



Research article

## Perancangan Sistem Otomatis Berbasis PLC pada Mesin Injeksi Cetak Plastik Tipe Vertikal

Agus Purnomo<sup>1</sup>, Adhes Gamayel<sup>1,\*</sup>, M Zaenudin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Indonesia

\*Corresponding author: [adhes@jgu.ac.id](mailto:adhes@jgu.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : 01 May 2024

Revised : 29 June 2024

Accepted : 09 August 2024

Available online: 19 August 2024

**Keywords:** Efficiency; injection molding; PLC; temperature

### ABSTRACT

*The PLC System in Vertical Plastic Injection Molding Machine is an automated electrical system designed with sensor inputs controlled by a PLC Mitsubishi FX0s-20MR. It is supplemented with additional devices such as Proximity switches and Thermocouple PID-CX100. The research aims to analyze the heater temperature to control the movement of the injection piston for controlled movement, enhancing the efficiency of the molding injection process, and preventing operational errors that could affect the machine's condition, performance, and the molding results. From the experiments conducted, it was found that the settings producing specimens with near-perfect or perfect results were in experiments number 5 and 6. The injection time in these experiments was successfully adjusted using a timer setting in the PLC program, with an automatic injection time of 15 seconds. Based on these results, it can be concluded that the optimal settings for the molding process using PP material in this equipment are a temperature of 200-210°C, pressure of 4-5 bars, and injection time of 15 seconds.*

### ABSTRAK

Sistem PLC pada Mesin Injeksi Cetak Plastik Tipe Vertikal adalah sebuah rancangan sistem otomatisasi dan pengamanan secara elektrik yang menggunakan sensor sebagai input elektrik, dikontrol dengan PLC Mitsubishi FX0s-20MR, dan dilengkapi dengan perangkat tambahan seperti *proximity switch* dan *thermocouple* PID-CX100. Penelitian ini bertujuan untuk

**Kata Kunci:** Efisiensi, injeksi cetak; PLC; temperatur

menganalisis temperatur pada *heater* guna mengatur pergerakan injeksi piston agar terkontrol, meningkatkan efisiensi proses cetak injeksi, serta mencegah kesalahan operasional yang dapat mempengaruhi kondisi dan performa mesin serta hasil dari proses *molding* tersebut. Dari hasil percobaan, ditemukan bahwa pengaturan yang menghasilkan spesimen dengan hasil mendekati sempurna, bahkan sempurna, terdapat pada percobaan nomor 5 dan 6. Waktu injeksi pada percobaan tersebut berhasil diatur menggunakan pengaturan pewaktu pada program PLC, dengan waktu injeksi secara otomatis sebesar 15 detik. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengaturan yang optimal untuk proses cetak menggunakan bahan PP pada alat ini adalah suhu 200-210°C, tekanan 4-5 bar, serta waktu injeksi 15 detik.

## 1. PENDAHULUAN

Untuk memenuhi tuntutan industri saat ini, diperlukan perangkat pengendali yang mampu beroperasi dengan cepat dan efisien. Salah satu solusinya adalah menggunakan *programmable logic controller* (PLC). Sistem ini bergantung pada data memori yang dapat diprogram untuk menyimpan perintah atau instruksi secara internal. Fungsi-fungsi spesifik yang dapat diimplementasikan oleh PLC mencakup urutan, logika, pewaktuan, pencacahan, dan operasi aritmetika. PLC memungkinkan pengendalian yang fleksibel dan terukur dalam proses produksi industri, sehingga memberikan kelebihan berupa sistem yang *robust* dan andal [1]. Dalam implementasi modern, tidak hanya masalah pengkabelan yang harus dipertimbangkan, tetapi juga penggunaan berbagai komponen lainnya seperti pengontrol transfer, motor *servo*, solenoid, dan lainnya. Berbeda dengan platform Arduino yang lebih fokus pada penghubungan kode, dalam industri diperlukan kualitas yang *robust* dan andal. Oleh karena itu, penting untuk memilih komponen yang dapat memberikan kinerja yang andal dan tahan lama dalam lingkungan industri yang sering cenderung berat [2].

