28:55	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	29:05	33:51
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	54:87	Gagal	29:20	Gagal
5	Gagal	53:75	Gagal	29:03	Gagal	Gagal	Gagal	54:10	Gagal	Gagal
Rata2 38%	0%	60%	40%	80%	40%	20%	40%	40%	40%	20%

Tabel 9: Pengujian Alat Mengambil Barang dari Rak dengan Beban 0,5kg dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	Gagal	34:15	28:36	30:37	44:45	53:78	Gagal	27:59	Gagal
2	Gagal	54:32	Gagal	28:58	Gagal	Gagal	Gagal	53:15	Gagal	Gagal
3	Gagal	53:98	34:23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	27:25	32:10
4	Gagal	53:85	Gagal	28:49	29:41	Gagal	Gagal	52:93	27:42	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	28:63	Gagal	Gagal	54:02	Gagal	Gagal	Gagal
Rata2 40%	0%	60%	40%	80%	40%	20%	40%	40%	60%	20%

Tabel 10: Pengujian Alat Mengambil Barang dari Rak dengan Beban 1kg dalam Satuan Detik

Percobaan	Nomer Rak									
	7	25	38	51	60	80	96	109	121	138
1	Gagal	Gagal	33:31	25:79	28:69	Gagal	52:49	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	52:97	Gagal	26:05	29:39	Gagal	Gagal	51:28	Gagal	Gagal
3	Gagal	52:73	Gagal	25:90	Gagal	43:15	Gagal	Gagal	25:45	31:02
4	Gagal	52:78	33:24	25:97	Gagal	Gagal	52:55	Gagal	25:78	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal	51:20	Gagal	Gagal
Rata2 38%	0%	60%	40%	80%	40%	20%	40%	40%	40%	20%

## **PENUTUP**

Setelah melakukan pengujian pada robot *warehouse* dengan menggunakan PLC, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Rotary encoder* dapat membaca stabil dengan maksimum kecepatan 10 cm/s.
2. Nilai *counter* dari sistem gerak sumbu Z robot bersifat akurat pada tingkat 1 hingga tingkat 5. Namun pada tingkat 6 hingga tingkat 10 tingkat keakuratannya masih lebih rendah dari tingkat 1 hingga tingkat 5. Tetapi saat dilihat dari nilai rata-rata, nilai *counter* sistem gerak sumbu Z bersifat linear.
3. Nilai *counter* dari sistem gerak sumbu Y robot mulai terhitung pada saat kolom 2, hal ini disebabkan kolom 1 sejajar dengan posisi awal robot. Keakuratan terjadi pada saat bergerak menuju kolom 2, tetapi pada kolom 3 hingga kolom 7 terjadi beberapa perubahan nilai *counter*. Penyebab dari perubahan nilai dikarenakan mekanik yang mudah lentur.
4. Waktu yang dibutuhkan saat robot bergerak dan berbalik arah dari masing-masing gerakan memiliki selisih waktu paling tinggi 0,2 detik.
5. *Software* yang dapat digunakan untuk pemrograman PLC pada tugas akhir ini dengan menggunakan *ladder diagram* yang dapat menerima respon dari *rising edge rotary encoder*.
6. *Input user* untuk nomer rak menggunakan *remote* kontrol yang telah didesain sesuai dengan kebutuhan miniatur robot *warehouse*.
7. Tingkat keberhasilan dari pengujian program terhadap kesesuaian algoritma 100%, sehingga tidak ada permasalahan pada program *ladder diagram* yang telah dibuat dan sangat sesuai dengan algoritma yang telah dibuat.
8. Waktu tercepat robot berhasil meletakkan barang pada rak 51 dan rak 121 yaitu rak yang saling berhadapan, dengan waktu tercepat dari 5 kali percobaan dari masing-masing rak yaitu 28:40 detik, sedangkan waktu tercepat dari lokasi terjauh dengan 5 kali percobaan yaitu pada rak 25, dengan waktu 54:58 detik.

