

Implementasi sistem kontrol penggerak motor *stepper* pada proses *molding microplastic* berbasis PID menggunakan PLC

Alvian Anggiana Putra¹, Muhamad Rifa'i², Hari Kurnia Safitri³

e-mail: alviananggianaputra@gmail.com, muh.rifai@polinema.ac.id, hari.kurnia@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 18 Mei 2023

Direvisi 19 Oktober 2023

Diterbitkan 30 Oktober 2023

Kata kunci:

Motor *Stepper*

PID

Injection Molding

ABSTRAK

Industri saat ini telah memasuki era yang setiap proses produksinya telah menerapkan otomatisasi dan pertukaran data dalam manufakturnya. Fase era ini dikenal sebagai industri 4.0. Era Industri 4.0 telah memberikan dampak berbagai sektor industri khusus pada industri percetakan barang seperti percetakan barang dari bahan plastik. Dalam penerapannya menggunakan teknik injection molding. Prosesnya mampu menghasilkan produk yang lebih presisi. Dalam proses injection molding perlu sistem kontrol yang baik agar mampu mengarahkan biji plastik dalam proses mold sesuai yang direncanakan. Aktuator yang digunakan meliputi penggerak yang dapat berupa motor stepper. Penelitian ini mengaplikasikan metode PID dalam mengontrol motor stepper pada proses molding microplastic. Sistem yang diusulkan telah berhasil dibuat dan mampu menghasilkan produk sesuai dengan perencanaan. Hasil kontrol pada motor stepper yang paling tepat pada nilai parameter PID yakni nilai $K_p = 14$, nilai $K_i = 0.007$ dan nilai $K_d = 7000$. Perubahan nilai setpoint dari 2500 hingga 2700 memberikan pengaruh terhadap hasil cetakan dan nilai setpoint yang menghasilkan cetakan yang paling bagus pada nilai setpoint sebesar 2700. Nilai setpoint sebesar 2700 menghasilkan kondisi mold dan nozzle dalam posisi yang tepat atau rapat, hal ini membuat proses cetakan berjalan dengan baik sesuai dengan desain dari cetakan yang diberikan.

ABSTRACT

The current industry has entered an era where every production process incorporates automation and data exchange in its manufacturing. This era is known as Industry 4.0. Industry 4.0 has had a significant impact on various industrial sectors, particularly in the production of plastic goods using techniques such as injection molding. This process is capable of producing more precise products. In the injection molding process, a well-controlled system is needed to guide plastic pellets according to the intended mold design, utilizing actuators like stepper motors. This research aims to apply the PID (Proportional-Integral-Derivative) method to control stepper motors in microplastic molding processes. The proposed system has been successfully implemented and can produce products according to the planned specifications. The most suitable PID parameter values for controlling the stepper motor are $K_p = 14$, $K_i = 0.007$, and $K_d = 7000$. Changing the setpoint value from 2500 to 2700 has an impact on the molding results, with the best results achieved at a setpoint value of 2700. A setpoint value of 2700 ensures that the mold and nozzle are in the correct, tight position, allowing the molding process to proceed smoothly in line with the provided design.

Keywords:

Stepper Motors

PID

Injection Molding

Penulis Korespondensi:

Alvian Anggiana Putra,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141,
Email: alviananggianaputra@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Industri saat ini telah memasuki era yang setiap proses produksinya telah menerapkan otomatisasi dan pertukaran data dalam manufakturnya. Kondisi ini dikenal sebagai era industri 4.0. Era ini memungkinkan teknologi fiber (*fiber technology*) dan sistem jaringan terintegrasi (*integrated network*) yang mampu bekerja dalam setiap aktivitas ekonomi, dimulai dari proses produksi hingga konsumsi. Era industri 4.0 ini menjadikan peran manusia semakin sedikit dalam kegiatan produksi dan telah digantikan dengan pekerjaan otomatis (tenaga mesin). Sistem otomatis ini diklaim dapat meningkatkan proses produksi hingga target produksi yang optimal[1].

Era Industri 4.0 juga memberikan dampak pada industri percetakan barang seperti percetakan barang dari bahan plastik yang dulunya menggunakan pekerjaan manual (manusia), seiringnya berkembangnya waktu percetakan barang ini telah mengalihkan pekerjaannya yang berbasis otomatisasi yang mampu lebih cepat dan menghemat waktu dalam menghasilkan setiap produknya. Dalam menghasilkan produknya akan menggunakan teknik *injection molding*. Teknik tersebut memungkinkan membentuk produk berbahan plastik dan mampu bentuk fitur yang sulit sehingga menghasilkan produk yang lebih presisi. Dalam proses *injection molding* perlu sistem kontrol sehingga mampu mengarahkan biji plastik dalam proses *mold*. Tentunya dibutuhkan aktuator yang meliputi penggerak yang dalam hal ini bisa berupa motor *stepper*.

