

Sistem Penyusunan Botol Minuman Menggunakan Robot Kartesian Pada Mesin SMI

Muhammad Alwi Amrra*)¹, Habibullah²

¹Teknik Elektro Industri/ Teknik Elektro/ Fakultas Teknik/ Universitas Negeri Padang 1

*)Corresponding author, email: alwiamrra@gmail.com

Abstrak

Era industri 4.0 membawa dampak otomatisasi peralatan pada industri. Tujuan dari otomatisasi produksi tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi, tetapi juga untuk menjalankan seluruh sistem secara otomatis dan terkomputerisasi serta mengurangi *human error* dan merespon masalah dengan lebih cepat. Laporan Robotika Dunia mencatat 553.052 instalasi robot industri mengalami peningkatan sebesar 5% pada tahun 2022, dibandingkan tahun lalu. Penelitian mengenai sistem penyusunan botol minuman melewati beberapa tahapan, seperti perancangan, perakitan alat, pengujian alat, pengambilan data, dan analisis data. Perancangan berperan penting dalam proses pembuatan dan pengembangan alat. Mesin penyusunan botol minuman menggunakan robot kartesian, *dual rod cylinder*, *vacuum generator* dan *suction pad* untuk mengangkat dan memindahkan botol minuman dengan memanfaatkan sistem *smart manufacturing* sehingga dapat menciptakan suatu sistem yang efisien, cepat, konsisten dan otomatis serta dapat mengurangi *human error* dan meningkatkan produktivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang diimplementasikan mampu mengontrol robot kartesian, silinder dan *suction pad* untuk mengambil dan meletakkan botol minuman untuk dibawa dari posisi *pick* ke posisi rak yang tersedia. Setelah melakukan pengujian dan analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa robot kartesian memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat meminimalisir kesalahan dan meletakkan botol minuman sesuai dengan posisi yang telah ditentukan. *Suction pad* memiliki kekuatan yang cukup untuk mencekam tutup botol dengan kekuatan 2,826 N atau setara dengan 288 gram. Ini menjadikan mesin penyusunan botol minuman sebagai solusi untuk optimalisasi otomatisasi produksi yang dikendalikan menggunakan PLC.

Abstract

The industrial era 4.0 brings the impact of equipment automation on the industry. The goal of production automation is not only to increase productivity and efficiency, but also to run the entire system automatically and computerized and reduce human error and respond to problems more quickly. The World Robotics Report recorded 553,052 industrial robot installations, an increase of 5% by 2022, compared to last year. Research on the beverage bottle arrangement system goes through several stages, such as design, tool assembly, tool testing, data collection, and data analysis. Design plays an important role in the process of making and developing tools. The beverage bottle arrangement machine uses a cartesian robot, dual rod cylinder, vacuum generator and suction pad to lift and move beverage bottles by utilizing a smart manufacturing system so as to create an efficient, fast, consistent and automated system and can reduce human error and increase productivity. The results show that the implemented system is able to control the cartesian robot, cylinder and suction pad to pick up and put the beverage bottle to be carried from the pick position to the available shelf position. After testing and analysis, it can be concluded that the cartesian robot has high accuracy so that it can minimize errors and put the beverage bottle in accordance with the predetermined position. The suction pad has enough strength to grip the bottle cap with a force of 2,826 N or equivalent to 288 grams. This makes the beverage bottle arranging machine a solution for the optimization of production automation controlled using PLC.

INFO.

Info. Artikel:

No. 567

Received. October, 20, 2023

Revised. October, 28, 2023

Accepted. October, 31, 2023

Page. 1057 – 1067

Kata kunci:

- ✓ Robot Kartesian
- ✓ PLC
- ✓ Pneumatik
- ✓ Suction Pad
- ✓ Reed Switch
- ✓ Photoelectric

PENDAHULUAN

Era industri 4.0 membawa dampak pada modernisasi peralatan pada industri besar maupun kecil. Peralatan industri yang dulunya digerakkan manual oleh manusia sekarang terotomatisasi, yang berarti mesin mengontrolnya secara otomatis. Proses otomatisasi mesin disebut sistem kontrol atau sistem kendali. Untuk mengatur mesin sesuai dengan harapan, perlu mempelajari sistem kontrol karena berhubungan dengan efisiensi dan optimalisasi kerja mesin [1].

Otomasi industri menjadi tren global di bidang manufaktur, proses pengemasan dan penyortiran adalah salah satu yang paling banyak digunakan di industri. Pengembangan sistem kontrol di dunia industri mengarah pada otomatisasi produksi. Otomatisasi produksi memudahkan industri untuk mengoperasikan dan memantau kinerja mesin secara *real time*. Tujuan dari otomatisasi produksi tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi, tetapi juga untuk menjalankan seluruh sistem secara otomatis dan terkomputerisasi serta mengurangi *human error* dan merespon masalah atau gangguan dengan lebih cepat [2].

Laporan Robotika Dunia yang baru mencatat 553.052 instalasi robot industri di pabrik-pabrik di seluruh dunia mengalami peningkatan sebesar 5% pada tahun 2022, dibandingkan tahun lalu. Berdasarkan wilayah, Asia memiliki persentase paling tinggi sebanyak 73%, 15% di Eropa, dan 10% di Amerika. Pada tahun 2021 tercatat sebanyak 526.000 unit robot diinstal dengan peningkatan sebesar 25,8% dari tahun 2020 dengan jumlah instalasi sebanyak 390.000 unit. Instalasi robot terjadi penurunan sebesar tahun 2019 dengan jumlah sebanyak 387.000 unit dibandingkan pada tahun 2018 yang mencapai 423.000 unit robot. Setiap tahunnya instalasi robot mengalami peningkatan, namun pada tahun 2019 instalasi robot mengalami penurunan dikarenakan banyak industri yang tidak beroperasi yang disebabkan oleh pandemi [3].

