

## Pengembangan program PLC untuk alat pemilah benda berdasarkan warna berbasis diagram keadaan

Edi Rakhman<sup>1\*</sup>, Dodi Budiman Margana<sup>2</sup>, Tri Hannanto Saputra<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Kecamatan Parongpong, Kabupaten Bandung Barat 40559, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin, Politeknik ATMI

Jl. Adisucipto (Mojo) No. 01 Karangasem Laweyan Surakarta 57145, Indonesia

<sup>1\*</sup>[edr@polban.ac.id](mailto:edr@polban.ac.id), <sup>2</sup>[dodi.budiman@polban.ac.id](mailto:dodi.budiman@polban.ac.id), <sup>3</sup>[hannanto.saputra@atmi.ac.id](mailto:hannanto.saputra@atmi.ac.id)

### ABSTRAK

Untuk memecahkan solusi mesin berurutan (*sequential machine*) tidak cukup menggunakan diagram alir sebagai metode pemecahan masalah. Sebuah metode yang dapat memecahkan solusi membuat program pada mesin berurutan diantaranya adalah metode diagram keadaan (*state diagram*). Penerapannya berupa alat pemilah benda kerja berdasarkan warna, yang merupakan sebuah modul praktikum didesain untuk pembelajaran Sistem Otomasi Industri/Sistem PLC dengan pengendali PLC, yang menjadi obyek penelitian pada paper ini. Dengan sebuah konveyor, benda kerja yang terkategori 4 warna benda kerja dipilah dengan tepat dan diarahkan untuk masuk ke lokasi yang telah ditetapkan. Metode diagram keadaan diterapkan sebagai sebuah strategi perancangan program *ladder diagram* dan dapat menggantikan diagram alir sebagai sebuah algoritma pemrograman konvensional. Hasil akhir berupa rancangan dan implementasi program *ladder diagram* PLC dan diujicobakan ke sejumlah mahasiswa sebagai sebuah pembelajaran berbasis masalah. Dari ujicoba menggunakan pembelajaran berbasis masalah ini disimpulkan bahwa mahasiswa meningkat pemahaman atas permasalahan modul ini sekitar 38%.

**Kata kunci:** modul pemilah warna, metode diagram keadaan, *ladder diagram*, PLC

### ABSTRACT

To solve problems related to sequential machines, using flowcharts alone is often insufficient. One effective method for developing programs for sequential machines is the state diagram method. Its application can be seen in a workpiece sorting system based on color, which serves as a practical module designed for learning Industrial Automation Systems/PLC Systems using a PLC controller—this being the subject of the research presented in this paper. With the aid of a conveyor, workpieces categorized into four different colors are accurately sorted and directed to their designated locations. The state diagram method is applied as a strategy for designing the ladder diagram program and serves as an alternative to conventional programming algorithms typically based on flowcharts. The final outcome includes the design and implementation of a PLC ladder diagram program, which was tested on a group of students through a problem-based learning approach. The results indicate that students' understanding of the module's problem increased by approximately 38%.

**Keywords:** color sorting modules, state diagram, ladder diagram, PLC

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan logika mesin kendali berurutan (*batch process*) sering diperlukan untuk kendali mesin pada otomasi sistem. Pemrograman mesin keadaan (*state machine*) adalah teknik ampuh untuk dapat diterapkan pada logika *ladder diagram* tradisional untuk memenuhi kebutuhan ini [1]. Salah satu bentuk implementasi sistem ini dapat ditemukan pada proses pemilahan benda kerja (*sorting*) berdasarkan atribut tertentu seperti warna, ukuran, atau berat. Untuk merancang sistem kendali berurutan yang efektif, dibutuhkan pendekatan pemrograman yang tepat dan sistematis.

Secara tradisional, perancangan logika kendali pada sistem berurutan menggunakan *flowchart* sebagai metode pemecahan masalah. Meskipun metode ini cukup populer, dalam beberapa kasus *flowchart* memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi logika kompleks, transisi antar keadaan, dan interaksi antar elemen sistem yang dinamis. Oleh karena itu, metode diagram keadaan

(*state diagram*) menjadi alternatif yang lebih representatif untuk menggambarkan perubahan status suatu sistem secara sistematis dan modular. Metode ini memungkinkan pemrogram untuk merancang logika kendali yang lebih terstruktur, mudah ditelusuri, dan sesuai dengan prinsip kerja mesin berurutan.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem pemilah berbasis warna maupun atribut lainnya dengan pendekatan berbeda. Beberapa di antaranya masih menggunakan metode pemrograman tradisional [2], [3], [4] sementara yang lain telah mengadopsi metode diagram keadaan sebagai basis algoritmiknya [5], [6]. Bahkan, terdapat pula penerapan diagram keadaan pada sistem selain sorting, seperti sistem lift atau reaktor biodiesel berbasis PLC [7], [8]. Namun demikian, masih terdapat ruang untuk penelitian yang menggabungkan metode diagram keadaan dengan implementasi langsung dalam pembelajaran berbasis masalah (*problem-based learning*) guna meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap logika kendali berurutan.