Penelitian tentang desain *mold* untuk produk knob regulator kompor gas telah diusulkan peneliti[2]. Peneliti tersebut mengklaim bahwa desain *mold* yang diusulkan dapat menghemat biaya produksi. Desain *mold* diklaim memiliki jumlah kapasitas produksi yang lebih besar. Pada sisi biaya pembuatan, desain *mold* yang usulan lebih murah dibandingkan dengan desain *mold* yang telah ada. Penelitian tentang prediksi pengontrolan pada proses *molding* plastik telah dilakukan peneliti [3]. Peneliti tersebut menggunakan model analisis sebagai komponen utama dalam mengontrol.

Penentuan tentang efisiensi parameter dalam proses *molding* plastik telah dilakukan peneliti [4] sedangkan untuk peningkatan proses *injection molding* menggunakan energi ganda telah dilakukan peneliti[5]. Peneliti mengusulkan tahapan dalam proses *injection molding* dilakukan dengan cara pengisian udara atau proses ideal. Sementara di pengisian udara urutan proses berlangsung tanpa material, proses ideal mengoptimalkan waktu dan masukan energi dari proses aktual dengan proses ideal. Kegiatan tersebut diklaim mampu mengoptimalkan waktu dan efisiensi tenaga dapat meningkat hingga 50%. Sedangkan penelitian tentang optimalisasi parameter proses *injection molding* telah dilakukan juga oleh peneliti [6] yang diterapkan pada pembuatan *brake booster valve body* yang menggunakan metode taghuci. Metode tersebut menentukan parameter proses PIM yang optimal sehingga dapat meningkatkan kompresi kekuatan badan katup penguat rem, metode juga mensimulasikan dan menentukan optimal parameter proses PIM untuk viskositas resin dan persentase *curing*.

Pengendali motor *stepper* untuk deteksi jumlah obyek putar dengan menggunakan komputer telah dilakukan oleh peneliti[7]. Penelitian ini diklaim mampu menghitung jumlah obyek yang terdeteksi hingga mencapai delapan obyek dan sistem mampu bergerak berputar tiap 45° sebanyak delapan kali putar dan naik-turun sepanjang 25 mm. Sedangkan Kendali pemilihan kecepatan dari motor *stepper* telah dilakukan peneliti[8]. Peneliti tersebut menerapkan algoritma fuzzy dalam mengendalikan kecepatan motor *stepper*nya. Usulan ini diklaim mampu menghasilkan *error* posisi dari target tidak melebihi 1% atau 2 mm. Penelitian tentang kontrol kecepatan motor *stepper* juga dilakukan oleh peneliti [9]. Peneliti menggunakan Motor *Stepper* Seri SI40STH40-A. Motor ini dapat berputar dengan normal pada Set Value 2 ms sampai 65 ms difrekuensi kerja 1000 kHz dan 2 ms sampai 16 ms untuk frekuensi kerja 4000 kHz. Teknik mengontrol kecepatan motor *stepper* menggunakan metode *start-stop* telah diusulkan peneliti [10]. metode ini memungkinkan *output* sesuai dengan frekuensi target yang telah diatur, sehingga motor *stepper* akan berputar dengan kecepatan sesuai dengan frekuensi target. Hasil dari metode ini adalah kecepatan putar, motor *stepper* dapat berputar secara normal dengan setting kecepatan antara 30 rpm – 240 rpm.

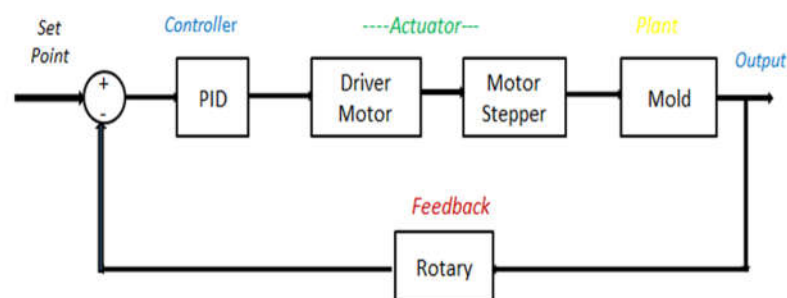
Implementasi PID untuk kontrol level air telah diusulkan peneliti [11]. Peneliti melakukan pengaturan tiga parameter (Kp, Ki, dan Kd) pada PID menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols dan dibandingkan dengan metode Coohen-Coon. Hal ini dilakukan agar mendapatkan respon sistem yang diinginkan. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan peneliti, metode CC menghasilkan tuning parameter PID yang lebih baik dari tuning ZN. PID diterapkan untuk pengontrolan suhu dan level pada mesin *vending* telah dilakukan oleh peneliti [12].