PLC digunakan untuk mengatur siklus kerja secara berurutan dengan kompleksitas yang berkurang, dari berbagai jenis operasi seperti pengendalian mesin instrumen, mesin infus, proses pemadatan, perakitan garis produksi, galvanisasi media, perpindahan garis, pengendalian robot modern, dan lain sebagainya [3], [4]. Sistem pengontrolan pada PLC sering kali menyerupai *programmable controller* (PC) yang umum digunakan, yang terdiri dari perangkat keras dan bagian pemrograman yang disimpan dalam memori programnya. Komponen perangkat keras meliputi catu daya, unit pemrosesan, dan modul *input/output* (I/O) yang berfungsi untuk menerima dan mengirimkan informasi atau hasil yang berbeda. Jenis aplikasi dan model PLC yang tersedia dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan aplikasi pemrograman tertentu [4]. Pemrograman pada PLC dirancang untuk penggunaan yang lebih sederhana dan jelas, tidak rumit (terutama untuk pengguna awam), berbeda dengan PC yang lebih umum. PLC tidak memiliki *drive* piring atau CD, tetapi lebih fokus pada *port* koneksi, terminal *input/output*, dan program yang disimpan dalam memori permanen yang tidak hilang ketika mesin dimatikan atau kehilangan daya. PC, di sisi lain, adalah unit komputasi kompleks yang mampu menjalankan berbagai proyek secara bersamaan dan merespons permintaan yang beragam, sementara PLC menjalankan program secara keseluruhan secara sistematis dan berurutan, dari awal hingga akhir. Salah satu perbedaan utama antara PLC dan PC adalah bahasa pemrograman yang digunakan. [5], [6].

Pengembangan PLC tidak hanya berfokus pada dunia industri, namun kadang pula pada

skala laboratorium misalnya berupa konveyor otomatis pendeteksi dan pemilih berdasarkan bobot dan untuk keperluan pengembangan teknologi tepat guna untuk menunjang pembelajaran berupa *trainer* pneumatika [7], [8], [9]. Pemrograman perancangan sistem otomatis mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal dengan menggunakan PLC dinilai merupakan pilihan terbaik sebagai pusat kontrolnya, di mana mesin injeksi plastik manual tipe vertikal [10], [11]. Beberapa mekanisme untuk mencetak produk melibatkan pengaturan tekanan, tingkat suhu pada *chamber*, dan suhu pencetakan yang sesuai untuk mendapatkan hasil cetak plastik yang baik.

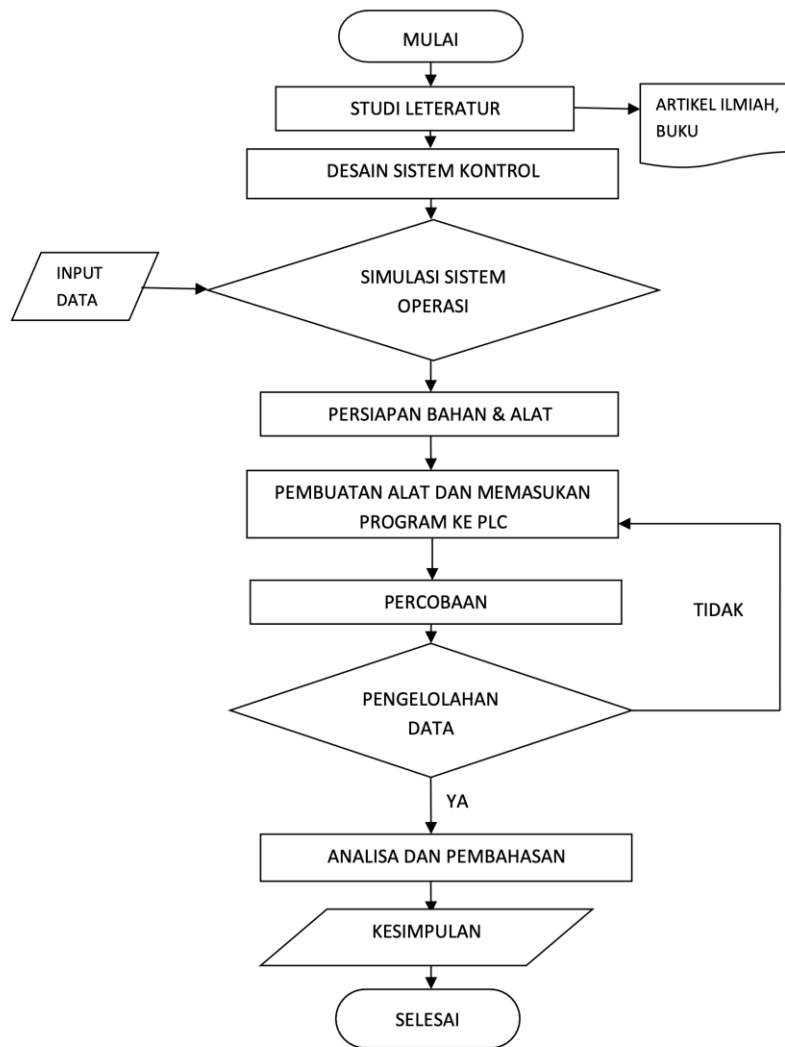
## 2. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian yang disampaikan pada naskah ini secara lengkap tergambar pada diagram alir di Gambar 1. Proses dibuat berurutan sedemikian rupa agar mampu memberikan gambaran secara utuh mengenai bagaimana proses perancangan sistem otomatis berbasis PLC pada mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal dilakukan pada penelitian ini.