PLC adalah sebuah komputer khusus yang digunakan untuk mengendalikan peralatan industri pada sistem otomasi. Pada mesin penyusunan botol minuman, PLC berfungsi sebagai otak atau *controller* yang mengendalikan gerakan robot berdasarkan serangkaian instruksi yang telah diprogram. PLC dapat memantau kondisi mesin dan melakukan perhitungan untuk mengoptimalkan kinerja sistem [4].

Mesin penyusunan botol minuman menggunakan sistem *smart manufacturing* yang merupakan kombinasi dari berbagai teknologi dan solusi yang digunakan untuk mengoptimalkan proses produksi [5]. Teknologi *smart manufacturing* menggunakan mesin dan peralatan yang saling berhubungan untuk meningkatkan sistem produksi dan mengoptimalkan energi. *Smart manufacturing system* memiliki manfaat seperti pengurangan biaya, peningkatan produktivitas, kustomisasi produk, efisiensi sumber daya, dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan [6].

Mesin penyusunan botol minuman menggunakan robot kartesian, *dual rod cylinder*, *vacuum generator* dan *suction pad* untuk mengangkat dan memindahkan botol minuman. Robot kartesian memungkinkan untuk digunakan pada mesin penyusunan botol minuman karena dapat bergerak secara linier pada tiga sumbu x, y, dan z yang [7]. Robot kartesian cocok untuk penyusunan karena dapat mengambil produk dari tempat yang sama dan menempatkannya pada posisi yang diinginkan dengan cepat dan akurat. Dengan menggunakan menggunakan robot kartesian, proses penyusunan botol minuman menjadi efisien, konsisten dan akurat sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk. Selain itu, dengan adanya mesin penyusunan dapat mengurangi *human error* karena tidak menggunakan tenaga manusia [6].

Mesin penyusun botol minuman memiliki rak yang didesain secara khusus untuk meletakkan botol minuman maka diperlukan spesifikasi khusus untuk *cylinder*, *vacuum generator* dan *suction pad*. *Cylinder*, *vacuum generator* dan *suction pad* menggunakan udara yang dimampatkan agar dapat beroperasi. *Cylinder* dan *vacuum generator* diaktifkan oleh *solenoid valve* yang dikontrol oleh PLC. *Cylinder* berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan botol minuman, sedangkan *vacuum generator* dan *suction pad* berfungsi untuk menghisap tutup botol agar melekat pada *suction pad*.

Dengan adanya penelitian tentang "Sistem Pengepakan Botol Minuman Kemasan Berbasis PLC Siemens S7-1200" yang dilakukan oleh Samuel Yosia Dimpudus pada tahun 2015 dijelaskan bahwa PLC dihubungkan dengan perangkat *input* seperti sensor dan perangkat *output* seperti *solenoid valve* dan motor listrik yang berperan sebagai aktuator untuk memicu atau umpan balik pada proses kontrol [8]. Pengontrolan mesin penyusunan dapat beroperasi secara otomatis menggunakan PLC yang

dihubungkan pada perangkat *input* dan *output*. Dengan pemrograman yang tepat, mesin akan bergerak dalam siklus yang berulang untuk menghasilkan *output* yang baik, sehingga proses produksi menjadi lebih mudah hanya dengan menekan beberapa tombol.

Berdasarkan masalah diatas penulis mengangkat judul Tugas Akhir “Sistem Penyusunan Botol Minuman Menggunakan Robot Kartesian Pada Mesin SMI Berbasis PLC Siemens S7-1200”. Dengan adanya Tugas Akhir ini diharapkan dapat menciptakan suatu sistem yang efisien, cepat, konsisten dan otomatis sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi *human error*. Tugas Akhir ini juga menyertakan jurnal yang telah ditunjuk untuk mendukung judul tersebut.

DASAR TEORI

1. Mesin Smart Manufacturing Industry (SMI)

Mesin SMI merupakan gabungan dari tiga *station* mesin produksi. Setiap *station* memiliki tugas masing-masing yaitu *station* penyaluran produk, *station* pengisian material dan *sealing* produk dan *station* penyusunan produk. Mesin SMI merupakan kombinasi dari berbagai teknologi dan solusi yang diterapkan untuk mengoptimalkan proses, dengan kata lain jenis dari mesin produksi ini bekerja menggunakan peralatan yang saling berhubungan untuk meningkatkan sistem produksi dan mengoptimalkan energi [6].

2. Sistem Kontrol

Sistem kendali adalah sistem yang dirancang untuk mengontrol suatu proses agar *output* yang dihasilkan dapat dikendalikan sehingga tidak terjadi kesalahan dan memastikan bahwa *output* yang dikendalikan stabil, akurat, dan dinamis [9].

3. PLC

Menurut NEMA (*The National Electrical Manufacturers Association*), PLC adalah piranti elektronika digital yang memiliki memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi di dalamnya. Mereka dapat melakukan fungsi tertentu, seperti logika, sekuen, pewaktuan, aritmetika, dan perhitungan. PLC dapat mengontrol berbagai jenis mesin dan proses melalui modul I/O digital atau analog [10].