Sistem yang dibangun peneliti menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DS18B20 sebagai pembaca suhu air dan sensor ultrasonik sebagai pembaca level ketinggian air. Peneliti mengatur nilai K_p sebesar 12,6, K_i sebesar 3,15, dan K_d sebesar 12,6. Hasil dari penelitian ini adalah sistem mampu menstabilkan suhu pada 50°C sesuai dengan perancangan yang diinginkan. Peneliti [13] mengaplikasikan PID untuk mengontrol motor DC serta *tuning* yang menggunakan Metode Differential Evolution (DE). Penggunaan metode tersebut dilakukan sebagai upaya dalam pengoptimalan dalam melakukan *tuning* pada parameter K_p , K_i , dan K_d . Hasil dari penelitian ini adalah algoritma dari DE yang telah diterapkan menghasilkan nilai $K_p = 4,9071$; $K_i = 4,9071$; $K_d = 0,20536$. Dalam prosesnya penerapan metode tersebut tidak perlu melakukan *tuning* secara manual dalam mencari nilai K_p , K_i dan K_d . Mengaplikasikan metode PID dalam mengontrol motor *stepper* telah dilakukan peneliti [14]. Peneliti menentukan parameter PID terbaik yakni $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=4$ yang diklaim mampu menggerakkan motor *stepper* dengan baik dan cepat serta stabil dengan nilai rise time (t_r) = 1,6 detik, peak time (t_p)=3,2 detik, dan settling time (t_s)= 4 detik. Berdasarkan beberapa literatur yang telah uraikan tersebut, peneliti bermaksud mengaplikasikan metode PID pada sistem *molding microplastic*. Diharapkan dengan memanfaatkan metode PID ini dapat meningkatkan hasil cetakan yang baik pada proses produksi. Peneliti [15] menerapkan PID pada reaktor alir tangki berpengaduk pabrik asam formiat. Berdasarkan hasil pengujian, penelitian ini menghasilkan nilai-nilai dari parameter PID adalah $K_c = 8$, $T_i = 1$ dan $T_d = 0$ yang menghasilkan respon waktu rata-ratanya 0,815 menit. Pengaturan ketiga parameter tersebut diklaim menghasilkan sistem pengendalian suhu paling optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Blok Sistem

Adapun sistem kontrol yang akan dirancang khususnya dalam mengontrol motor *stepper* dalam proses *molding microplastic* ini ditunjukkan pada Gambar 1.

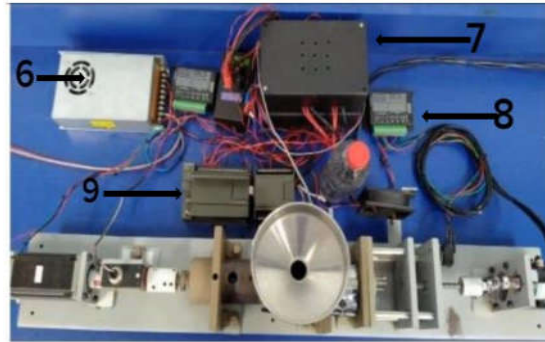


Gambar 1. Diagram blok perencanaan sistem.

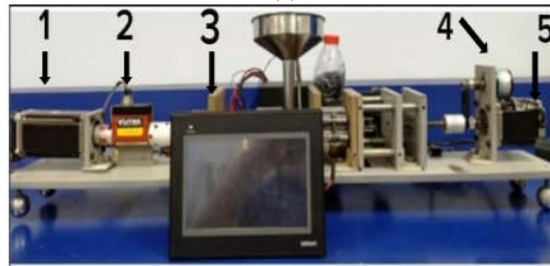
Cara kerja dari sistem kontrol pada proses *molding microplastic* ini dimulai dari mengatur *set point* berupa parameter jarak, selanjutnya pada bagian controller PID diatur nilai K_p , nilai K_i dan nilai K_d yang sesuai pada PLC Siemens S7-200. Masing masing konstanta memiliki karakteristik berbeda-beda, namun pada penelitian ini digunakan metode Ziegler Nichols untuk pengaturan parameter PID. Bila respon output masih belum sesuai, maka akan dilakukan proses *adjustment* dengan *trial-error* sebagai upaya lanjutan guna mendapat pengaturan parameter PID yang tepat. Selanjutnya aktuator menerima data perintah dari controller berupa pulsa dan menggerakkan motor *stepper* melalui driver untuk memulai melakukan proses *molding*. Lalu Plant berupa mold yang diputar oleh motor *stepper* untuk bergerak maju menuju *nozzle* untuk proses pencetakan. Sedangkan Rotari encoder dan arduino Uno sebagai *feedback* untuk membaca scalling data rotary encoder dan untuk merubah frekuensi dari rotary encoder menjadi tegangan untuk input PLC. Output proses ini berupa posisi *mold* ke *nozzle*.

2.2. Desain sistem *molding microplastic*

Pada perancangan ini dimulai dari mendesain prototype sistem *molding microplastic*. Secara spesifik dari mesin *molding microplastic* menggunakan bahan besi yang dipergunakan untuk alas mesin, penyanggah ekstruder, dan *mold*. Sedangkan bahan yang digunakan pada tabung *barrel* adalah tembaga. Dan bahan yang digunakan pada *hopper* adalah *stainless steel*. Adapun hasil dari desain sistem kontrol penggerak motor *stepper* *molding microplastic* ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan untuk bagian dan fungsinya ditunjukkan pada Tabel 1.



