

SERVO PNEUMATIK UNTUK PENGATURAN POSISI LENGAN ROBOT CARTESIAN

Made Andik Setiawan^{1*}, Agus Suprianto², Syawalia Pramita Dewi³

^{1,2,3} Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung: Jln. Timah Ray Air Kantung Sungailiat, Bangka 33211, Telp (0717) 93586.

Keywords:

kontrol posisi; proportional valve; robot; servo pneumatik.

Correspondent Email:

made@polman-babel.ac.id



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Silinder pneumatik adalah salah satu jenis aktuator yang banyak digunakan pada dunia otomasi dan robotika terutama karena kecepatan dan kemudahannya. Namun demikian untuk pergerakan yang presisi maka diperlukan pengaturan khusus sebagaimana pada kontrol motor DC servo. Pada penelitian ini didesain dan diuji coba pengaturan posisi silinder pneumatik dengan menggunakan proportional valve, linier potensiometer sebagai sensor posisi dan Arduino sebagai controller. Ujicoba keberhasilan dilakukan dengan metode on-off, P controller, PI controller dan juga PID controller. Hasil ujicoba menunjukkan bahwa pengaturan posisi presisi silinder pneumatik untuk aplikasi lengan robot cartesian dapat dilakukan dengan baik. Besaran gain pada PID controller menentukan nilai kecepatan menuju posisi yang diinginkan (rise-time), kestabilan (overshoot dan settling-time) dan juga kepresisian sistem (steady-state-error).

Abstract. *Pneumatic cylinder is one of the most famous actuators in automation and robotic application. The most advantage of pneumatic cylinder is their incredible processing speed and reliable. However, for precision movement, pneumatic cylinder requires like as servo controller in DC motor. In this paper, precision position control for pneumatic cylinder is investigated and evaluated by employed special proportional valve, linier potentiometer as position sensor and Arduino for the central controller. The performance of the proposed system is evaluated by using on-off method, P controller, PI controller and PID controller. The results indicated that the proposed system shows the successful of precision position control by servo pneumatic cylinder. The rise-time, settling-time, overshoot and steady-state-error are evaluated by using varied of gain.*

1. PENDAHULUAN

Pneumatik adalah salah satu jenis aktuator yang sangat banyak digunakan terutama untuk bidang otomasi dan robotika selain motor [1]. Kelebihan dari jenis aktuator pneumatik ini adalah kecepatan dan kemudahannya [2]. Aplikasi yang menggunakan aktuator pneumatik umumnya adalah aplikasi dengan dua posisi yaitu posisi maksimum dan posisi minimum atau posisi silinder maju atau posisi silinder mundur [2], [3]. Salah satu tantangan pengembangan aplikasi aktuator pneumatik pada bidang otomasi dan robotika adalah

pengaturan posisi sebagaimana yang umum digunakan pada aktuator jenis motor *DC servo* [4], [5].

Pengaturan posisi tidak hanya membutuhkan *controller* pada aktuator tetapi juga membutuhkan sensor-sensor yang dapat mendeteksi posisi seperti *encoder* atau potensiometer [3], [6], [7]. Berbagai jenis kajian untuk meningkatkan performance dari sensor *encoder* untuk mendeteksi posisi telah dikembangkan dan dipublikasikan baik nasional maupun internasional [8]–[10]. Selain itu sensor potensiometer sebagai sensor posisi juga

telah banyak digunakan, diteliti dan dikembangkan dalam dunia otomasi dan robotika [11]–[13]. Selain sensor, pengaturan posisi juga membutuhkan *controller* untuk sinyal aktuator. *Controller* pada aktuator untuk pengaturan posisi yang paling banyak digunakan yaitu PID *controller* dan juga *pulse-width-modulation* (PWM) [4], [6], [14]–[16].

Servo pneumatik adalah aktuator pneumatik yang menggunakan *controller* servo dan sensor posisi dalam pengaturan gerakannya sehingga gerakan silinder pada servo pneumatik dapat diukur dan dikendalikan [1], [17], [18]. Pada konsep servo pneumatik, tegangan sensor posisi akan diukur untuk mencapai titik yang ditentukan (*voltage saturation*) [19]–[21]. Namun demikian penggunaan servo pneumatik untuk aplikasi lengan robot dan juga *pick-and-place* otomatisasi mesin memerlukan ketelitian, kepresisian dan kecepatan proses yang belum dibahas dalam artikel-artikel diatas.