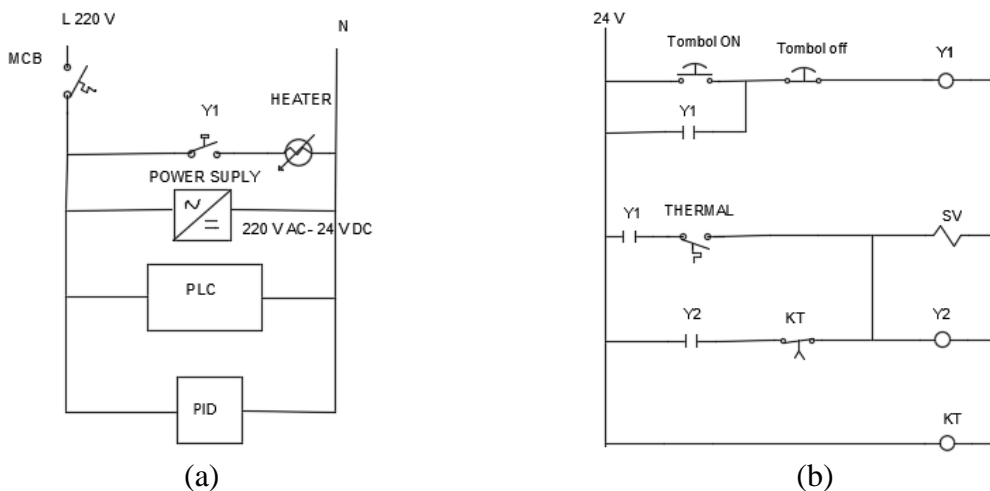
Selanjutnya, untuk membuat suatu mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal yang otomatis, maka diperlukan sistem pengkabelan yang dibuat sesederhana mungkin, namun sesuai dengan kebutuhan. Oleh sebab itu, diperlukan sebuah *wiring diagram*. *Wiring diagram* adalah representasi visual dari instalasi kabel dalam suatu sistem kelistrikan. Diagram ini menggambarkan koneksi kabel dan perangkat yang digunakan dengan menggunakan simbol-simbol yang merujuk pada perangkat kelistrikan. Setiap perangkat memiliki kode alamat yang bertujuan untuk memudahkan pembacaan rangkaian pada sistem elektrik tersebut, sehingga memfasilitasi pemahaman teknisi/pengguna gambar terhadap sistem rangkaian. Dengan demikian, *wiring diagram* mempermudah dalam melakukan perbaikan saat terjadi kerusakan pada sistem. Gambar 2 merupakan *wiring diagram* yang digunakan dalam perancangan sistem PLC pada mesin injeksi plastik tipe vertikal.