(a)



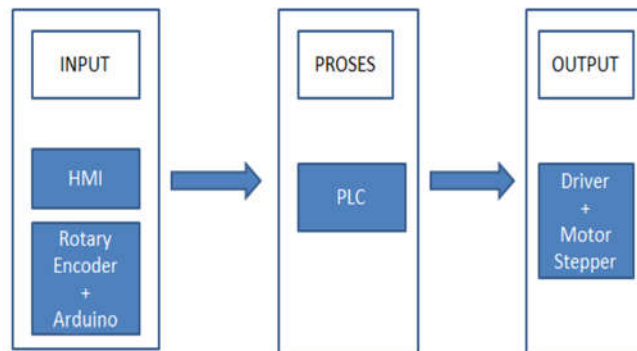
(b)

Gambar 2. Sistem *molding microplastic* yang diusulkan
 (a) Sistem *molding microplastic* tampak atas (b) Sistem *molding microplastic* tampak samping

Tabel 1. Bagian Mekanik Keseluruhan beserta fungsinya

No	Komponen	Fungsi
1	Motor <i>Stepper</i> untuk <i>extruder</i>	Mendorong biji plastik yang sudah dilelehkan menuju <i>nozzle</i>
2	Sensor Futek	Mengukur kecepatan motor
3	<i>Barrel</i>	Tabung yang berisi <i>screw</i> dan tempat dimana dilelehkannya biji plastik
4	<i>Hopper</i>	Menampung biji plastik
5	<i>Band Heater</i>	Memanaskan <i>barrel</i>
6	Sensor PT100	Melihat suhu yang ada pada <i>barrel</i>
7	<i>Mold</i>	Tempat cetakan biji plastik yang telah dilelehkan
8	Motor <i>Stepper</i> untuk <i>mold</i>	Memaju mundurkan <i>mold</i> (cetakan)
9	<i>Rotary Encoder</i>	Mengukur jarak antara <i>mold</i> dan <i>nozzle</i>

Berdasarkan Gambar 2, prinsip kerja dari sistem *molding microplastic* dimulai dari sensor posisi yaitu sensor *rotary encoder* akan membaca dan mengkonversi *clock* setiap 50 *step* (1 *clock* bernilai 50 *step rotary encoder*). Selanjutnya arduino akan mengirim data ke PLC kemudian PLC akan melakukan perhitungan sehingga dapat mencetak sesuai desain produk yang diinginkan. Agar proses *molding* bekerja dengan baik, maka pergerakan motor stepper harus sesuai dengan *setpoint* serta dapat berhenti tepat pada *nozzle* sehingga biji plastik yang sudah panas tidak tumpah atau meluber. Alur kerja pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok cara kerja sistem.

Keterangan:

- *Input*
 - a. Rotary Encoder
 - b. Arduino, berfungsi membaca scaling data rotary encoder dan untuk merubah frekuensi dari rotary encoder menjadi tegangan untuk input PLC
- Proses
 - a. PLC Siemens S7-200, berfungsi sebagai komponen yang memproses dan mengolah data yang didapat dari sensor
- *Output*
 - a. Driver dan motor stepper yang kemudian akan memutar *ball screw Molding*. Perintah dari PLC akan dimasukan ke *driver motor* dan selanjutnya akan menggerakan motor *stepper* dan mengatur posisi yang tepat pada *molding* pada saat *injecting* biji plastik.

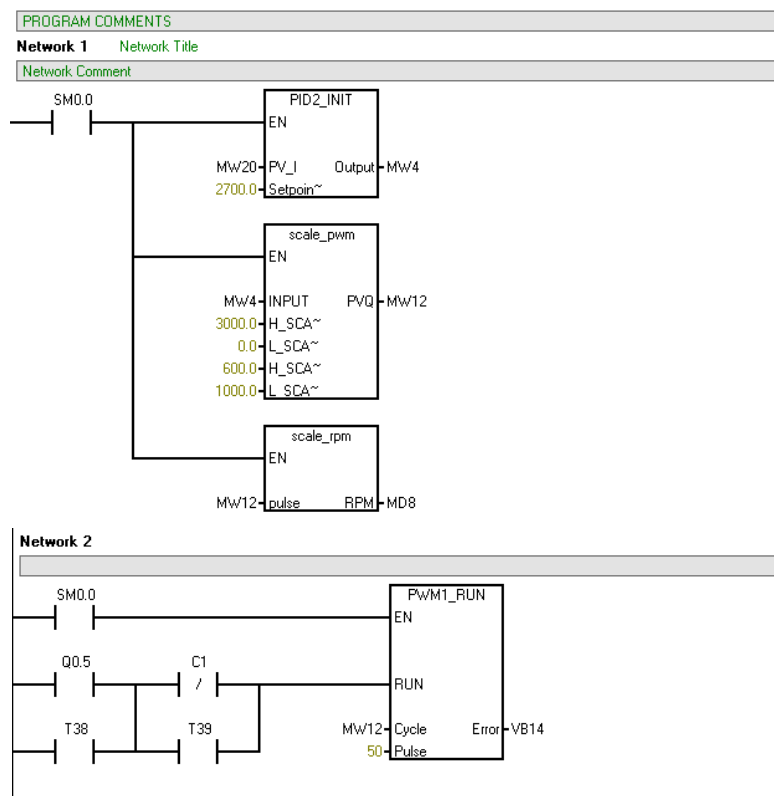
2.3. Konfigurasi PLC untuk mengontrol mold