4. Robot Kartesian

Robot kartesian merupakan robot linier yang bergerak lurus sepanjang lintasannya. Robot kartesian dirancang untuk bergerak berdasarkan tiga sumbu dasar, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang saling tegak lurus satu sama lain. Prinsip robot kartesian banyak digunakan untuk laser *cutting*, mesin pengambil barang, dan 3D *printing*. Keunggulan dari robot kartesian adalah desainnya yang sederhana dan kokoh, yang memungkinkan melakukan tugas yang kompleks dengan hasil yang akurat. Selain itu, pergerakannya yang linear terhadap sumbunya memudahkan kontrol karena hanya memerlukan kordinat posisi [11].

5. Motor Servo AC

Motor servo adalah motor listrik yang digunakan pada mesin industri yang membutuhkan kontrol sudut, akselerasi, dan kecepatan dengan presisi tinggi yang berfungsi untuk mendorong atau memutar objek. Sistem *close loop* memiliki *encoder* umpan balik posisi yang dapat mengontrol posisi motor, torsi, dan kecepatan rotasi. Tanpa sistem *closed loop*, motor AC tidak dapat melakukan kontrol tersebut [12].

6. Driver Motor Servo

Kontroller servo motor atau *driver* servo adalah sistem yang dirancang untuk mengontrol motor servo dengan tingkat presisi yang tinggi (*high precision positioning*). *Kontroller* ini termasuk kontrol vektor, *direct torque control* (DTC), kontrol prediktif, dan memberikan kontrol posisi yang tepat dengan respon dinamis yang sangat cepat setelah pengontrol memberikan perintah. Secara umum, pengontrol servo terdiri dari pengontrol arus (torsi), pengontrol kecepatan, dan pengontrol posisi. Kontrol *loop* tertutup dikendalikan sesuai dengan *input* dari pengontrol gerak (*motion controller*). *Encoder* kemudian memberikan umpan balik untuk memperbaiki kesalahan dan mencapai kinerja yang diperlukan sehingga *output* dari objek yang dikontrol sesuai dengan *input* [12].

7. Pneumatik

Sistem pneumatik mencakup semua sistem yang menggunakan tenaga udara yang dimampatkan untuk melakukan sebuah pekerjaan. Pada sistem otomasi industri modern, sistem pneumatik banyak digunakan, termasuk proses pencetakan, penyusunan, pencengkaman, pemindahan, dan penyeteroran produk. Sistem pneumatik menggunakan udara bertekanan, yang dihasilkan oleh sebuah alat yang disebut kompresor udara [13].

8. Silinder

Silinder adalah aktuator pneumatik yang paling umum. Gerakan linier langsung terjadi dari ujung bebas batang piston ketika tekanan udara bekerja padanya. Aktuator pneumatik biasanya digunakan untuk pergerakan benda kecil dan ringan karena udara yang dapat dimampatkan. Namun, mereka tidak cocok untuk kontrol posisi yang akurat [14].

9. Solenoid Valve

Solenoid valve adalah katub yang dapat mengontrol arah aliran udara dan memiliki kemampuan untuk menggerakkan aktuator, seperti silinder. Ketika kumparan atau *coil* menerima tegangan listrik yang sesuai dengan tegangan kerja, *solenoid valve* akan bekerja. *Solenoid valve* dapat bekerja pada tegangan 100 atau 200VAC atau 12 atau 24VDC [15].

10. Vacuum Generator

Vacuum yang berarti "kosong" adalah keadaan di mana tekanan gas dan uap lebih rendah dari tekanan atmosfer. *Suction cup* yang terbuat dari karet cenderung mengeluarkan permukaan benda dan volume ruang atau udara di sekitarnya setelah tekanan berhenti. *Suction cup* melekat pada permukaan benda karena perbedaan tekanan antara atmosfer di luar dan tekanan rendah di dalamnya setelah semua udara dipaksa keluar [16].

11. Suction Pad

Suction pad melekat pada *vacuum gripper*. *Suction pad* terbuat dari karet yang berfungsi untuk mencekam atau menahan objek datar vertikal dan horizontal. Untuk mengangkat barang, *suction pad* dihubungkan dengan *vacuum* dan untuk mengeluarkan barang, udara dipompa keluar dari *suction pad* [16].

12. Reed Switch

Reed switch merupakan sensor yang menggunakan medan magnet sebagai acuan. *Reed switch* berfungsi sebagai saklar yang aktif ketika terdapat medan magnet di sekitar sensor. Jika disekitar *reed switch* terdapat medan magnet yang kuat, dua plat akan terhubung satu sama lain, menciptakan rangkaian tertutup untuk rangkaian yang dipasangkannya [17].