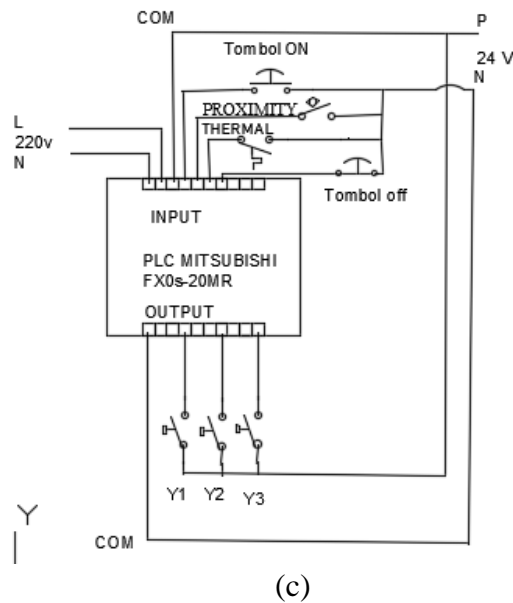
Dalam perancangan ini, sistem direalisasikan melalui pembuatan desain mesin dan instalasi perangkat. Sistem diatur menggunakan sensor sebagai masukan yang dipasang pada silinder piston pneumatik dan pemanas (*heater*). Sedangkan luarannya difokuskan pada pengoperasian *heater* dan katup solenoid untuk mengatur suhu pencetakan dan menggerakkan silinder pneumatik. Plastik yang dipanaskan di atas titik lelehnya akan meleleh dan mengalami proses pencairan serta dekomposisi komposisi pembentukannya. Proses dekomposisi ini dipengaruhi oleh laju aliran panas dan pemutusan ikatan rantai molekul.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui percobaan menggunakan program PLC dan uji coba sistem pada alat injeksi cetak plastik tipe vertikal. PLC diprogram menggunakan diagram *ladder* sesuai dengan perangkat yang digunakan dan gerak serta sistem kontrol mesin yang diinginkan. Sebagai contoh, piston pendorong injeksi akan bergerak maju saat temperatur mencapai titik leleh bahan plastik yang disesuaikan, dengan sistem jeda yang diatur melalui pewaktu pada PLC. Data tambahan yang diperlukan untuk pengoperasian perangkat yaitu berupa titik leleh pada polimer tertentu, mengingat masing-masing polimer seperti *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), *polystyrene* (PS), *polymethylmethacrylate* (PMMA), *high density polyethylene* (HDPE), dan *polyvinyl chloride* (PVC) memiliki titik lelehnya masing-masing.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



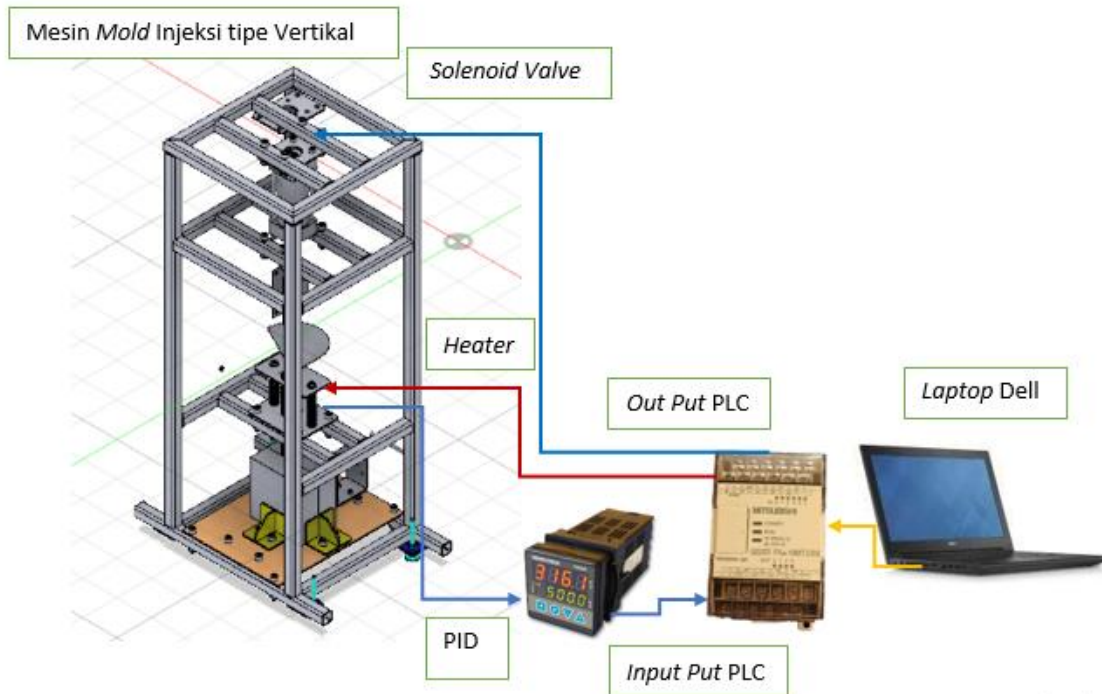


**Gambar 2.** Wiring diagram rangkaian elektronik mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal (a) pengkabelan catu daya, (b) pengkabelan PLC, dan (c) pengkabelan I/O.

