

IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PENGGERAK MOTOR STEPPER PADA PROSES MOLDING MICROPLASTIC BERBASIS PID MENGGUNAKAN PLC DAN ARDUINO

Alvian Anggiana Putra^{1*}, Muhamad Rifa'i², Hari Kurnia Safitri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141, Indonesia.

Riwayat artikel:

Received: 20 September 2022

Accepted: 29 Desember 2023

Published: 1 Januari 2024

Keywords:

Stepper Motors; PID;
Injection Molding.

Correspondent Email:

alviananggianaputra@gmail.com

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 bermaksud 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.

1. PENDAHULUAN

Industri saat ini telah memasuki era yang setiap proses produksinya telah menerapkan otomatisasi dan pertukaran data dalam manufakturnya. Fase era 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.

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 [1]. 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 prediksi pengontrolan pada proses *molding* plastik telah dilakukan peneliti [2]. Peneliti tersebut menggunakan model analisis sebagai komponen utama dalam mengontrol. Penentuan tentang efisiensi parameter dalam proses *molding* plastik telah dilakukan peneliti [3] sedangkan untuk peningkatan proses *injection molding* menggunakan energi ganda telah dilakukan peneliti [4]. 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 [5] 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 [6]. 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. Teknik mengontrol kecepatan motor *stepper* menggunakan metode *start-stop* telah diusulkan peneliti [7]. 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. Mengaplikasikan metode PID dalam mengontrol motor *stepper* telah dilakukan peneliti [8]. 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 mengaplikasi metode PID pada sistem *molding microplastic*. Diharapkan dengan memanfaatkan metode PID ini dapat

meningkatkan hasil cetakan yang baik pada proses produksi.

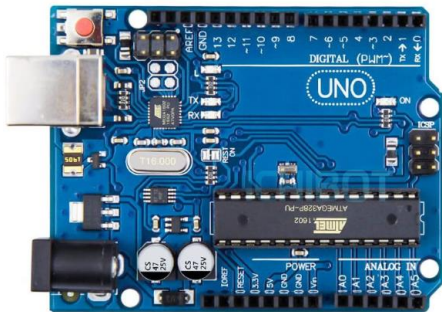
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Arduino

Arduino adalah papan elektronik yang menggunakan jenis tipe tertentu dari mikrokontroler. Arduino merupakan sebuah platform komputasi fisik open source yang berfokus pada input/output sederhana (I/O) dan dilengkapi dengan lingkungan pengembangan yang mengadopsi bahasa pemrograman Processing. Dengan Arduino, Anda dapat membuat proyek-proyek interaktif mandiri atau mengintegrasikannya dengan perangkat lunak komputer Anda, seperti Flash, Processing, VVVV, atau Max / MSP [9].

2.2. ArduinoUno R3

Dalam perancangan dan pembuatan tugas akhir ini, digunakan Arduino Uno R3 sebagai jenis papan mikrokontroler. Arduino Uno R3 ini merupakan sebuah board mikrokontroler yang menggunakan dasar dari ATmega328, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Papan Arduino Uno R3[10].

Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Uno R3[10]:

- Mikrokontroler : ATmega328
- Tegangan pengoperasian : 5V
- Batas Tegangan Input : 7-12V
- Jumlah pin I/O digital : 14
- Jumlah pin input analog : 6
- Arus DC tiap pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3V : 50 mA
- Memori : 32 KB
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Clock Speed : 16 MHz

2.3. Motor Stepper

Motor stepper adalah jenis motor yang berputar dengan langkah-langkah tertentu. Motor stepper banyak dipakai dalam industri, seperti dalam mesin CNC, lengan robot, pemindai, printer, dan bahkan yang lebih baru, 3D printer, karena kemampuan kontrolnya yang handal tanpa perlu umpan balik tertutup (closed-loop). Gambar 2 menunjukkan tampilan fisik dari motor stepper. Motor stepper sebenarnya adalah jenis motor DC yang tidak memiliki komutator. Ia hanya memiliki kumparan pada bagian stator, sementara bagian rotornya terdiri dari magnet permanen. Karena konstruksinya seperti itu, motor stepper bisa dikendalikan untuk berputar sesuai keinginan, baik searah jarum jam maupun sebaliknya. Motor stepper dapat berputar dalam sudut/step yang bervariasi, tergantung pada jenis motor yang digunakan, dan ukuran stepnya bisa mencakup rentang $0,9^\circ$. Posisi putarannya juga relatif akurat dan stabil. Dengan variasi sudut ini, pengendalian motor stepper menjadi lebih mudah tanpa perlu menggunakan umpan balik tertutup (closed-loop) untuk memantau posisinya[7].