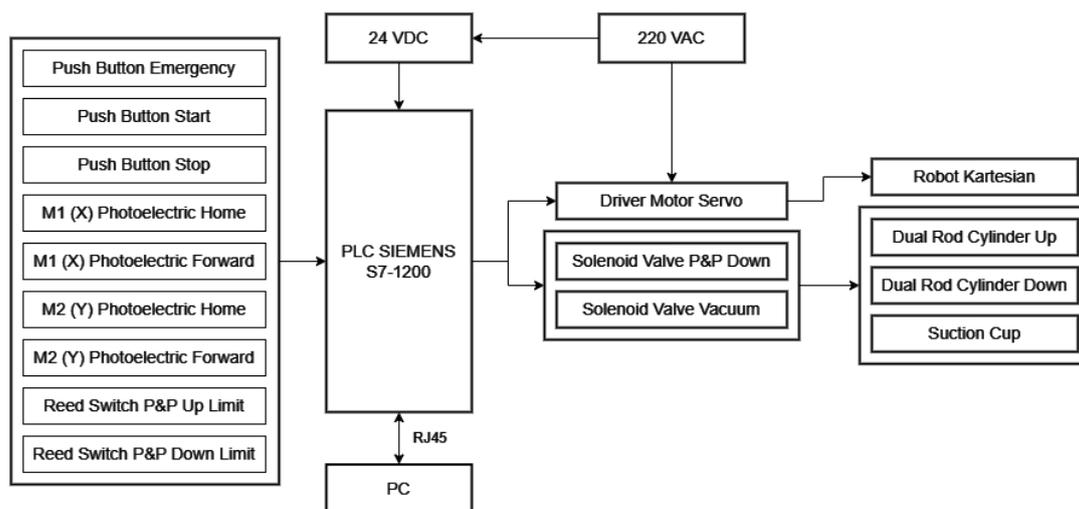
13. Sensor Photoelectric

Sensor *photoelectric* adalah sensor yang menggunakan cahaya untuk mendeteksi keberadaan benda padat melalui *transmitter* dan *receiver*. Sensor ini bertindak sebagai saklar tertutup ketika mendeteksi benda dan bertindak sebagai saklar terbuka ketika tidak mendeteksi benda [18].

METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai sistem penyusunan botol minuman melewati beberapa tahapan, seperti perancangan, perakitan alat, pengujian alat, pengambilan data, dan analisis data. Perancangan berperan penting dalam proses pembuatan dan pengembangan alat. Tujuannya adalah untuk memudahkan proses perakitan, serta memudahkan pemilihan material, komponen dan hardware yang diperlukan. Proses perancangan sistem terdiri dari perancangan mekanik, seperti *base mesin*, *base robot kartesian*, rak botol minuman, *base* komponen pneumatik dan *base panel kontrol* [19]. Sedangkan perancangan elektrik terdiri dari rangkaian plc, rangkaian motor servo AC, rangkaian *solenoid valve*, rangkaian sensor *photoelectric* dan rangkaian sensor *reed switch*.

Proses ini meliputi perancangan alat, prinsip pengoperasian alat dan analisis hasil pengujian alat. Peneliti dapat mengumpulkan data secara langsung melalui pengamatan, pengukuran, dan percobaan di lapangan. Hasil penelitian digunakan untuk menguji efektivitas sistem penyusunan botol minuman. Proses ini melibatkan robot kartesian yang menggunakan motor servo AC sebagai penggerak, silinder, *vacuum generator* dan *suction pad*. Penelitian diawali dengan pemaparan tentang prinsip kerja sistem yang dipaparkan melalui blok diagram. Blok diagram dapat dilihat pada gambar 1.