Dengan permasalahan tersebut diatas, pada penelitian ini akan dilakukan design dan evaluasi *performance* PID *controller* untuk lengan robot berbasis servo pneumatik dengan sensor potentiometer untuk pengaturan posisi yang presisi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Potensiometer adalah salah satu komponen yang digunakan untuk sensor posisi. Kelebihan utama dari potensiometer adalah harga yang murah dan mudah dalam penggunaannya. Tetapi kekurangan utamanya adalah tingkat kepresisiannya karena terpengaruhi sifat-sifat mekanik pergerakan. Kelemahan yang lain adalah rentan terhadap perubahan tegangan sumber [13], [22].

Untuk penggunaan sebagai sensor posisi, potensiometer digunakan sebagai pembagi tegangan, dimana gerakan aktuator dideteksi dengan adanya perubahan hambatan. Dengan memberikan tegangan sumber pada kaki pertama dan tegangan nol (*ground*) pada kaki ketiga, maka potensiometer dapat digunakan sebagai sensor posisi dengan konfigurasi sebagai pembagi tegangan [22]. Sensor posisi banyak digunakan untuk pengontrolan servo (*servo controller*) [17], [20], [23]

Pulse width modulation (PWM) adalah modulasi berbasis pada lebar pulsa dengan amplitudo dan frekuensi yang sama.

Penggunaan PWM paling banyak digunakan untuk pengaturan motor DC [24]–[26].

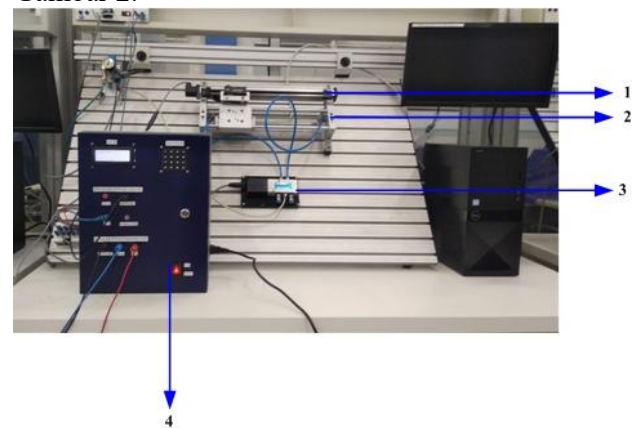
Sedangkan PID *controller* banyak digunakan untuk aplikasi dengan karakteristik yang tidak linier [27]. Penggunaan PID *controller* memerlukan pengaturan konstanta atau gain proporsional, gain integral dan gain derivative yang dapat dilakukan secara try and error [28].

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran berbasis eksperimental di laboratorium secara langsung. Peralatan yang digunakan antara lain:

- Proportional directional control valve*, type MPYE MPYE-5-1/8-LF-010-B, 5/3-way valve, pressure 0 - 10 bar, voltage 17-30 V DC, Festo.
- Linear* potentiometer, Festo 152628, resistance 5 k Ω , working distance 457 mm, output voltage 0 – 10 V DC, resolution and reproducibility ≤ 0.01 mm.
- Linear cylinder* LA-450 (No. 192501), Festo
- Arduino untuk *controller*
- Driver* L298N.

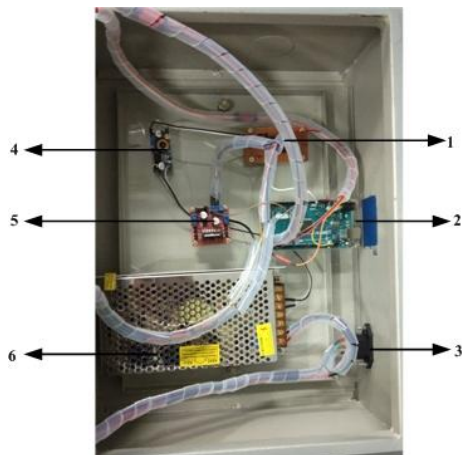
Dengan foto peralatan yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Setup peralatan yang digunakan

Keterangan :

- 1: *linier* potensiometer
- 2: silinder pneumatik
- 3: 5/3 *proportional valve*
- 4: *box controller*