Gambar 2. Bentuk Motor Stepper[7].

2.4. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC merupakan sebuah perangkat pengendalian yang dapat diatur melalui program yang telah disimpan di dalamnya. Berbeda dengan perangkat pengendalian konvensional, PLC memiliki keunggulan karena perubahan dapat dilakukan tanpa perlu mengubah instalasi fisik. Modifikasi hanya perlu dilakukan pada programnya. Salah satu jenis program yang sering digunakan adalah diagram tangga (Ladder Diagram). Melalui diagram tangga ini, logika pengendalian proses dapat terlihat sesuai dengan alur kerja yang diinginkan seperti pada flow chart[11].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) atau bisa disebut penelitian dan pengembangan, metode penelitian ini digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Alur dari penelitian dan pengembangan ini ditunjukkan pada Gambar 3.



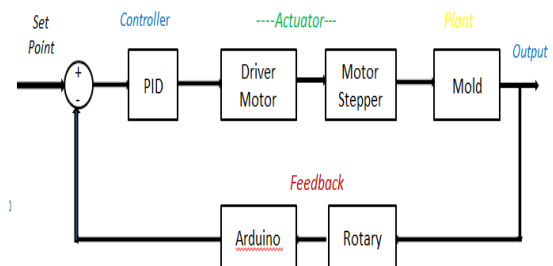
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan Gambar 3, tahapan dari penelitian ini dimulai dari mendefinisikan, lalu mendesain, selanjutnya mengembangkan dan terakhir mengevaluasi. Adapun penjelasan dari setiap langkah diatas adalah sebagai berikut:

- (1) **Mendefinisikan**, tahap ini akan mencari pemasalahan yang ada berdasarkan hasil pengamatan langsung ataupun pencarian literasi baik dari media *online* maupun *offline* hingga wawancara. Setelah diketahui terdapat suatu permasalahan yang ada. Langkah selanjutnya memformulasikan konsep teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Pada tahap ini juga merancang setiap hal yang dibutuhkan baik alat atau bahan dalam membangun sistem untuk menjawab permasalahan yang terjadi.
- (2) **Mendesain**, pada tahap ini dilakukan proses desain terhadap sistem yang akan diusulkan. Pada tahap ini juga dilakukan perancangan sistem yang kegiatannya meliputi: merancang mekanik penggerak molding, merancang kontrol *molding* dan merancang pergerakan motor stepper.
- (3) **Mengembangkan**, pada tahap ini dilakukan proses implementasi dari hasil perancangan yang dilakukan. Pada tahap ini juga dikatakan sebagai proses fabrikasi dari alat yang diusulkan.
- (4) **Mengevaluasi**, setelah sistem sudah difabrikasi dan telah berjalan dengan baik. Tahap akhir akan dilakukan pengujian

terhadap sistem yang diusulkan tersebut. Pengujian ini meliputi kinerja dari sistem dan efektifitas sistem dalam menjawab permasalahan yang terjadi. Hasil dari tahap ini dapat diketahui apakah sistem dapat dipergunakan atau masih butuh dikembangkan lagi.

Adapun sistem kontrol yang akan dirancang khususnya dalam mengontrol motor stepper dalam proses molding microplastic ini ditunjukkan pada Gambar 4.



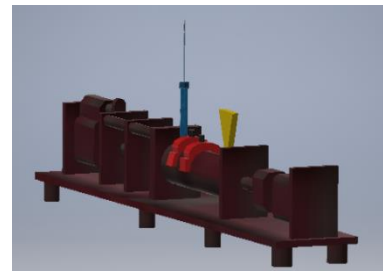
Gambar 4. Diagram blok perencanaan sistem.