Ketujuh topik di atas semuanya menggambarkan bagaimana metode diagram keadaan diterapkan baik pada mesin berurutan maupun yang dianggap bukan mesin berurutan. Ini dapat dijadikan sebagai rujukan perbandingan dengan apa yang dibuat pada paper penelitian ini. Adapun, pada penelitian ini lebih difokuskan pada proses perancangan program dengan menekankan pada bagaimana metode diagram keadaan diterapkan dan dapat dimengerti oleh peserta didik, yang dalam hal ini setingkat mahasiswa perguruan tinggi. Selama ini, untuk membuat program *ladder diagram* PLC hanya mengacu pada penggunaan diagram alir (*flowchart*) saja dalam memecahkan persoalannya. Ada beberapa catatan di akhir paper ini tentang keunggulan penggunaan metode diagram keadaan dibandingkan dengan menggunakan diagram alir.

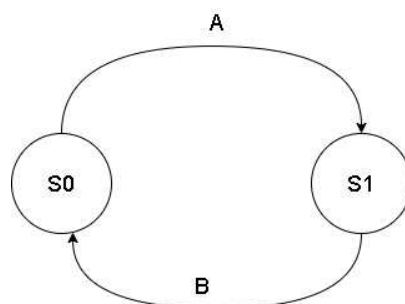
## 2. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan teori diagram keadaan, serta rancangan diagram keadaan dan rancangan *ladder diagram* untuk modul pemilah benda kerja berdasarkan warna. Selanjutnya diimplementasikan pada PLC dengan alat berupa modul konveyor yang dapat mendeteksi 4 buah jenis warna dan dapat memilahnya ke lokasi yang sudah ditentukan.

### 2.1 Perancangan Diagram Keadaan

Diagram keadaan adalah sebuah metode yang merepresentasi visual dari perilaku sistem yang terdiri dari serangkaian status atau keadaan yang mungkin dialami oleh sistem tersebut [9]. Diagram keadaan digunakan di dalam rekayasa perangkat lunak untuk menggambarkan bagaimana sistem bereaksi terhadap *input* dan bagaimana sistem bertransisi dari satu keadaan ke keadaan lainnya.

Hubungan yang sangat erat antara metode diagram keadaan dengan *ladder diagram* bahwa *ladder diagram* dapat dibentuk dari persamaan Aljabar Boolean (terbentuk dari gerbang NOT, OR, dan AND, serta turunannya) [10]. Sementara, diagram keadaan dapat dianalisis dan dibentuk menghasilkan persamaan Aljabar Boolean. Gambar 1 dapat menjadi contoh ilustrasi yang menghubungkan kedua entitas di atas.



Gambar 1. Hubungan dua status

Dari Gambar 1, persamaan Aljabar Boolean diperoleh untuk keadaan  $S_0$  (*state* pertama) seperti pada persamaan (1).

$$S_0 = (S_0 + B) \cdot \bar{A} \quad (1)$$

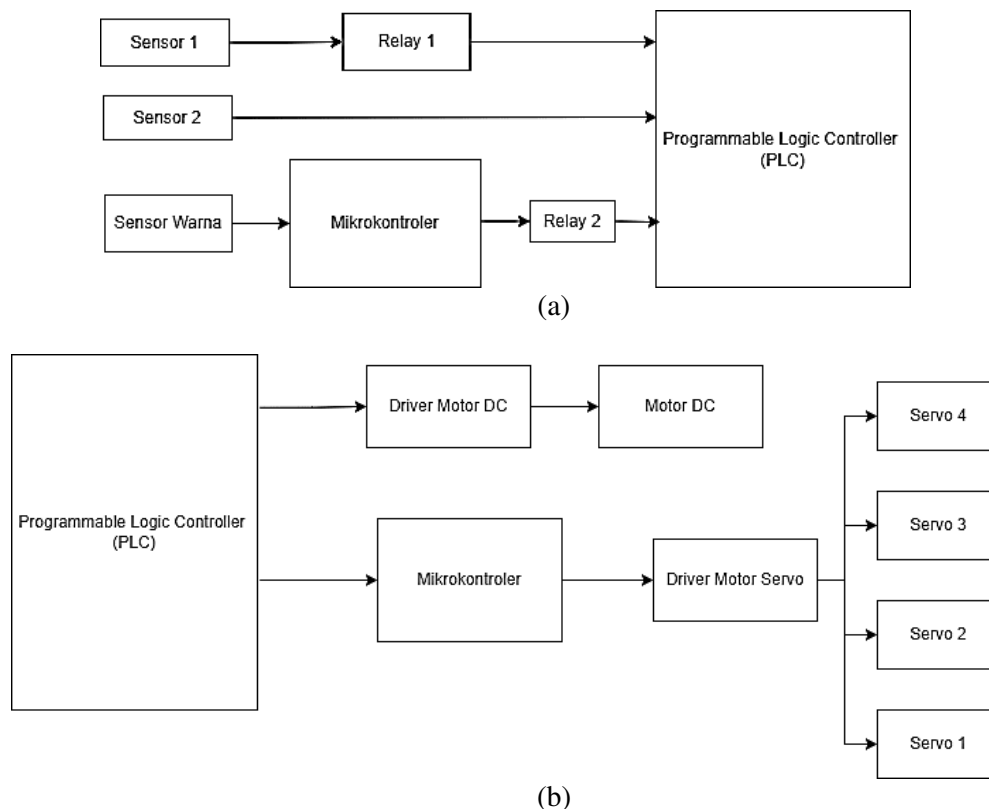
dan untuk *state* S1 (*state* berikutnya) seperti pada persamaan (2).