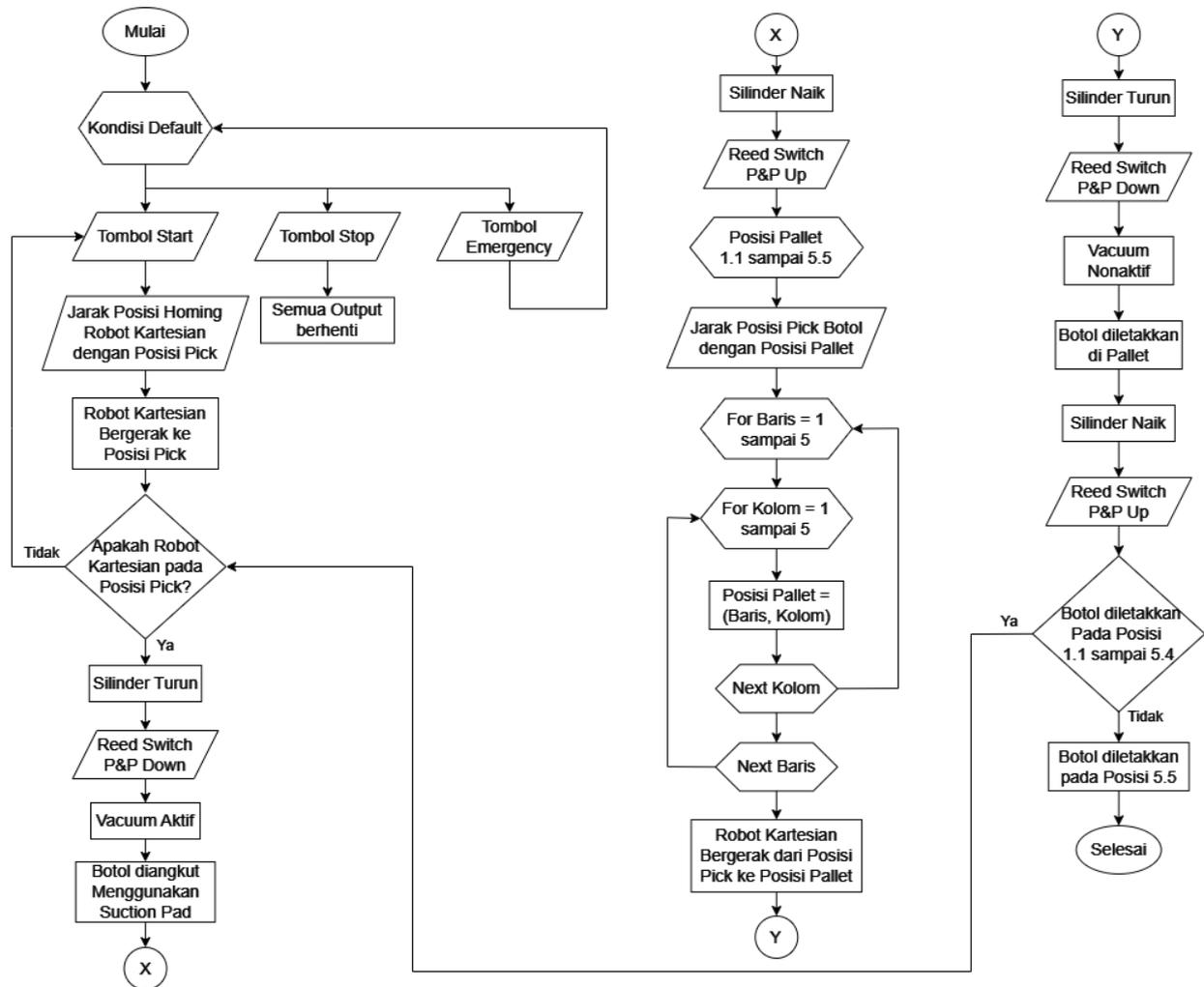


Gambar 1. Blok diagram

Berikut merupakan fungsi dari masing-masing bagian diagram blok di atas:

1. *Push button* terdiri dari kontak NO dan NC dimana tombol *start* menggunakan kontak NO dan tombol stop menggunakan kontak NC. Tombol *start* berfungsi sebagai *input* yang akan menjalankan mesin, tombol stop berfungsi untuk menghentikan kerja mesin dan tombol *emergency* berfungsi untuk menghentikan dan mengembalikan ke posisi *home* apabila terjadi sesuatu pada mesin.
2. Sensor *reed switch* berfungsi untuk mendeteksi posisi silinder. Sebuah silinder memiliki dua buah sensor *reed switch* yang akan mendeteksi pergerakan silinder pada posisi minimum dan maksimum.
3. Sensor *photoelectric* berfungsi untuk mendeteksi posisi *home* dan *forward* sebuah motor servo. Sensor *photoelectric* bekerja apabila benda menghalangi cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter*.
4. *Programmable Logic Controller* (PLC) berfungsi untuk mengolah atau mengontrol setiap tindakan yang akan dilakukan sesuai dengan instruksi yang diberikan. PLC berperan sebagai pemrosesan data yang diterima oleh *input* dan disalurkan melalui *output*.
5. PC berfungsi untuk memprogram PLC yang dihubungkan menggunakan koneksi ethernet.
6. Motor Servo berfungsi sebagai penggerak robot kartesian untuk memindahkan dan menempatkan botol minuman. Motor servo dikendalikan menggunakan PLC melalui *driver motor servo*.
7. Silinder berfungsi untuk mengangkat dan menurunkan botol minuman. Silinder akan bekerja apabila mendapat udara bertekanan yang dikendalikan oleh *solenoid valve*.
8. *Solenoid valve* merupakan katub yang dapat mengontrol arah aliran udara dan memiliki kemampuan untuk menggerakkan aktuatur.
9. *Vacuum generator* berfungsi untuk menghisap tutup botol agar melekat pada *suction cup*. *Vacuum* diaktifkan menggunakan *solenoid valve* yang dikontrol menggunakan PLC.
10. *Suction cup* berfungsi untuk mencengkam atau tempat melekatnya botol minuman agar botol dapat diangkat dan ditempatkan ke rak dengan bantuan silinder dan robot kartesian.

Flowchart dibuat untuk memudahkan dalam memahami sebuah mesin. Dengan adanya flowchart, proses dari rangkaian kegiatan atau sistem kerja alat dapat ditunjukkan secara jelas. Prinsip kerja dari sistem penyusunan botol minuman dapat dilihat menggunakan flowchart pada Gambar 3.



Gambar 2. Flowchart

Flowchart diatas menjelaskan tentang alur kerja yang dilakukan oleh mesin penyusunan botol minuman. Langkah awal yang dilakukan mesin penyusunan botol minuman adalah mengambil botol minuman dari posisi pick. Selanjutnya botol minuman akan diletakkan pada rak yang telah disediakan. Langkah tersebut dilakukan secara berulang sampai rak terisi penuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan ini merupakan perbandingan antara rancangan dengan mesin aktual. Dengan melakukan pengujian serta analisis pada suatu sistem, diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai PLC, motor servo AC, silinder, *suction pad* dan sensor. Adapun bentuk pengujian yang akan dilakukan pada sistem penyusunan botol minuman sebagai berikut :

Pengujian Robot Kartesian

Pengujian pulsa dan jarak pada motor servo dilakukan untuk mengetahui hubungan antara lebar pulsa yang diberikan pada motor servo dengan sudut putaran dan jarak yang dihasilkan. Pada pengujian ini, lebar pulsa yang diberikan pada motor servo akan berpengaruh terhadap efisiensi dan akurasi motor servo dalam menentukan posisi peletakan botol minuman. Persamaan (1) dapat digunakan untuk menghitung pulsa motor

$$N = \frac{L}{P} \times \frac{360}{0,75} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil pengukuran panjang *pitch lead screw*, jarak dari posisi *homing* ke posisi *pick* dan jarak posisi *pick* ke posisi rak diperoleh jumlah pulsa yang dikeluarkan untuk menggerakkan motor servo dari posisi *homing* ke posisi *pick* yang terdapat pada tabel (1) dan jumlah pulsa yang dikeluarkan untuk menggerakkan motor servo dari posisi *pick* ke posisi rak yang terdapat pada tabel (2).