Cara kerja dari sistem kontrol pada proses *molding microplastic* ini dimulai dari mengatur *set point* berupa parameter jarak, selanjutnya pada bagian kontroller 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*.

3.1. 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 extruder, 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 5. Sedangkan untuk bagian dan fungsinya ditunjukkan pada Tabel 1.

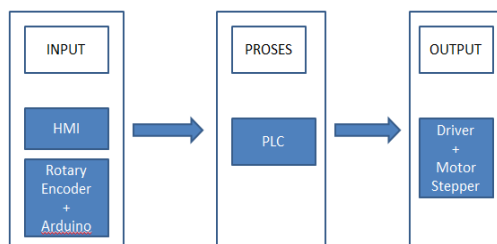


Gambar 5. Desain dari sistem molding microplastic yang diusulkan.

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 barrel
7	<i>Mold</i>	Tempat cetakan biji plastik yang telah dilelehkan
8	Motor <i>Stepper</i> untuk <i>mold</i>	Memaju mundurkan mold (cetakan)
9	<i>Rotary Encoder</i>	Mengukur jarak antara mold dan nozzle

Berdasarkan Gambar 5, 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 6.



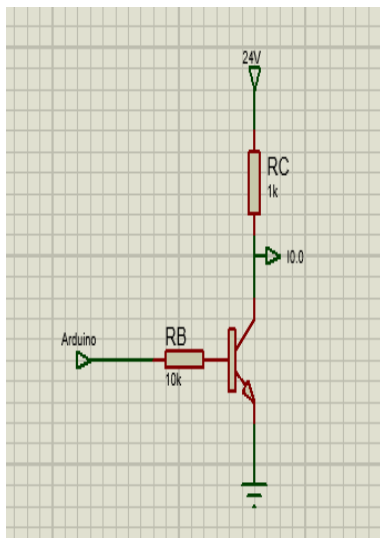
Gambar 6. Diagram blok cara kerja sistem.

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 menggerakkan motor stepper dan mengatur posisi yang tepat pada molding pada saat injecting biji plastik.

3.2. Desain Rangkaian *Switching*

Rangkaian *switching* digunakan untuk memutus dan menghubungkan tegangan 5v dari arduino menjadi 24v untuk input ke PLC. Skema rangkaian *switching* ditunjukkan pada Gambar 7.



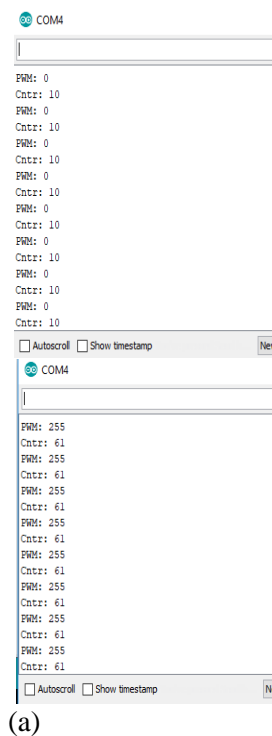
Gambar 7. Skema rangkaian switching

Berdasarkan Gambar 4, Resistansi pada RB adalah $10\text{ k}\Omega$ dan Resistansi pada terminal Kolektor RC = $1\text{ k}\Omega$, sedangkan tegangan Vcc adalah 24V. Pada input Basis, sinyal yang bervariasi antara 0 dan 24V diberikan sehingga dapat melihat output pada kolektor dengan memvariasikan Vi di dua kondisi yaitu pada saat kondisi 0V dan kondisi 24V.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. 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 dikelolah 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 8.



Gambar 8. 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.

4.2. 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.

4.2.1. 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 Input	Kondisi LED	
		LOW	HIGH
1	I0.0	Mati	Menyala
2	I0.1	Mati	Menyala
3	I0.2	Mati	Menyala
4	I0.3	Mati	Menyala
5	I0.4	Mati	Menyala

4.2.2. 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.