$$S1 = (S1 + A) \cdot \bar{B} \quad (2)$$

S0 tersebut ekivalen dengan S0 yang di-OR-kan dengan variabel B dan hasilnya di-AND-kan dengan NOT A. Begitu juga untuk S1 bahwa S1 ekivalen dengan S1 yang di-OR-kan dengan A dan hasilnya di-AND-kan dengan NOT B. S0 dan S1 menggambarkan variabel keadaan. Variabel A dan B menggambarkan transisi. Baik S0, S1, A, dan B adalah variabel bilangan biner sesuai dengan ranah Aljabar Boolean.

## 2.2 Rancangan Diagram Keadaan Modul Pemilah Benda Kerja Berdasarkan Warna

Sebagai acuan untuk merancang diagram keadaan, terlebih dahulu disajikan diagram blok modul pemilah warna pada Gambar 2 dan cara kerjanya dapat diperlihatkan pada Gambar 3 dengan bentuk berupa diagram alir.



**Gambar 2. Diagram blok *input* dan *output* modul pemilah benda berdasarkan warna berbasis PLC: (a) modul *input* PLC, (b) modul *output* PLC**

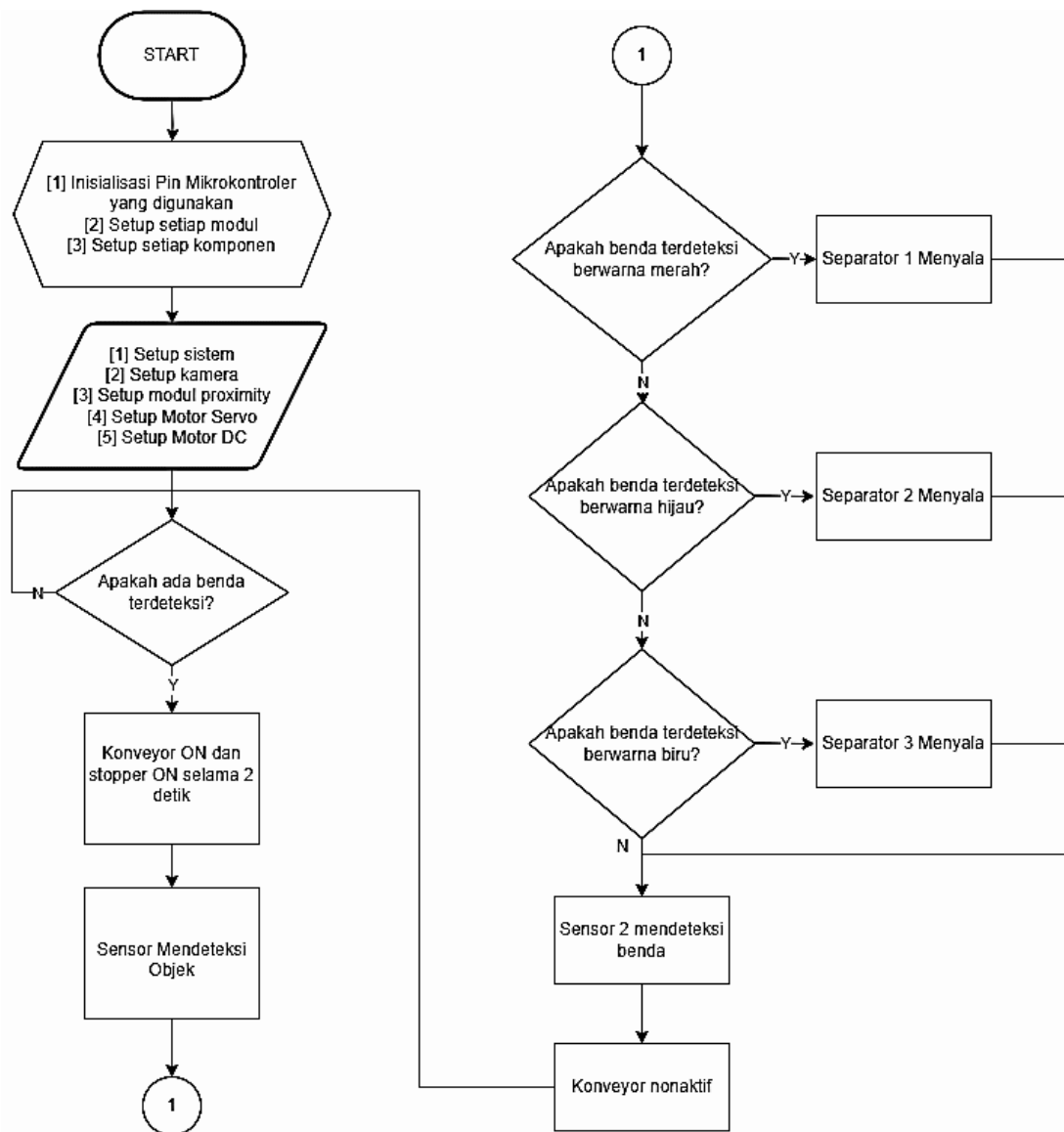
Dari Gambar 2(a) diketahui bahwa sensor 1 berupa *proximity (Normally Open)* sebagai sensor kedatangan benda kerja (ke kanal *input* PLC dengan sebuah relai), dan Sensor 2 berupa *photoelectric (Normally Open)* sebagai sensor akhir perjalanan benda kerja pada konveyor. Sementara itu, sensor Warna berupa TCS3200 yang diolah oleh mikrokontroler untuk mendeteksi dan mengkondisikan warna secara *encoding* menghasilkan 2-bit kode warna (hitam dengan dengan kode 00, biru dengan kode 01, biru dengan kode 10, dan merah dengan kode 11) [11] yang memerlukan 2 buah relai untuk mengaktualisasi 2-bit data digital menjadi kanal *input* PLC.