Tabel 1. Tabel pulsa dan jarak posisi *pick*

No	Posisi Pick	Jarak (mm)		Pulse	
		X	Y	X	Y
1	Posisi Pick	150	450	16363,63	49090,9

Tabel 2. Tabel pulsa dan jarak posisi rak

No	Posisi Rak	Jarak (mm)		Pulse	
		X	Y	X	Y
1	1.1	2	2	218,18	218,18
2	1.2	2	62	218,18	6763,63
3	1.3	2	122	218,18	13309,09
4	1.4	2	182	218,18	19854,54
5	1.5	2	242	218,18	26400
6	2.1	62	2	6763,63	218,18
7	2.2	62	62	6763,63	6763,63
8	2.3	62	122	6763,63	13309,09
9	2.4	62	182	6763,63	19854,54
10	2.5	62	242	6763,63	26400
11	3.1	122	2	13309,09	218,18
12	3.2	122	62	13309,09	6763,63
13	3.3	122	122	13309,09	13309,09
14	3.4	122	182	13309,09	19854,54
15	3.5	122	242	13309,09	26400
16	4.1	182	2	19854,54	218,18
17	4.2	182	62	19854,54	6763,63
18	4.3	182	122	19854,54	13309,09
19	4.4	182	182	19854,54	19854,54
20	4.5	182	242	19854,54	26400
21	5.1	242	2	26400	218,18
22	5.2	242	62	26400	6763,63
23	5.3	242	122	26400	13309,09
24	5.4	242	182	26400	19854,54
25	5.5	242	242	26400	26400

Dalam lima kali pengujian menggunakan data jarak dan pulsa yang terdapat pada tabel (1) dan tabel (2) dapat disimpulkan bahwa motor servo dapat mengambil dan meletakkan botol minuman pada posisi yang diinginkan dengan tepat. Motor servo memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat meletakkan botol minuman dengan tepat.

Pengujian waktu pada mesin penyusun botol minuman berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk mengisi seluruh rak. Pengujian waktu dilakukan menggunakan stopwatch. Pengujian waktu bertujuan untuk mengukur kecepatan dan ketepatan robot kartesian dalam mengambil dan meletakkan botol minuman. Waktu yang dibutuhkan untuk mengambil dan meletakkan botol minuman dapat dilihat pada tabel (3).

Tabel 3. Tabel waktu percobaan

No	Posisi Rak	Waktu (s)				
		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Percobaan 5
1	1.1	7.37	7.21	7.52	7.61	7.58
2	1.2	15.92	16.17	16.33	16.45	16.33
3	1.3	24.75	24.72	24.59	25.01	24.57
4	1.4	32.69	32.72	32.68	33.09	32.92
5	1.5	40.07	40.33	40.24	40.57	40.45
6	2.1	48.00	48.62	48.52	48.78	48.97
7	2.2	56.90	56.81	56.84	56.91	57.24
8	2.3	1:05.22	1:05.11	1:05.16	1:05.21	1:05.31
9	2.4	1:13.37	1:13.30	1:13.39	1:13.35	1:13.43
10	2.5	1:20.92	1:20.85	1:20.87	1:20.76	1:20.76
11	3.1	1:28.92	1:28.91	1:28.96	1:28.89	1:28.89
12	3.2	1:37.13	1:37.01	1:37.25	1:37.12	1:37.10
13	3.3	1:45.26	1:45.21	1:45.37	1:45.34	1:45.29
14	3.4	1:53.48	1:53.40	1:53.56	1:53.44	1:53.45
15	3.5	2:00.96	2:00.93	2:00.99	2:00.86	2:00.88
16	4.1	2:09.15	2:09.11	2:09.23	2:09.15	2:09.04
17	4.2	2:17.31	2:17.25	2:17.47	2:17.32	2:17.11
18	4.3	2:25.44	2:25.34	2:25.53	2:25.48	2:25.28
19	4.4	2:33.51	2:33.41	2:33.63	2:33.55	2:33.47
20	4.5	2:40.89	2:40.94	2:40.91	2:40.89	2:40.99
21	5.1	2:48.92	2:48.95	2:48.88	2:48.98	2:48.84
22	5.2	2:57.10	2:57.07	2:57.09	2:57.07	2:56.95
23	5.3	3:05.22	3:05.24	3:05.21	3:05.25	3:05.13
24	5.4	3:13.35	3:13.37	3:13.34	3:13.37	3:13.32
25	5.5	3:20.85	3:20.86	3:20.89	3:20.88	3:20.81

Berdasarkan hasil pengujian waktu yang terdapat pada tabel 3 dapat dilihat bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengambil dan meletakkan botol minuman adalah 8 detik. Motor servo bergerak secara konstan dengan waktu 8 detik setiap posisinya. Setiap posisi dengan kelipatan lima, motor servo membutuhkan waktu yang lebih singkat dengan rata-rata 7,5 detik.