Keterangan:

Simbol	Fungsi
Y1	Keep Relay and Heater On
Y2	Keep Relay to Timer
SV	Output Solenoid Valve
KT	Timer
LS1	Limit Swicth 1
LS2	Limit Swicth 2

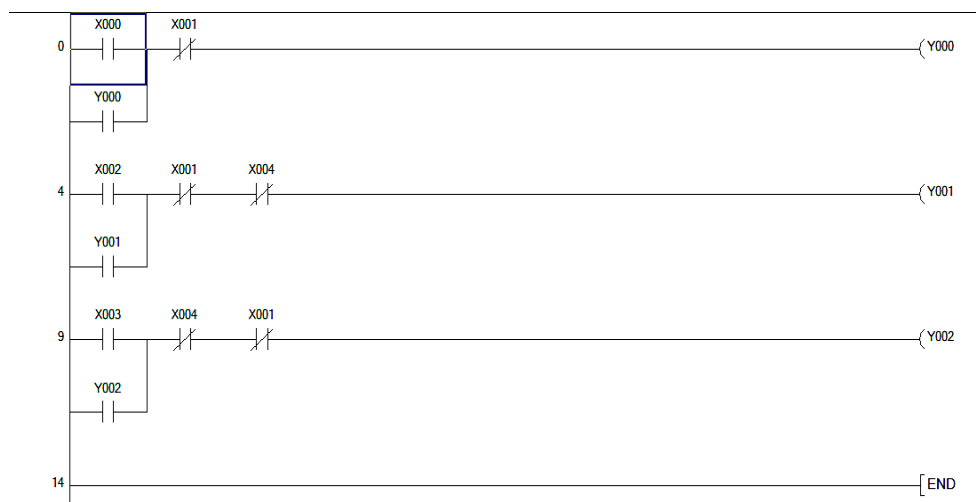
Selain *wiring diagram*, khusus pada penggunaan PLC diperlukan juga sesuatu yang disebut dengan *ladder diagram*. *Ladder diagram*, atau yang sering disingkat sebagai “LD”, merupakan bahasa pemrograman pada PLC yang menggunakan simbol-simbol logika. Bahasa pemrograman ini sering disebut juga sebagai Diagram Tangga. *Ladder diagram* adalah salah satu bahasa pemrograman tertua pada PLC yang berbasis sistem logika. Sebelum melakukan perancangan dan implementasi pada mesin sebenarnya, dilakukan percobaan dan simulasi menggunakan PLC *simulator*. Setelah dilakukan simulasi dengan diagram *ladder* pertama dan diaplikasikan ke dalam aplikasi PLC *simulation*, ditemukan bahwa pergerakan pada sistem simulasi kurang efisien karena tidak ada penundaan waktu pada pergerakan *output* yang disimulasikan. Untuk mengatasi hal ini, *timer* ditambahkan dalam perancangan diagram *ladder* kedua. Setelah dibuatnya diagram *ladder* kedua dan dilakukan simulasi menggunakan aplikasi PLC *simulator*, pergerakan sistem dengan penundaan waktu bekerja secara otomatis sesuai dengan pengaturan waktu pada *timer*, sehingga didapatkanlah suatu diagram *ladder* yang efektif dan efisien.



**Gambar 3.** Rancangan instalasi perangkat pada mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal.

Daftar komponen dan jumlahnya:

1. Plc Mitsubishi Fx0s-20mr (1)
2. Mcb (1)
3. Power Suply (1)
4. Relay (4)
5. Pid-Cx100 (2)
6. Proximity Switch (1)



**Gambar 4.** Ladder diagram dengan GX Work pada mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal.

Daftar simbol diagram dan keterangannya:

Simbol	Keterangan
X0	Tombol ON <i>heater</i>
X1	Tombol OFF <i>power supply</i>
X2	Sinyal <i>input</i> indikator <i>heater</i>
X3	Tombol ON injeksi
X4	Tombol OFF injeksi
Y1	<i>Heater</i> ON
Y2	Lampu indikator suhu terpenuhi
Y3	Solenoid <i>valve</i> pneumatika injeksi

### 3. HASIL DAN DISKUSI

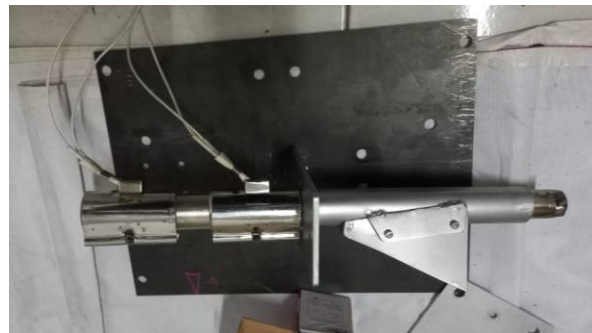
Setelah melalui beberapa tahap pengujian yang telah dirancang dan disusun dengan cermat, hasil pengujian yang telah dirakit akan disertakan dalam analisis yang mendalam. Dalam kesimpulan ini, peneliti akan membahas temuan utama yang dihasilkan dari pengumpulan dan analisis data tersebut, serta implikasi serta potensi arah penelitian masa depan yang dapat diambil dari hasil ini.