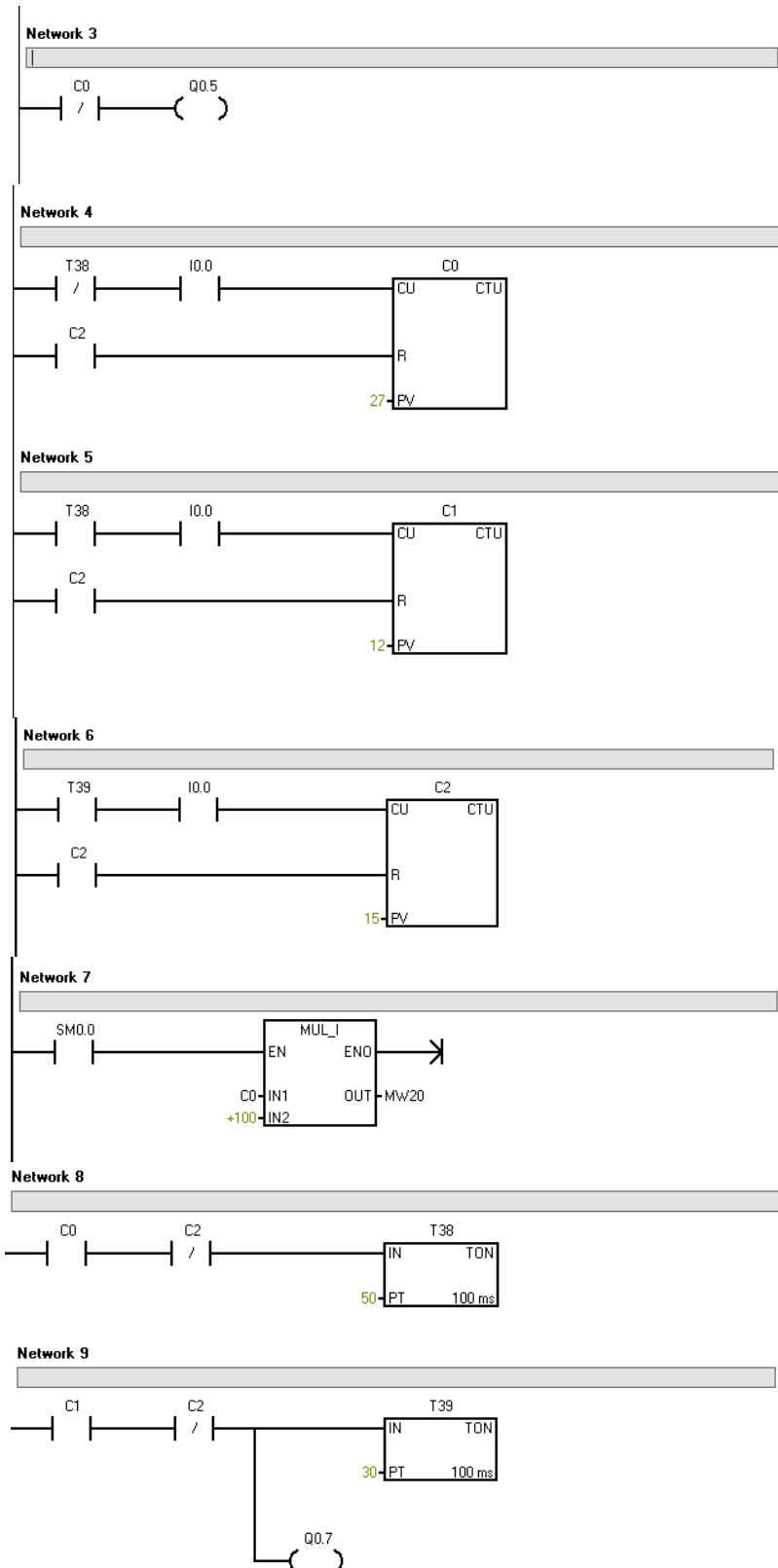
Hal yang pertama diatur adalah setpoint yang diinginkan pada ladder PID. Setelah mengatur setpoint PID, maka PID akan secara langsung otomatis mengatur kecepatan motor untuk menggerakan mold bergerak maju. Selanjutnya mold akan berhenti sekitar 1-2 menit untuk menunggu proses injeksi. Jika sudah tercapai mold akan bergerak mundur untuk melakukan proses percetakan. Untuk pin yang digunakan pada PLC ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Pin yang digunakan pada PLC

No	Pin	Keterangan
1	L+, 1L+	Supply +24VDC
2	M, 1M, 2M	Supply GND
3	Q0.0	Step pin TB6600
4	Q0.4	Dir pin TB6600

Sedangkan untuk pengaturan ladder diagram PLC ditunjukkan pada Gambar 4.