Untuk Gambar 2(b) yang melukiskan diagram blok *output* PLC. Sebuah kanal *output* PLC digunakan untuk menggerakkan konveyor melalui relai elektromagnetik 24VDC. Sedangkan, 4 kanal *output* PLC diumpankan terlebih dahulu ke mikrokontroler untuk kemudian diolah datanya agar dapat menggerakkan 4 buah motor servo, yang masing-masing adalah servo untuk *STOPPER*, *SEPARATOR1*, *SEPARATOR2*, dan *SEPARATOR3*.

Untuk merancang *ladder diagram* dari sebuah Diagram Keadaan, diperoleh tiga kelompok persamaan Aljabar Boolean [12], yakni:

- Kelompok Persamaan Program Transisi
- Kelompok Persamaan Program *State*
- Kelompok Persamaan Program *Output*.

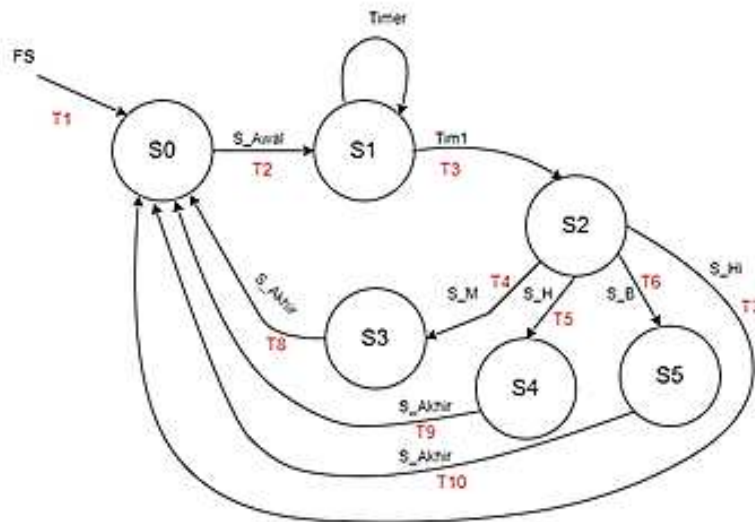
Untuk kelompok Persamaan Program Transisi dan Persamaan Program *State* (keadaan) disajikan ke dalam Tabel 1 dan Tabel 2 karena dilengkapi dengan keterangan transisi dan Keadaan tertentu. Penempatan kelompok *ladder diagram* haruslah dimulai dari program Transisi, lalu *State*, dan diakhir dengan kelompok *ladder diagram* dari *output*.