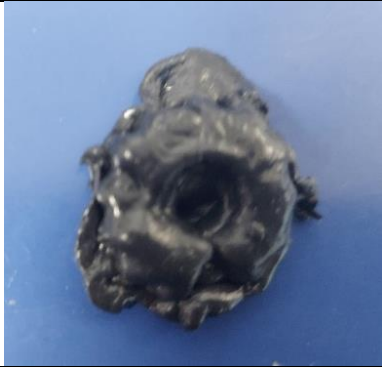
Tabel 3. Hasil pengujian Digital Output

No.	Alamat Digital Output	Kondisi LED	
		LOW	HIGH
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

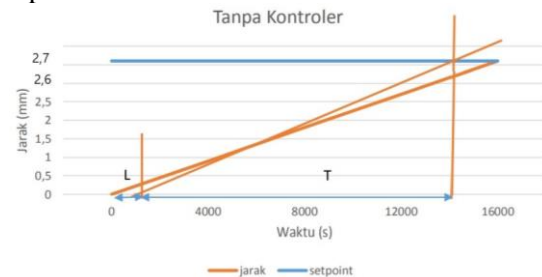
4.2.3. Pengujian sistem dengan dan tanpa kontrol PID

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

Tabel 4. Bagian Mekanik Keseluruhan beserta fungsinya

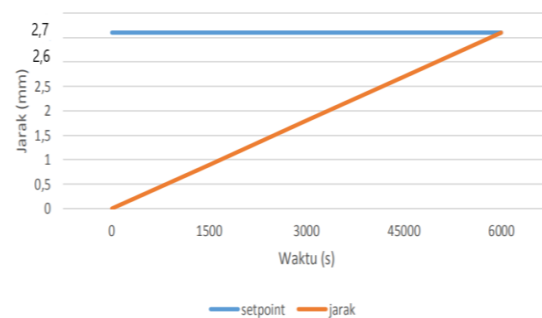
No	Nilai Set Point	Nilai K_p, K_i, K_d	Nilai K_p, K_i, K_d
1	2500	$K_p = 3$ $K_i = 0$ $K_d = 7000$	

pengujian. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 9.



(a)

Grafik Kontrol PID



(b)



Gambar 9. Hasil pengujian sistem dengan dan tanpa kontrol PID

(a) Kurva hasil tanpa kontrol PID

(b) Kurva hasil dengan kontrol PID

4.2.4. 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.

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 nozzle. Hasil cetakan yang paling baik dihasilkan pada nilai setpoint sebesar 2700, nilai tersebut mengkondisikan mold dan nozzle dalam posisi yang tepat atau rapat. Sedangkan nilai setpoint 2600 dan 2500 posisi mold dan nozzle 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 di awal dan saat mendekati setpoint akan mengurangi kecepatannya.

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah 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 nozzle dalam posisi yang tepat atau rapat, hal ini membuat proses cetakan berjalan dengan baik sesuai dengan desain dari cetakan yang diberikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Yulianto, Rispianda, and H. Prasetyo, "Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator Kompor Gas pada Proses Injection Molding," *Reka Integr. J. Online Institut Teknol. Nas.*, vol. 2, no. 3, pp. 140–151, 2014.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] R. Rizeki, B. Setiyono, and M. A. Riyadi, "Perancangan Sistem Kontrol Motor Berbasis Kontrol PID Dengan Menggunakan Mikrokontroller 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.
- [9] R. P. Putra and Y. Yenni, "The Design of Arduino Uno Based Automatic Concrete Maker," *JEEMECS (Journal Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.)*, vol. 3, no. 2, pp. 171–178, 2020.
- [10] S. J. Sokop, D. J. Mamahit, M. Eng, S. R. U. A. Sompie,) Mahasiswa, and) Pembimbing, "Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 3, p. 14, 2016.
- [11] I. W. W., S. Sori, J. Jakaria, A. H. W., and M. Mulyono, "Aplikasi Prgrammable Logic Controller (Plc) Pada Sistem Kontrol Proses Pengelasan Inner Dan Outer Tabung Iradias," *JFN*, vol. 4, no. 1, pp. 31–42, 2016.