Gambar 4. Konfigurasi diagram ladder pada PLC

Keterangan :

- **Network 1.** Set point menentukan step atau langkah posisi pada leader posisinya adalah 2700. Selanjutnya keluaran PID masuk ke scale PWM.
Input = Batas bawah 0, Batas atas 3000

Output = Batas bawah 1000, Batas atas 600

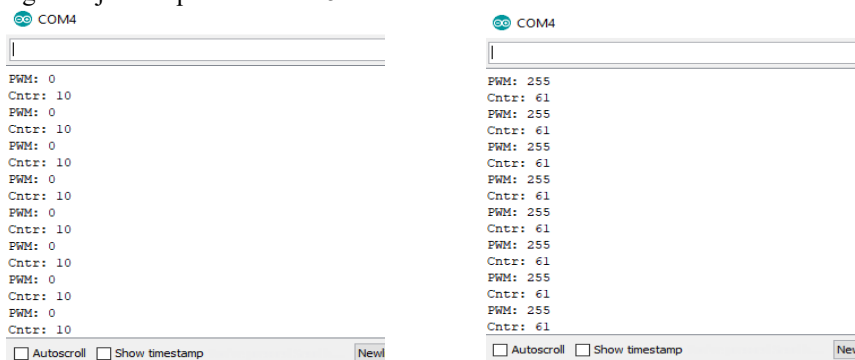
Untuk output nilai batasnya lebih besar karena tujuannya untuk mengatur kecepatan motor melalui periode pulsa. Untuk mw12 masuk kedalam scale rpm yang berfungsi untuk menghitung kecepatan rpm dari periode pulsa

- **Network 2.** untuk menghidupkan perintah run untuk mengeluarkan pulsa di Q0.1
- **Network 3.** Untuk putar kiri motor stepper
- **Network 4.** I0.0 merupakan masukan dari arduino untuk menghitung step dari encoder (menghitung maju)
- **Network 5.C1** adalah untuk step 12 (proses mundur) dari encoder untuk berhenti sejenak (mold berhenti untuk proses pendinginan)
- **Network 6.** Jika T39 close maka counter2 akan aktif dan motor akan berjalan mundur 15 step.(untuk setpoint yaitu step 27 dari encoder(maju). Dan untuk step 12 untuk mold berhenti sejenak untuk proses pendinginan, step 15 untuk mold bergerak mundur ke posisi awal)
- **Network 7.** Berfungsi untuk penghitung masukan PID nilainya dikali 100. Karena skala di dalam pid terlalu kecil maka harus dikalikan.
- **Network 8.** Timer untuk mold berhenti dan motor akan mati. Jika sudah tercapai timer counter on setelah itu T38 pada network 2 akan bekerja untuk putar kanan motor stepper
- **Network 9.** Jika sudah tercapai C1 akan close untuk mengaktifkan timer untuk jeda berhenti mendinginkan. Q0.7 adalah kipas kipas akan secara otomatis hidup saat proses pendinginan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian sensor *rotary encoder*

Pengujian dari sensor *rotary encoder* dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sensor dalam membaca setiap step dan hasil dari konversinya ke bentuk *clock*. Setiap pembacaan data dari sensor tersebut akan dikelola oleh arduino dalam bentuk sinyal PWM yang selanjutnya dipergunakan sebagai proses *switching* tegangan 24 Volt untuk masukan data untuk PLC. Data dari pembacaan sensor ini dapat dilihat pada serial monitor aplikasi IDE arduino yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pembacaan putaran *rotary encoder*

Berdasarkan Gambar 5, jika nilai counter kurang dari 50 maka nilai PWM yang didapat adalah 0 dan jika nilai counter lebih dari 50 maka nilai pwm yang didapat adalah 255

3.2. Pengujian PLC

Pengujian PLC dilakukan agar dapat mengetahui serta memastikan semua port I/O PLC yang digunakan dapat bekerja dengan baik, mengingat PLC sebagai otak keseluruhan sistem. Pengujian ini meliputi pengecekan I/O PLC pada digital input dan digital output.