**Gambar 3. Diagram alir cara kerja alat/modul**

Berdasarkan alur logika Gambar 3, dapat disusun diagram keadaan seperti pada Gambar 4. Diagram keadaan yang terbentuk menghasilkan 5 buah Keadaan, dimulai dari S0 yang ditandai dengan FS (*first state*) atau dapat juga sebagai posisi *RUN* (alat aktif siap menerima data berupa kedatangan benda kerja pada ujung konveyor dengan sensor kedatangan (Sensor 1), tetapi keadaan *output*-nya non-aktif semua. Jika Sensor 1 aktif, maka konveyor aktif membawa benda kerja ke lokasi pendeteksi warna (keadaan S1) dan *timer* aktif selama waktu tertentu (misalnya 3 detik). Setelah pendeteksi warna dapat menentukan kode warna, maka pengkondisi sensor warna mengeluarkan 2-bit kode warna yang

mengumpukan 2 kanal *input* PLC sebagai kode warna dan dinyatakan sebagai variabel S\_M=merah, S\_H=hijau, S\_B=biru, dan S\_Hi=hitam. Dari gambar tersebut, S3 itu keadaan yang mengaktifkan *SEPARATOR1*, S4 itu keadaan yang mengaktifkan *SEPARATOR2*, dan S5 adalah keadaan yang mengaktifkan *SEPARATOR3*. Sedangkan, S\_Hi sebagai benda kerja warna hitam langsung menuju lokasi paling ujung. Hal ini tidak menggerakkan satu pun *separator*. Ketika S\_Akhir berlogika 1, maka semua *output* akan kembali non aktif. Siklus kerja kembali berulang menanti datangnya benda kerja berikutnya yang dipindai oleh Sensor 1.



Gambar 4. Diagram keadaan sistem

Tabel 1 adalah relasi antara *State* (Keadaan) yang terbentuk dengan *output* sistem. Untuk kelompok Persamaan Transisi dan Persamaan Keadaan disajikan ke dalam Tabel 2 dan 3 dan yang dilengkapi dengan keterangan transisi dan Keadaan *output* tertentu. Penempatan kelompok *Ladder Diagram* haruslah dimulai dari program Transisi, lalu *state*, dan diakhir dengan kelompok *Ladder Diagram* untuk *output*.

Tabel 1. Relasi antara keadaan dengan *output*

Keadaan	Konveyor	Stopper	Separator 1	Separator 2	Separator 3
S0	0	0	0	0	0
S1	1	0	0	0	0
S2	1	1	0	0	0
S3	1	0	1	0	0
S4	1	0	0	1	0
S5	1	0	0	0	1

Kelompok Persamaan Program Transisi

Tabel 2. Persamaan Program Transisi

Kode dan Persamaan Transisi	Keterangan
T1=START	Posisi alat dalam kondisi RUN
T2= S_Awal	Sensor kedatangan benda kerja
T3=Tim1	Saklar timer aktif untuk menggerakkan STOPPER
T4= S_M	Kode warna merah
T5= S_H	Kode warna hijau
T6= S_B	Kode warna biru
T7= S_Hi	Kode warna hitam
T8= S_Akhir	Sensor akhir perjalanan benda kerja
T9= S_Akhir	Sensor akhir perjalanan benda kerja
T10= S_Akhir	Sensor akhir perjalanan benda kerja

## Kelompok Persamaan Program Keadaan

Tabel 3. Persamaan Keadaan

Kode dan Persamaan State	Status Output
$S0 = (S0 + T1+T8). \overline{T2}$	Posisi <i>standby</i> (semua <i>output off</i> )
$S1 = (S1 + T2). \overline{T3}$	KONVEYOR aktif
$S2 = (S2 + T3). \overline{T4}. \overline{T5}$	STOPPER aktif
$S3 = (S3 + T4). \overline{T8}$	SEPARATOR1 aktif
$S4 = (S4 + T5). \overline{T9}$	SEPARATOR2 aktif
$S5 = (S5 + T6). \overline{T10}$	SEPARATOR3 aktif