Pengujian Dual Rod Cylinder

Silinder berfungsi untuk mengangkat dan menurunkan botol minuman menggunakan udara yang dimampatkan. Silinder dikontrol oleh *solenoid valve* yang dikendalikan oleh PLC. Pengujian silinder berfungsi untuk menguji performa silinder, seperti tekanan, kekuatan, dan kapasitas menahan beban. Beban yang akan diangkat oleh silinder adalah botol dengan kapasitas 80 ml. Hasil pengujian *dual rod cylinder* dapat dilihat pada tabel (4).

Tabel 4. Pengujian dual rod cylinder

No	Posisi Silinder	Logika	Keterangan
1	Atas	0	Silinder dapat mengangkat botol minuman
2	Bawah	1	Silinder dapat menurunkan botol minuman

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali, silinder berhasil mengangkat botol yang telah berisi air dengan sempurna. Kondisi awal silinder berada pada posisi atas yang dilogikakan dengan 0 dan ketika silinder bergerak ke posisi bawah, silinder akan diberi logika 1. Silinder berhasil menahan dan mengangkat beban botol minuman 80 ml.

Pengujian Suction Pad

Pengujian *vacuum generator* berfungsi untuk membuktikan kinerja dan efisiensi vacuum serta dapat menghisap tutup botol minuman dan tidak ada kebocoran pada selang maupun *solenoid valve*. Selain *vacuum generator*, *suction pad* juga akan diuji untuk membuktikan bahwa botol minuman dapat dicekam oleh *suction pad* dengan baik. Hasil pengujian *suction pad* dapat dilihat pada tabel (5).

Tabel 5. Hasil pengujian suction pad

No	Kondisi	Logika	Keterangan
1	Aktif	1	Mencekam
2	Tidak Aktif	0	Melepas

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan sebanyak lima, *suction pad* dapat mencekam dan melepas tutup botol minuman 80 ml atau 80 gram dengan sempurna. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *suction pad* dan *vacuum* bekerja dengan baik dan mampu memenuhi tugas untuk mencekam dan melepas tutup botol.

Pengujian Reed Switch

Pengujian *reed switch* berfungsi untuk memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan dapat mendeteksi posisi atas dan bawah pada sebuah silinder. Sensor akan diberi logika 1 jika mendeteksi posisi atas maupun bawah sebuah silinder dan akan diberi logika 0 jika tidak mendeteksi posisi silinder. Hasil pengujian *reed switch* dapat dilihat pada tabel (6).

Tabel 1. Hasil pengujian reed switch

No	Posisi Sensor	Logika	Keterangan
1	Atas	1	Sensor mendeteksi posisi atas
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi atas
2	Bawah	1	Sensor mendeteksi posisi bawah
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi atas

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan sebanyak lima, *reed switch* dapat mendeteksi posisi atas dan bawah pada sebuah silinder yang berarti sensor *reed switch* berfungsi dengan baik.

Pengujian Sensor Photoelectric

Pengujian sensor *photoelectric* berfungsi untuk memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan dapat mendeteksi posisi *homing* dan *forward* robot kartesian. Mesin ini menggunakan empat buah sensor *photoelectric* yang terpasang pada posisi *homing* dan *forward* robot kartesian sumbu X dan sumbu Y. Sensor *photoelectric* akan berlogika 1 apabila cahaya yang dipancarkan *transmitter* terhalang oleh plat besi. Hasil pengujian sensor *photoelectric* dapat dilihat pada tabel (7).

Tabel 2. Hasil pengujian sensor photoelectric

No	Posisi Sensor	Logika	Keterangan
1	<i>Homing</i> Sumbu X	1	Sensor mendeteksi posisi <i>homing</i>
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi <i>homing</i>
2	<i>Forward</i> Sumbu X	1	Sensor mendeteksi posisi <i>forward</i>
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi <i>forward</i>
3	<i>Homing</i> Sumbu Y	1	Sensor mendeteksi posisi <i>homing</i>
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi <i>homing</i>
4	<i>Forward</i> Sumbu Y	1	Sensor mendeteksi posisi <i>forward</i>
		0	Sensor tidak mendeteksi posisi <i>forward</i>

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan sebanyak lima, sensor *photoelectric* dapat mendeteksi posisi *homing* dan *forward* robot kartesian sumbu X dan sumbu Y yang berarti sensor *photoelectric* berfungsi dengan baik.

Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan berfungsi untuk menguji kinerja seluruh komponen yang digunakan untuk menyusun botol minuman. Pengujian dimulai dari robot kartesian yang berhasil mengambil dan meletakkan botol minuman pada posisi yang ditentukan. Selanjutnya silinder akan turun yang ditandai dengan aktifnya *reed switch* dan *suction pad* akan mencekam botol minuman untuk dibawa dari posisi pick ke posisi rak yang tersedia. Selain itu, sensor *photoelectric* juga akan diuji agar robot kartesian tidak bergerak melewati batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel (8).

Tabel 3. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan

No	Posisi Rak	Waktu (s)				
		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Percobaan 5
1	1.1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
2	1.2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
3	1.3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
4	1.4	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
5	1.5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
6	2.1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
7	2.2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
8	2.3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
9	2.4	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
10	2.5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
11	3.1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
12	3.2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
13	3.3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
14	3.4	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
15	3.5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
16	4.1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
17	4.2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
18	4.3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
19	4.4	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
20	4.5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
21	5.1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
22	5.2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
23	5.3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
24	5.4	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
25	5.5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali, semua komponen dapat beroperasi dengan baik sehingga berhasil mengambil dan meletakkan botol minuman pada tempat yang telah ditentukan.