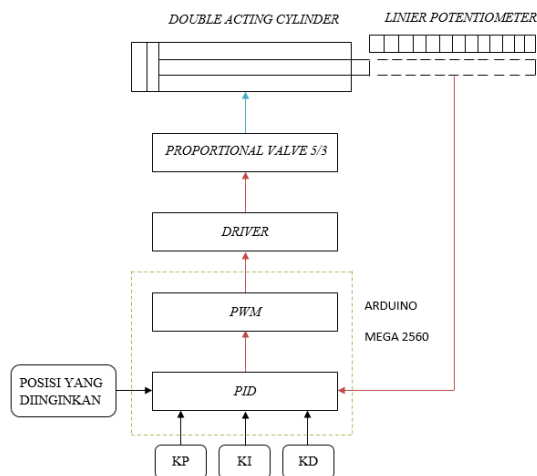


Gambar 2. Komponen controller dalam box controller yang digunakan

Keterangan :

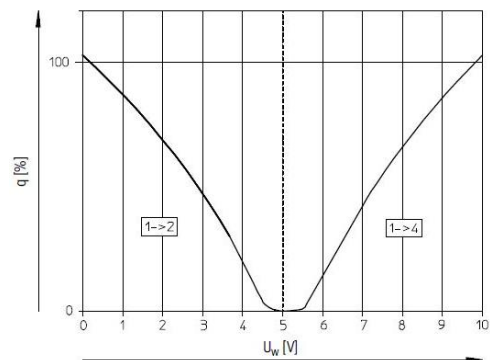
- 1: *pin header*
- 2: *arduino mega 2560*
- 3: *AC outlet*
- 4: *regulator tegangan*
- 5: *driver L298N*
- 6: *power supply DC*

Proportional valve adalah komponen untuk menggerakkan silinder pneumatik dengan *control* berupa tegangan listrik 0-10 VDC. *Linier potentiometer* adalah sensor posisi dari silinder pneumatik. Dengan bergeraknya silinder pneumatik, maka nilai resistansi dari linier potentiometer akan berubah juga. Nilai resistansi dari linier potentiometer yang digunakan adalah sebesar 5 k Ω . Sedangkan komponen arduino digunakan sebagai *controller* seluruh sistem. Blok diagram dari penelitian ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram penelitian yang dilakukan

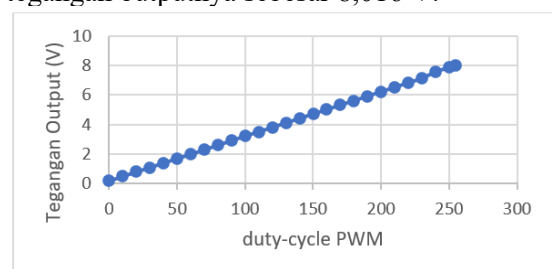
Blok diagram pada Gambar 3 menunjukkan bahwa *PID controller* dilakukan dengan menggunakan algoritma yang dilakukan di Arduino dengan input dari sensor posisi linier potentiometer yang dibandingkan dengan input posisi yang diinginkan dalam satuan mm. Sehingga algoritma yang dibangun dalam *PID controller* adalah mengubah besaran *error* selisih posisi antara input posisi yang diinginkan dengan posisi dari linier potentiometer. Grafik karakteristik dari *proportional valve* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik proportional directional control valve, type MPYE MPYE-5-1/8-LF-010-B, Festo [29]

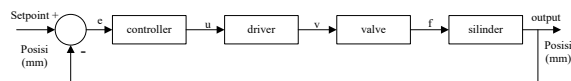
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengatur *proportional valve* bekerja dengan karakteristik yang ditunjukkan pada Gambar 5, dalam penelitian ini menggunakan *driver* L298N yang digerakkan dengan *pulse-width-modulation* (PWM) dari Arduino. Dari hasil pengukuran diperoleh hasil perbandingan besaran *duty-cycle* PWM Arduino dengan tegangan output yang dihasilkan adalah linier dengan *duty-cycle* 0 (0%) maka tegangan output sebesar 0,2 V dan *duty-cycle* 255 (100%) maka tegangan outputnya sebesar 8,016 V.



Gambar 5. Karakteristik perbandingan duty-cycle PWM Arduino dengan tegangan output pada driver L298N

Sedangkan rancangan *close-loop system* yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.