## Kelompok Persamaan Program Output

$$\text{KONVEYOR} = S1+S2+S3+S4+S5$$

$$\text{STOPPER} = S2$$

$$\text{SEPARATOR1} = S3$$

$$\text{SEPARATOR2} = S4$$

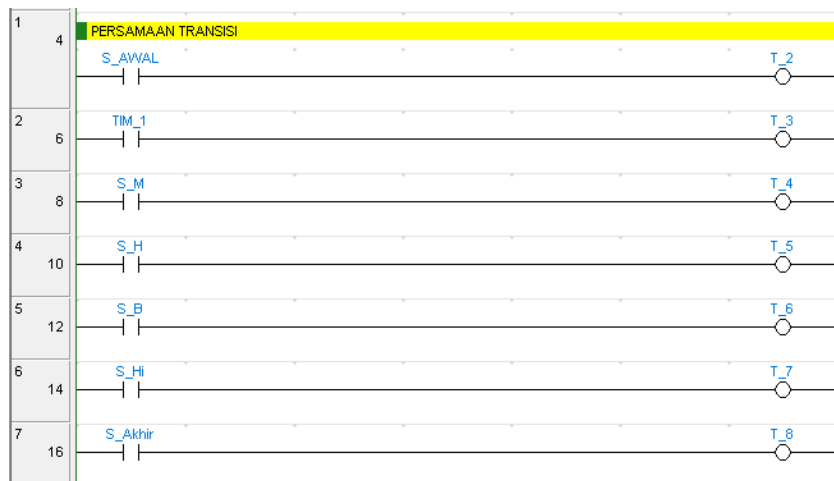
$$\text{SEPARATOR3} = S5$$

Kelompok persamaan terakhir ini dibentuk berdasarkan Tabel 1, yakni relasi antara Keadaan dengan *output* terkait hasil interpretasi deskripsi kerja yang telah diuraikan di atas. Pada persamaan itu terlihat bahwa konveyor dipengaruhi oleh S1 hingga S5, dalam arti sepanjang perjalanan benda kerja, konveyor tersebut tetap aktif. STOPPER adalah *output* yang digunakan untuk menahan benda kerja selama proses pendeteksian warna oleh sensor warna. Diperlukan beberapa detik untuk menundanya. Keadaan S3 hingga S5 adalah waktu aktifnya SEPARATOR1, SEPARATOR2, dan SEPARATOR3 sesuai dengan warna merah, hijau, atau biru. Sedangkan, warna hitam tidak menggerakkan ketiga separator.

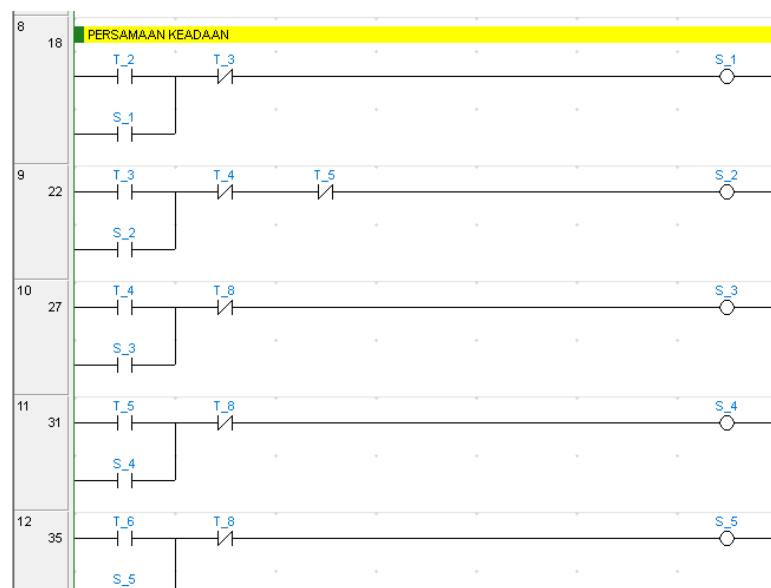
Untuk menginterpretasi Tabel 2. dan Tabel 3. digunakan sifat tabel karakteristik gerbang logika digital [13], [14], [15] untuk menghasilkan kode program *ladder diagram*. Dengan demikian, program *ladder diagram* untuk modul pemilah benda kerja berdasarkan warna dibentuk atas dasar perancangan melalui metode diagram keadaan.

### 2.3 Rancangan Ladder Diagram

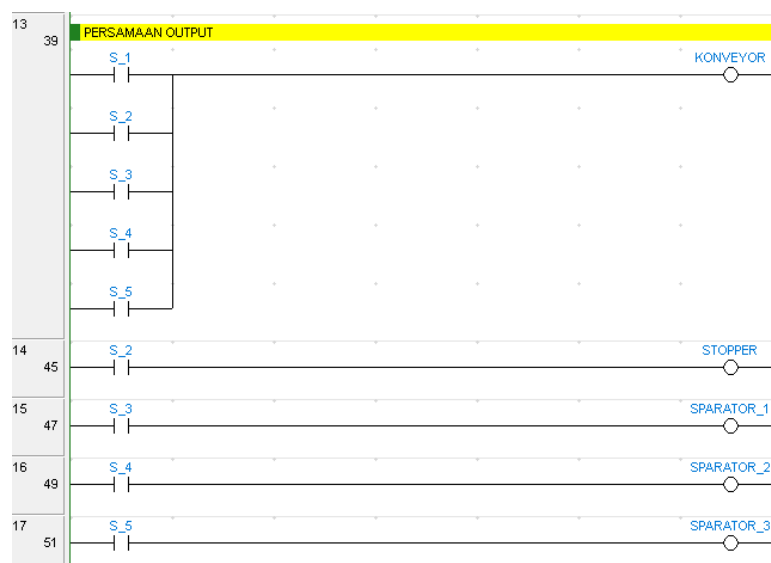
Ketiga kelompok persamaan yang telah diuraikan di atas kemudian diterapkan pada *ladder diagram* PLC. Output persamaan Aljabar Boolean menjadi *output* pada *ladder diagram* [16], [17]. Pengujian pertama kali dilakukan dengan menggunakan simulator yang dimiliki oleh perangkat lunak *developer* PLC yang digunakan. Yang diamati adalah interaksi hubungan antar *input* PLC dengan *output*. Gambar 5 dan Gambar 6 melukiskan *ladder diagram* untuk Persamaan Program Transisi dan Persamaan Program Keadaan yang tidak seluruhnya ditampilkan di sini. Dengan membaca Tabel 2. dan Tabel 3. saja sudah tergambar hubungan antara bagian *output* dan *input Ladder Diagram* untuk Persamaan Program Transisi dan Persamaan Program Keadaan. Dengan metode Diagram Keadaan, program diimplementasikan berdasarkan hasil penyusunan metode tersebut dan bukan dari diagram alir seperti pada Gambar 3.