#### 3.1 Perakitan Alat

Proses perakitan alat ini dimulai dengan pemasangan komponen elektrik pada panel mesin sesuai dengan wiring diagram yang telah direncanakan sebelumnya. Selanjutnya, dilakukan pemasangan komponen *heater* ke barel rangka mesin, di mana setiap barel menggunakan dua buah *heater* dengan daya masing-masing sebesar 18 Watt. Proses ini memastikan bahwa sistem pemanasan dapat berfungsi secara efektif. Langkah terakhir adalah pemasangan barel yang sudah dilengkapi dengan *heater* ke rangka mesin, yang juga melibatkan pemasangan sensor dan instalasi pengkabelan untuk memastikan semua komponen terhubung dengan baik. Dengan demikian, proses perakitan ini merupakan langkah penting dalam menyusun alat sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya, memastikan bahwa setiap bagian terpasang dengan tepat dan dapat berfungsi secara optimal.



(a)



(b)





(c)



(d)

**Gambar 5.** Proses perakitan mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal (a) instalasi kabel dan komponen elektrik, (b) pemasangan *heater* dan barrel, (c) pemasangan cetakan (*modal*), dan (d) perakitan pada rangka alat.

Untuk mengetahui apakah perancangan sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian performa mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal dengan beberapa setingan temperatur, tekanan angin, waktu, pada setingan temperatur rancangan ini menggunakan PID-CX100, di mana masukan kontak PID digunakan sebagai indikator lampu temperatur sudah mendekati suhu pengaturan yang akan dikunci menggunakan *keep relay*, dan pada pengaturan tekanan angin menggunakan regulator yang sudah terpasang pada kompresor, dan pada pengaturan waktu menggunakan pewaktu pada program PLC. Lebih lanjut lagi, metode pengoperasian mesin ini adalah sebagai berikut:

1. Aktifkan alat dengan klik ON pada MCB.
2. Atur pada *thermo control* PID-CX100 sesuai temperatur yang diinginkan.
3. Masukkan material yang digunakan.
4. Perhatikan lampu indikator *heater* menyala, yang menandakan bahwa temperatur *heater* sudah mendekati atau sesuai suhu pengaturan/suhu yang diinginkan.
5. Pasang dan posisikan *modal* ke tempat injeksi.
6. Tekan tombol injeksi (pneumatik bekerja mendorong material ke *modal*.)
7. Tunggu beberapa saat sampai piston pneumatik selesai mendorong atau secara otomatis kembali ke posisi semula (*reverse*). Sesuai waktu yang diatur pada program PLC.
8. Lalu ambil *modal*, kemudian buka dan lihat hasilnya.
9. Selesai

### 3.2 Hasil Pengujian

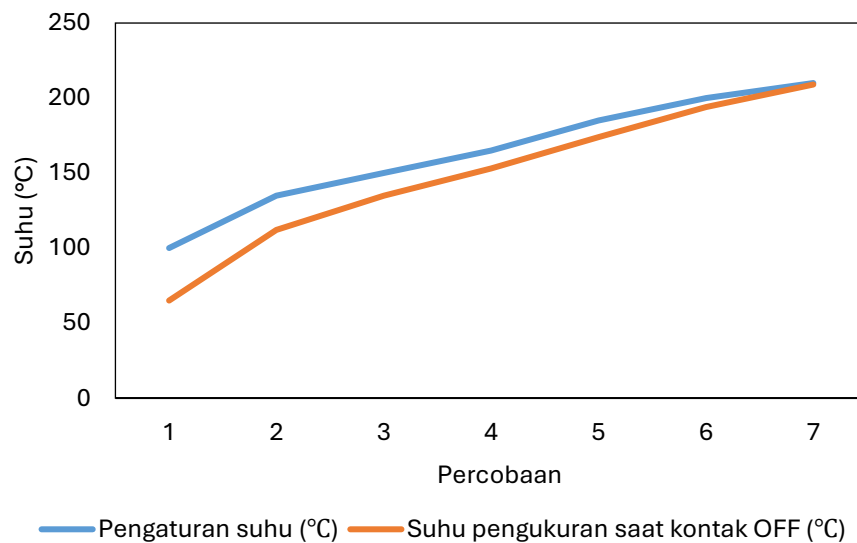
Dari tabel (Tabel 1 dan 2) dan grafik (Gambar 6 dan 7) yang disajikan, terlihat bahwa pada grafik kontak ON, hasil yang diperoleh konstan atau hampir seragam. Selisih antara suhu pengaturan dan suhu aktual saat kontak ON memiliki rata-rata sebesar  $10,4^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan hasil pengujian kerja temperatur kontrol PID-CX-100, dilakukan serangkaian percobaan dengan berbagai parameter untuk metode pengoperasian. Ini termasuk pengaturan temperatur *heater* yang terlihat pada PID atau termokontrol, pengaturan tekanan udara yang dapat diatur pada regulator, dan pengaturan waktu injeksi yang dapat diprogram pada PLC.