KESIMPULAN

Setelah membuat rancangan dan melakukan pengujian pada mesin penyusunan botol minuman maka dapat disimpulkan bahwa Mesin penyusunan botol minuman dapat beroperasi secara otomatis menggunakan PLC sebagai kontroller. Robot kartesian memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat meminimalisir kesalahan dan meletakkan botol minuman sesuai dengan posisi yang telah

ditentukan. *Dual rod cylinder* mampu mengangkat botol minuman dengan masa 80 gram. *Suction pad* dengan diameter 20 mm dapat mencekam tutup botol dengan kekuatan 2,826 N atau setara dengan 288 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Boangmanalu, "Perancangan Pengisian Botol Minuman Sistem Kendali BLYNK Berbasis PLC CP1E," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2020.
- [2] A. Al Fahim, M. M. Rahman, M. W. Hridoy, and K. R. Uddin, "Development of a PLC Based Automation Cell for Industry," *J. Integr. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 87–100, 2023.
- [3] Frankfurt, "World Robotics 2023 Report: Asia ahead of Europe and the Americas," *IFR Press Room*, 2023. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>.
- [4] I Gede Suputra Widharma, I. K. R. Natih, I. G. J. K. Aditya, and N. K. A. Swantari, "Programmable Logic Controller (PLC) Sebagai Kontrol Pengawasan," Bali, 2021.
- [5] Bamai Uma, "Smart Manufacturing Menuju Revolusi Industri 4.0," 2022. [https://bamai.uma.ac.id/2022/11/10/smart-manufacturing-menuju-revolusi-industri-4-0/#:~:text=Apa itu Smart Manufacturing Menuju,meningkatkan keuntungan perusahaan secara keseluruhan. \(accessed Mar. 12, 2023\)](https://bamai.uma.ac.id/2022/11/10/smart-manufacturing-menuju-revolusi-industri-4-0/#:~:text=Apa%20itu%20Smart%20Manufacturing%20Menuju,meningkatkan%20keuntungan%20perusahaan%20secara%20keseluruhan.).
- [6] S. Nugrowibowo and M. Muslimin, "Smart Manufacturing: Latest Technologies And Applications In Industrial Engineering," *J. Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 305–310, 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i1.12374.
- [7] S. Huda and B. Setiyono, "Perancangan Protipe Penggambar Pola Batik Robot Kartesian 2 Dof Metode Pengurutan Data Koordinat Jarak Euclidean Berbasis Arduino Uno," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 552–559, 2018, doi: <https://doi.org/10.14710/transient.v7i2.552-559>.
- [8] S. Y. Dimpudus, V. C. Poekoel, and P. D. K. Manembu, "Sistem Pengepakan Botol Minuman Kemasan Berbasis Programmable Logic Controller," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 7, pp. 65–72, 2015.
- [9] E. Susanti and H. Sagala, "Desain Sistem Gerak Robot Quadruped Berbasis Arduino Menggunakan Bluetooth HC-05," *J. Sigma Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 20–31, 2019, doi: 10.33373/sigma.v2i1.1804.
- [10] N. Raharjo, "Rancang Bangun Monitoring Hasil Produksi Material Menggunakan Robot Spot Berbasis Web Pada PT Summit Adyawinsa Indonesia," Universitas Pelita Bangsa, 2019.
- [11] Zulkarnain and B. Suprianto, "Rancang Bangun Mesin PCB Milling Dengan Konfigurasi Kartesian Robot 3 Aksis," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 587–593, 2019.
- [12] A. A. Yufrida, L. P. Rahayu, and D. F. Syahbana, "Implementasi Kontrol Torsi Motor Servo Menggunakan Metode PI pada Sistem Automatic Pallet Dispenser," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.72970.
- [13] A. Syahril and M. F. Hidayat, "Perancangan Ulang Peralatan Pneumatik Berbasis Programmable Logic Control (PLC) Untuk Kegiatan Praktikum," *J. Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, no. April, pp. 40–49, 2018.
- [14] S. Manesis and G. Nikolakopoulos, *Introduction to Industrial Automation*. Florida: CRC Press, 2018.
- [15] G. Ria, M. G. A. Permana, and S. S. Utomo, "Perancangan Modul Latih Elektro Pneumatic Berbasis PLC," *J. Elektro Inform.*, vol. 02, no. 02, pp. 49–54, 2022.
- [16] I. K. Uzma, "Perancangan Alat Bantu Angkat Kabinet Dengan Mekanisme Vacuum (Grip) Untuk Mengurangi Beban Kerja Operator di PT. Yamaha Indonesia," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2019.
- [17] N. R. Zainal, "Pengaruh Posisi Sudut Optimum Reed Switch pada Motor Brushless DC Axial Fluk," *J. Arus Elektro Indones.*, pp. 6–10, 2018.
- [18] Kadirun, Hasanuddin, and Aryanto, "Penerapan Sistem Stop Sign Pada Pertigaan Jalan Berbasis Sensor Photoelectric Studi Kasus Pada PT. Chevron Pacific Indonesia," *J. Fasilkom*, vol. 5, no. 2, pp. 1–9, 2016.
- [19] S. S. Putra, "Prototipe Sistem Generator Termoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik Memanfaatkan Limbah Panas Pabrik Semen," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 573–583, 2023.