Gambar 5. Cuplikan *ladder diagram* untuk Persamaan Transisi



Gambar 6. Cuplikan *ladder diagram* untuk Persamaan Keadaan



Gambar 7. *Ladder diagram* untuk Persamaan Output

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan menggunakan diagram keadaan dan *ladder diagram* selanjutnya diimplementasikan pada modul pemilah benda kerja berdasarkan empat buah warna dengan kode warna hitam, hijau, biru, dan merah yang tersaji pada Gambar 8. Dari *ladder diagram* yang terbentuk yakni transisi, keadaan, dan *output*-nya. Ada ketidaksinkronan antara Persamaan Program Transisi dengan *ladder diagram* yang terbentuk. Transisi yang diperoleh dari *Timer*, yakni Tim1 sebenarnya berasal dari *output Timer* Tim1 yang digerakkan secara *latch/self-holding* oleh sensor S\_Awal. Maksudnya, *ladder diagram* yang diperoleh dari hasil perancangan menggunakan metode Diagram Keadaan, tidak persis sama, yakni diambil dari ketiga kelompok persamaan yang terbentuk dari metode tersebut. Seperti contoh yang disebutkan di atas, yakni persoalan penggunaan *Timer*. Selain itu, keadaan S0, dapat ditulis atau pun tidak pada *ladder diagram*, tidak berpengaruh.

Metode diagram keadaan yang digunakan pada penelitian ini menjadi bagian dari algoritma pemrograman, khususnya untuk memprogram *ladder diagram* PLC. Kontribusi metode ini akan menjadi signifikan untuk memecahkan solusi persoalan yang rumit dan bercabang seperti hanya pemilihan arah benda hasil klasifikasi warna. Dengan begitu akan lebih terasa lagi manfaatnya jika diterapkan pada sistem multi konveyor karena akan menghasilkan percabangan pemilihan yang lebih kompleks.



**Gambar 8. Realisasi perangkat modul yang dibuat**

Sehubungan dengan tujuan perancangan program *ladder diagram* menggunakan metode diagram keadaan yang diterapkan pada modul praktikum, khususnya pada matakuliah Sistem Otomasi Industri atau Sistem PLC untuk menerapkan Pembelajaran Berbasis Masalah, maka modul ini diujicobakan pada sejumlah mahasiswa yang pernah mendapatkan ilmu dasar logika/elektronika digital. Meskipun belum mendapatkan Pelajaran penuh penggunaan PLC. Dengan sistem evaluasi angket yang diterapkan sebelum dan setelah kegiatan praktikumnya, peserta didik/mahasiswa diberi panduan praktikum dan disodorkan sejumlah pertanyaan penting sehubungan dengan penerapan metode PBL, maka Tabel 4 adalah data hasil pengujian sebelum dan setelah kegiatan praktikum [18], [19], [20].

### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan modul praktikum berupa perangkat modul pemilah benda berdasarkan warna berbasis PLC sebagai pengendalinya. Metode diagram keadaan yang diterapkan menjadi acuan untuk praktikum yang didesain menggunakan pembelajaran berbasis masalah (PBL) yang dilakukan secara bertahap. Metode diagram keadaan itu sendiri menjadi strategi algoritma untuk memecahkan solusi program berbasis PLC pengganti algoritma diagram alir. Hasilnya berupa sebuah alat konveyor pemilah benda yang dapat menggerakkan benda kerja tersortir warna. Dari ujicoba PBL ini disimpulkan mahasiswa dapat meningkatkan pemahamannya atas permasalahan modul ini sekitar 38%.

**Tabel 4. Hasil survey penggunaan modul dan panduan praktikum**

No.	Pertanyaan	Sangat Paham/Tahu		Paham/Tahu		Kurang Paham/Tahu		Tidak Paham/Tahu	
		SBL	STL	SBL	STL	SBL	STL	SBL	STL
1	Apakah anda memahami proses belajar dengan menggunakan Problem Based Learning (PBL)?	8%	8%	24%	75%	70%	20%	17%	0%
2	Apakah anda mengetahui tujuan praktikum Program Pemisahan Benda Kerja Berdasarkan metode PBL?	22%	24%	24%	63%	53%	14%	5%	0%
3	Apakah anda mengetahui perbedaan pembelajaran konvensional dan PBL dalam merancang suatu alat?	16%	16%	24%	65%	47%	12%	10%	0%
4	Apakah anda paham/tahu sistem pensaklaran/switching untuk pengendalian motor listrik seperti Latching, Sekuensial, interlock, dan time on delay/time off delay?	6%	18%	12%	41%	69%	25%	50%	6%

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai penelitian ini pada skema Penelitian Pengembangan Laboratorium berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian B/1.9/PL1.R7/PG.00.03/2024, tanggal 1 Maret 2024.