3.2.1. Pengujian digital *input*

Dalam pengujian ini akan dilakukan dengan memberikan logika *high* dan *low* disetiap alamat *input* yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengecekan nyala dari lampu indikator pada input PLC. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian digital *input*

No.	Alamat Digital <i>Input</i>	Kondisi LED	
		<i>LOW</i>	<i>HIGH</i>
1	I0.0	Mati	Menyala

No.	Alamat Digital <i>Input</i>	Kondisi LED	
		<i>LOW</i>	<i>HIGH</i>
2	I0.1	Mati	Menyala
3	I0.2	Mati	Menyala
4	I0.3	Mati	Menyala
5	I0.4	Mati	Menyala

3.2.2. Pengujian Digital Output

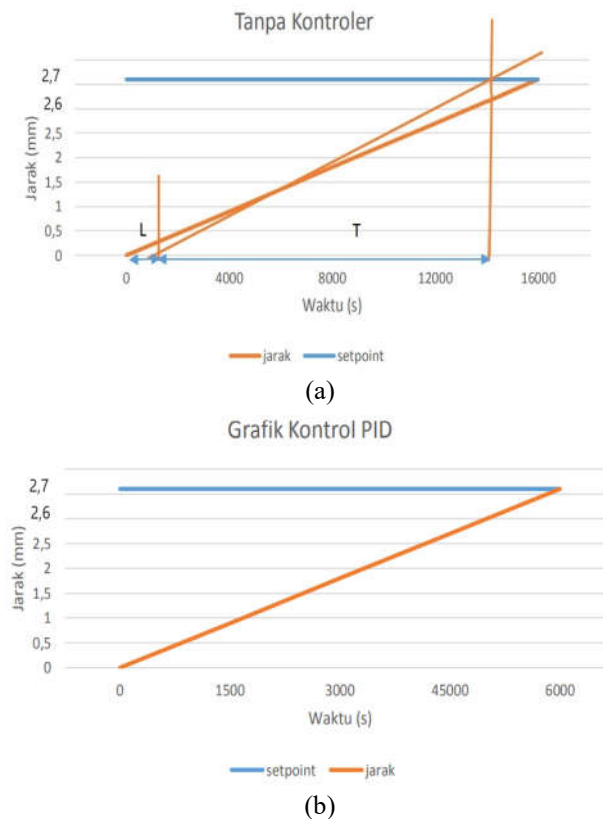
Dalam Pengujian ini akan dilakukan dengan memberikan logika *high* dan *low* disetiap alamat *output* yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengecekan tegangan *output* yang dihasilkan. Jika dalam saat kondisi logika *low*, maka tegangan yang dihasilkan adalah 0 VDC sedangkan jika dalam kondisi logika *high*, maka tegangan yang dihasilkan adalah 23,92 atau 24 VDC. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian digital *output*

No.	Alamat Digital <i>Output</i>	Kondisi LED	
		<i>LOW</i>	<i>HIGH</i>
1	Q0.0	0	23,92
2	Q0.1	0	23,92
3	Q0.2	0	23,92
4	Q0.3	0	23,92
5	Q0.4	0	23,92

3.3. Pengujian sistem dengan dan tanpa kontrol PID

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai parameter antara sistem tanpa kontrol PID dan sistem dengan kontrol PID. Kontrol PID memiliki fungsi untuk mengatur kecepatan putar *motor stepper* untuk menggerakkan *mold*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengambil pengujian respon kecepatan terhadap waktu tanpa menggunakan kontroler PID. Pengujian kontrol PID diatur nilai $K_p = 14$, $K_i = 0.007$ dan $K_d = 7000$. Kedua pengujian ini menggunakan metode *Ziegler Nichols* dengan grafik respon kurva S sebagai evaluasi perbandingan terhadap kedua kondisi pengujian. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 6.

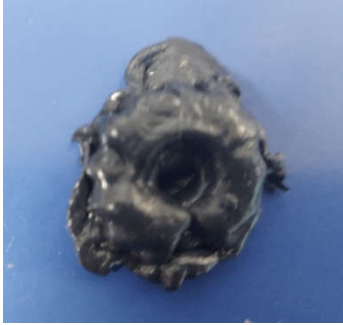




Gambar 6. Hasil pengujian sistem dengan dan tanpa kontrol PID
 (a) Kurva hasil tanpa kontrol PID (b) Kurva hasil dengan kontrol PID

3.4. Pengujian *setpoint* terhadap hasil cetakan

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai k_p , k_i dan k_d yang telah ditentukan sebelumnya terhadap hasil cetakan atau proses *molding microplastic* dengan nilai *setpoint* yang diatur dari 2500, 2600 dan 2700. Adapun hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian proses *molding*

No	Nilai <i>Set Point</i>	Nilai K_p, K_i, K_d	Hasil Cetakan
1	2500	$K_p = 3$ $K_i = 0$ $K_d = 7000$	
2	2600	$K_p = 3$ $K_i = 0$ $K_d = 7000$	
3	2700	$K_p = 3$ $K_i = 0$ $K_d = 7000$	