9. Setiap penambahan berat beban 500 gr, maka waktu pada saat robot meletakkan barang menuju rak bertambah 0,8 detik hingga 2,5 detik, sedangkan waktu saat robot mengambil barang dari rak menjadi lebih cepat 0,8 detik hingga 2,5 detik sesuai dengan ketinggian rak yang di tuju.
10. Tingkat keberhasilan dari seluruh rak untuk barang menuju rak sebesar 36% hingga 40%.

Adapun saran untuk pengembangan robot *warehouse* menggunakan PLC ini untuk mempermudah dalam perbaikan alat ini. Terutama pada pembuatan mekanik robot *warehouse*, yaitu:

1. Desain miniatur robot *warehouse* ini sebaiknya dibagian atas dan bawah diberikan penyangga gerakan agar robot lebih mudah bergerak.
2. Bahan pembuatan sebaiknya menggunakan bahan seperti besi yang tidak lentur dan lebih kuat menahan berat beban.
3. Penggunaan rantai untuk penggerak robot, sebaiknya diberikan lintasan rantai, sehingga rantai menjadi lebih stabil dan tidak mudah lepas.
4. Untuk lemari rak, sebaiknya bagian tepi dari lemari diberikan jarak sebesar lebar robot sehingga robot lebih leluasa dalam bergerak.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Findustrial.omron.com.br%2Fuploads%2Farquivos%2FDatasheet-CQM1H.pdf&ei=zpNyUtTWAoPNrQer\\_4HABw&usg=AFQjCNHajbDwuubzqF3Af-4degGYNOKcdA&sig2=aqMp843aAaGg23sd7HhD7w&bvm=bv.55819444,d.bmk&cad=rja](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Findustrial.omron.com.br%2Fuploads%2Farquivos%2FDatasheet-CQM1H.pdf&ei=zpNyUtTWAoPNrQer_4HABw&usg=AFQjCNHajbDwuubzqF3Af-4degGYNOKcdA&sig2=aqMp843aAaGg23sd7HhD7w&bvm=bv.55819444,d.bmk&cad=rja)
- [2] Agung.Prayitno.S.T ,.M. Eng. Pelatihan PLC Omron-Tingkat dasar Hardware PLC. Modul Bab 5, Teknik Elektro, Universitas Surabaya.
- [3] Agung.Prayitno.S.T ,.M. Eng. Pelatihan PLC Omron-Tingkat dasar *Sensor*. Modul Bab 2, Teknik Elektro, Universitas Surabaya.
- [4] <http://elcodis.com/parts/5639594/E40S6-100-3-T-24.html#datasheet>

- [5] <http://elektronika-dasar.web.id/komponen/limit-switch-dan-saklar-push-on/>
- [6] <http://www.cnc4everyone.com/safety/limit-switches/>
- [7] <http://elektronikatea.blogspot.com/2011/01/teori-dasar-relay-elektromekanis.html>
- [8] <http://ebyrossy.wordpress.com/>
- [9] <http://www.google.com/imgres?um=1&client=firefox-a&sa=N&rls=org.mozilla:en-US:official&hl=en&biw=1366&bih=664&tbm=isch&tbnid=X9Uf9-GEu-cbQM:&imgrefurl=http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html&docid=vM-nKdiSto90-M&imgurl=http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/imgmag/dcmcur.gif&w=433&h=337&ei=PyXBUfi5HM6ErAfis4CgCg&zoom=1&ved=1t:3588,r:4,s:0,i:94&iact=rc&page=1&tbnh=180&tbnw=230&start=0&ndsp=18&tx=164&ty=128>
- [10] <http://plcprogramming.blogspot.com/2010/04/operate-plc-part-2.html>
- [11] <http://ladderlogic.wordpress.com/>
- [12] <http://forums.pelicanparts.com/uploads/16/window+motor+gear+dwg1262148076.jpg>
- [13] <http://m.powerwindowworld.com/64600.jpg>
- [14] <http://www.youtube.com/watch?v=lehEMDYS9MY>