## REFERENSI

- [1] G. Smith, "Advanced Method of State Machine Programming in Ladder Logic," *Technical Article of Control Automation*. *Control Automation*, 16 11 2020. [Internet] <https://control.com/technical-articles/state-machine-programming-in-ladder-logic-2/>. 2020.
- [2] M. I. Sari, H. Handayani, S. Siregar, and B. Isnu, "Pemilah Benda Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Warna TCS3200," *TELKA*, vol. 4, no. 2, pp. 85-90, 2018.
- [3] S. U. Abdulla, M. Saifudeen, C. Kunhimohamed, S. Sahna, and M. S. Gokul, "Automatic Color Sorting Machine Using TCS230 Color Sensor and PIC Microcontroller," *International Journal Research and Innovations in Science and Technology*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [4] M. M. Yusuf, M. Mardiono, and S. W. Lestari, "Rancang Bangun Alat Pemilah Barang Berdasarkan Warna dan Berat," *Jurnal Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [5] F. Fahmizal, "Simulator Penyortiran Barang Rusak dengan Metode State Diagram," *Universitas Gadjah Mada Menara Ilmu Otomasi Departemen Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada*. [Internet]. <https://otomasi.sv.ugm.ac.id/2020/01/07/simulasi-penyortiran-barang-rusak-dengan-metode-state-diagram-menggunakan-fx-trainer/>; 2020.
- [6] E. Iskandar and R. Nicco, "Ladder Diagram base on State Diagram for Selection and Assembling Part on Dual Conveyor," *JAREE*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [7] R. D. Puriyanto, S. A. Akbar, and A. Aktawan, "Desain Sistem Biodisel Berbasis PLC berdasarkan Diagram Keadaan," *Jurnal Ilmu Teknik Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 4, no. 20, 2018.
- [8] E. Rakhman, D. N. Bagenda, and N. C. Basjaruddin, "Perancangan Simulator Lift 3 Lantai Menggunakan Diagram Keadaan," *JITEL*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [9] I. Setiawan, *Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem*, Yogyakarta: Andi, 2006.

- 
- [10] K. Kuphaldt, R. Tony, *Lessons In Electric Circuits*, Volume IV – Digital, *Creative Commons License*; 2021.
- [11] M. Awahar, K. C. Divya, and V. Thankaiselvan, "Sensor based color sorting system for leather shoe components," in *Proc. 2017 3rd IEEE Int. Conf. Sensing, Signal Process. Secur. ICSSS 2017*, 2017.
- [12] G. Schmidt, *Advanced Methods of State Machine Programming in Ladder Logic* [Internet] <https://control.com/technical-articles/state-machine-programming-in-ladder-logic-2/>; 2020
- [13] S. Brown and Z. Vranesic, *Fundamentals of Digital Logic with Verilog Design*, Newyork: McGraw-Hill, 2014.
- [14] K. Subir, K. D. Asish, and S. Souvik, *Foundation of Digital Electronics and Logic Design*, Pan Stanford Publishin, 2014.
- [15] K. H. John and M. Tiegelkamp, IEC 61131-3: Automation Programming Industrial Systems, *Springer-Verlag*, 2010.
- [16] D. N. Bagenda, N. C. Basjaruddin, E. Darwati, and E. Rakhman, "Development of An Elevator Simulator to Support Problem-Based Electric Motor Control Practicum for Vocational High School Student," *Invotek*, vol. 21, no. 2, pp. 139-148, 2021.
- [17] A. Ardiansyah and O. Hidyatama, "Rancang Bangun Prototipe Elevator Menggunakan Microcontroler Arduion ATmega 328P," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu*, pp. 100 - 112, 2013.
- [18] N. C. Basjaruddin, *Pembelajaran Mekatronika Berbasis Proyek*, Yogyakarta: Deepublish, 2015.
- [19] M. A. Firdaus and P. W. Rusimamto, "Perancangan dan Pembuatan Modul Praktikum Trainer Lift Berbasis PLC pada Mata Pelajaran Instalasi Motor Listrik di SMK Krian 1 Sidoarjo," *Jurnal Pendidikan Teknologi Elektro*, vol. 9, no.1, pp. 193-197, 2020.
- [20] B. C. Lima, H. M. Paiva, R. O. A. Marcos, and M. Maximo, "Teaching Robotic Concepts Using Project-Based Learning: A Case Study," *Conferences IEEE World Engineering*, 2024.