Dari hasil percobaan yang dilakukan, diketahui bahwa kontak masukan aktual pada termokontrol PID-CX-100 tidak beroperasi pada suhu pengaturan yang ditentukan, melainkan aktif pada suhu di bawah  $16,7^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu, dalam perancangan ini, masukan kontak dari PID-CX 100 yang digunakan sebagai termokontrol tidak bisa langsung digunakan sebagai *input* data untuk program PLC. Sebagai gantinya, program PLC dalam perancangan ini menggunakan pendekatan yang berbeda, di mana masukan kontak dari PID digunakan sebagai *input* untuk mengaktifkan indikator lampu. Lampu ini berfungsi sebagai indikator yang memberikan informasi bahwa suhu aktual pada barel sudah mendekati atau sesuai dengan suhu yang diinginkan, sehingga proses selanjutnya dapat dilanjutkan.

**Tabel 1.** Tabel perbandingan suhu pengaturan dan suhu pengukuran saat kontak OFF.

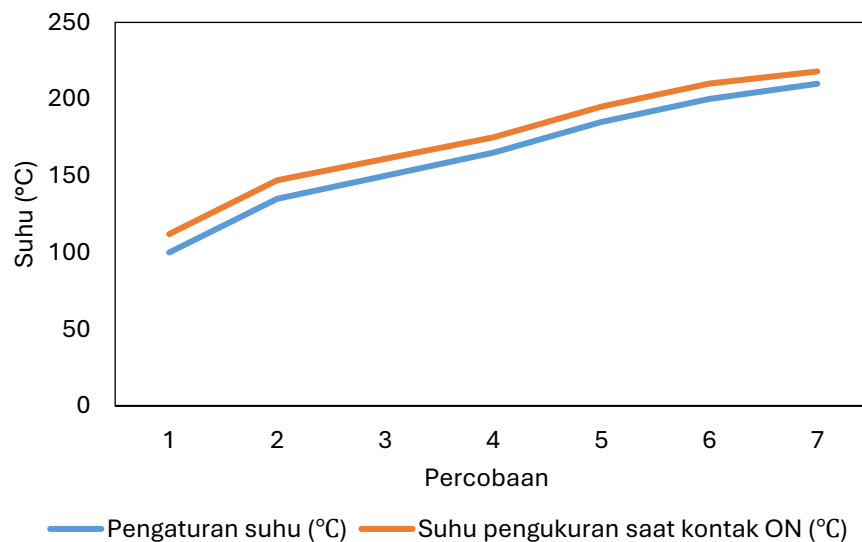
No. Percobaan	Pengaturan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Suhu pengukuran saat kontak OFF ( $^{\circ}\text{C}$ )	Selisih suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	100	65	35
2	135	112	23
3	150	135	15
4	165	153	12
5	185	174	11
6	200	194	6
7	210	209	1



**Gambar 6.** Grafik hasil pengukuran perbandingan suhu pengaturan dan suhu pengukuran saat kontak OFF.

**Tabel 2.** Tabel perbandingan suhu pengaturan dan suhu pengukuran saat kontak ON.

No. Percobaan	Pengaturan suhu (°C)	Suhu pengukuran saat kontak ON (°C)	Selisih suhu (°C)
1	100	112	12
2	135	147	12
3	150	161	11
4	165	175	10
5	185	195	10
6	200	210	10
7	210	218	8

**Gambar 7.** Grafik hasil pengukuran perbandingan suhu pengaturan dan suhu pengukuran saat kontak ON.

Setelah dilakukan beberapa percobaan pencetakan plastik PP, maka didapati pengaturan terbaik pada Tabel 3. Sementara itu hasil cetaknya dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil percobaan tersebut, ditemukan bahwa pengaturan yang menghasilkan spesimen dengan kualitas yang mendekati atau bahkan mencapai hasil yang optimal adalah pada percobaan nomor 3. Pada percobaan tersebut, waktu injeksi dapat diatur menggunakan pewaktu pada program PLC, sehingga waktu injeksi secara otomatis adalah 15 detik. Dengan demikian, pengaturan yang digunakan untuk proses *molding* adalah sebagai berikut:

- Jenis bahan plastik: PP (*polypropylene*)
- Pengaturan suhu: 200-210°C
- Tekanan: 4-5 bar
- Waktu injeksi: 15 detik

**Tabel 3.** Pengaturan parameter dan hasil cetak pada mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal.

No.	Suhu barel pada PID (°C)	Tekanan Angin Kompresor (bar)	Waktu Injeksi (detik)	Massa Spesimen (gram)
1	200	4	15	9
2	200	4	15	9
3	200	4	15	10
4	200	4	15	16
5	200	4	15	8
6	200	4	15	8
7	200	4	15	7

**Gambar 8.** Spesimen hasil uji cetak mesin injeksi cetak plastik tipe vertikal.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan PID-CX 100 sebagai masukan data kontak untuk PLC memerlukan penggunaan program pengunci (*keep relay*) dalam *ladder diagram*, sehingga tidak dapat langsung digunakan sebagai perintah kerja langsung sistem injeksi. Namun, PID-CX 100 dapat berfungsi sebagai indikator peringatan atau pemberitahuan pada proses kerja injeksi alat cetak plastik. Selain itu, melalui analisis hasil pengujian dengan menggunakan bahan plastik tipe PP, ditemukan bahwa parameter pengaturan optimal adalah suhu pada PID-CX100 sebesar 200-210°C, tekanan pada regulator angin kompresor sebesar 4-5 bar, dan waktu injeksi pada program PLC sebesar 15 detik. Dengan demikian, hasil pengujian ini memberikan gambaran tentang kinerja dan parameter optimal untuk penggunaan alat cetak plastik ini dalam produksi menggunakan bahan plastik tipe PP.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Global Jakarta atas dukungannya selama menyelesaikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Langmann and M. Stiller, "The PLC as a smart service in industry 4.0 production systems," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 18, 2019, doi: 10.3390/app9183815.
- [2] Z. Xu, W. Mo, L. Gui, Z. Ma, and X. Xiao, "Practical test method for the sensitivity of programmable logic controller to voltage sags and short interruptions," *IET Circuits, Devices*

- and Systems*, vol. 14, no. 6, 2020, doi: 10.1049/iet-cds.2019.0490.
- [3] J. R. Hackworth and F. D. Jr. Hackworth, "Programmable Logic Controllers : Programming Methods and Applications," System.
- [4] Frank D. Petruzella and Higher, *Programmable Logic Controllers, Fifth Edition*, vol. 44, no. 8. 2011.
- [5] C. Tepe, A. S. Aslan, and İ. Eminoğlu, "Conveyor belt experiment setup for programmable logic controller education," *International Journal of Electrical Engineering and Education*, vol. 60, no. 3, 2023, doi: 10.1177/0020720920958134.
- [6] J. Świder, G. Wszolek, and W. Carvalho, "Programmable controller designed for electro-pneumatic systems," *J Mater Process Technol*, vol. 164–165, 2005, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.200.
- [7] M. Zaenudin *et al.*, "Pengembangan Alat Peraga Pneumatik Otomatis Berbasis PLC dan Pendampingan Penggunaannya pada SMK Bina Industri Bekasi," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 11, no. 1, pp. 280–287, 2024.
- [8] K. Hamzah, A. Gamayel, M. Zaenudin, Y. K. P. Saleh, and N. C. Hidayat, "Perancangan Sistem Pneumatik PLC Trainer Berbasis Pemograman Software Festo Fluidsim 3.6," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 8, no. 2, pp. 140–148, 2023.
- [9] Z. Arifin, M. Zaenudin, and Y. K. P. Saleh, "Perancangan Kontroler pada Konveyor Pendeteksi Berat Menggunakan Load Cell Berbasis PLC," in *Technopex 2023*, 2023.
- [10] Z. Zainudin and S. Suwantri, "Pengaruh Holding Time terhadap Tingkat Kekerasan pada Hasil Pengolahan Limbah Plastik," *Creative Research in Engineering (CERIE)*, vol. 2, no. 2, pp. 81–87, 2022.
- [11] F. Chen, J. Liu, Q. Ao, B. Qu, and Y. Li, "Design of multi-stage temperature control system for injection molding machine based on PLC," *Hecheng Shuzhi Ji Suliao/China Synthetic Resin and Plastics*, vol. 37, no. 1, 2020, doi: 10.19825/j.issn.1002-1396.2020.01.20.