Berdasarkan Tabel 4, nilai PID yang telah ditentukan dan nilai *set point* yang diatur dari 2500 hingga 2700 memberikan pengaruh terhadap hasil cetakan. Nilai *setpoint* mempengaruhi posisi antara *mold* dan *nozell*. Hasil cetakan yang paling baik dihasil pada nilai *setpoint* sebesar 2700, nilai tersebut mengkondisikan *mold* dan *nozell* dalam posisi yang tepat atau rapat. Sedangkan nilai *setpoint* 2600 dan 2500 posisi *mold* dan *nozzel* masih ada rongga atau belum bisa rapat sehingga untuk *injeksi* cairan biji plastik akan keluar dari cetakan. Untuk kecepatan putaran motornya dengan *setpoint* 2500, 2600 dan 2700 kecepatan motor akan berputar pelan mulai di awal putaran dan jika mendekati *setpoint* motor akan semakin pelan dan berhenti. tetapi jika *setpoint* diatas 2700 maka putaran motor akan berputar lebih cepat diawal dan saat mendekati *setpoint* akan mengurangi kecepatannya.

4. KESIMPULAN

Sistem *molding microplastic* telah berhasil dibuat dan hasil kontrol pada motor *stepper* yang paling tepat pada nilai parameter PID yakni nilai $K_p = 14$, nilai $K_i = 0.007$ dan nilai $K_d = 7000$. Perubahan nilai *setpoint* dari 2500 hingga 2700 memberikan pengaruh terhadap hasil cetakan dan nilai *setpoint* yang menghasilkan cetakan yang paling bagus pada nilai *setpoint* sebesar 2700. Nilai *setpoint* sebesar 2700 menghasilkan kondisi *mold* dan *nozell* dalam posisi yang tepat atau rapat, hal ini membuat proses cetakan berjalan dengan baik sesuai dengan desain dari cetakan yang diberikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Purba, M. Yahya, and Nurbaiti, “Revolusi Industri 4.0 : Peran Teknologi Dalam Eksistensi Penguasaan Bisnis Dan Implementasinya,” *J. Perilaku Dan Strateg. Bisnis*, vol. 9, no. 2, pp. 91–98, 2021.
- [2] I. Yulianto, Rispianda, and H. Prasetiyo, “Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator Kompor Gas pada Proses Injection Molding,” *Reka Integr. J. Online Institu Teknol. Nas.*, vol. 2, no. 3, pp. 140–151, 2014.
- [3] S. Zhang, R. Dubay, and M. Charest, “A principal component analysis model-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 6, pp. 2919–2927, 2015.
- [4] W. L. Chen, C. Y. Huang, and C. Y. Huang, “Finding efficient frontier of process parameters for plastic injection molding,” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 9, no. 1, 2013.
- [5] E. Müller, R. Schillig, T. Stock, and M. Schmeiler, “Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures,” *Procedia CIRP*, vol. 17, no. Imm, pp. 704–709, 2014.
- [6] Y. qi Wang, J. gyu Kim, and J. il Song, “Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body,” *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 313–317, 2014.
- [7] A. Sudamanto, Sumariyah, and I. Gunadi, “Rancang Bangun Pengendali Motor Stepper Untuk Deteksi Jumlah Obyek Putar dengan menggunakan Komputer,” *Berk. Fis.*, vol. 14, no. 1, pp. 17–22, 2015.
- [8] M. Alwi, T. Tohir, and N. Mulyono, “Sistem Kendali Pemilihan Kecepatan pada Motor Stepper Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis PLC,” *IRWNS Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 63–68, 2023.
- [9] R. Rahmat and W. Wiyono, “Rancangbangun Perangkat Kendali Motor Stepper Dengan Mikrokontroler,” *Jural Tek.*, vol. 7, no. 3, pp. 99–107, 2022.
- [10] B. C. Wibowo and F. Nugraha, “Kendali Kecepatan Motor Stepper Menggunakan Metode Start – Stop Berbasis PLC,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 10, no. 3, p. 213, 2021.
- [11] H. Supriyanto, F. Suryatini, A. R. H. Martawireja, and H. Rudiansyah, “Implementasi Kontroler Pid Dengan Metode Tuning Ziegler-Nichols Dan Cohen-Coon Pada Sistem Scada Kendali Level Air,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 8, no. 2, p. 149, 2022.
- [12] H. A. Pramoedya, B. Priyadi, and M. Luqman, “Implementasi Kontrol PID Untuk Mengontrol Suhu dan Level Pada Alat Vending machine,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 18–25, 2023.
- [13] S. F. Anggraini, A. Ma’arif, and R. D. Puriyanto, “Pengendali PID pada Motor DC dan Tuning Menggunakan Metode Differential Evolution,” *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 2, pp. 147–159, 2020.
- [14] R. Rizeki, B. Setiyono, and M. A. Riyadi, “Perancangan Sistem Kontrol Motor Berbasis Kontrol PID Dengan Menggunakan Mikrokontroler ATmega8535 Pada Sizing Process Sistem Weaving I Greige Di PT . Apac Inti Corpora,” *Skripsi Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, vol. 4, no. 3, pp. 771–779, 2015.
- [15] N. Z.A, Y. P. Roja, and N. Sylvia, “Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun,” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 7, no. 2, p. 135, 2019.