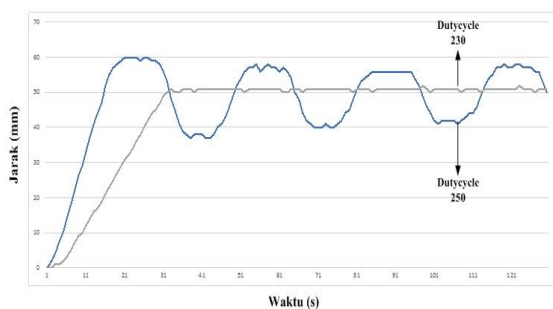


Gambar 6. close-loop system

Keterangan :

- e: *error* - perbedaan posisi *setpoint* dengan posisi *output* dari *linier* potensiometer
- u: nilai *duty-cycle* PWM dari Arduino hasil konversi *error*
- v: besaran tegangan *output* sebanding dengan besaran *duty-cycle* PWM
- f: volume dan *pressure* fluida angin output *proportional valve*

Ujicoba pengaturan posisi silinder pneumatik menggunakan sistem sebagaimana disebutkan pada Gambar 3 dan juga Gambar 4 dilakukan secara pengukuran riil menggunakan metode *on-off*, metode *P controller*, *PI controller* dan juga *PID controller*. Hasil pengukuran respon sistem dengan menggunakan metode *on-off* dengan *duty-cycle* 230 dan *duty-cycle* 250 dengan posisi yang diinginkan sejauh 50 mm ditunjukkan pada Gambar 7.

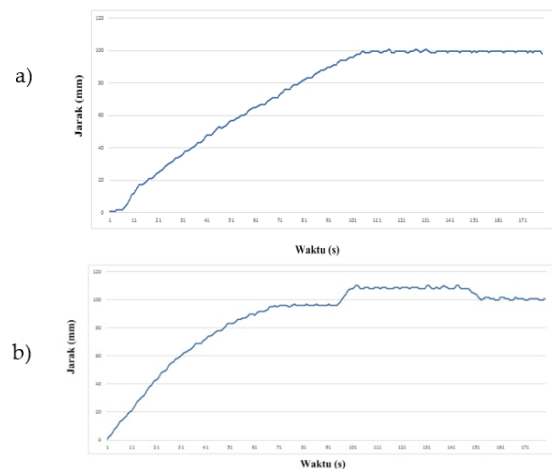


Gambar 7. Respon pergerakan silinder pneumatik metode *on-off*

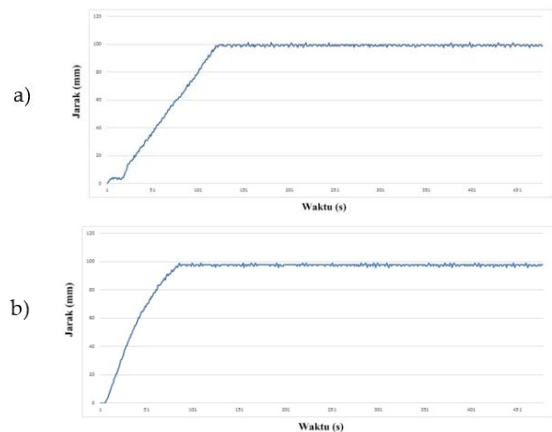
Hasil percobaan dengan metode *on-off* pada Gambar 7 menunjukkan metode ini dapat digunakan menggunakan *duty-cycle* yang lebih kecil sehingga pergerakan silinder lebih lambat. Dengan *duty-cycle* yang lebih besar atau pergerakan silinder lebih cepat, maka terjadi osilasi atau pergerakan maju-mundur silinder

untuk menyesuaikan dengan posisi yang diinginkan.

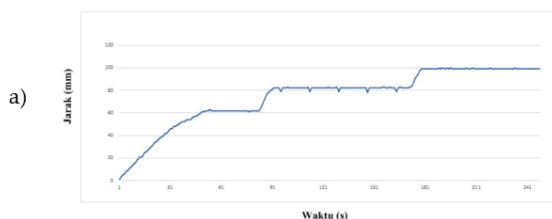
Sebagai perbandingan metode *on-off*, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode *P controller*, *PI controller* dan *PID controller*. Hasil pengukuran menggunakan *P controller* dengan $K_p=0,5$ dan $K_p=1,5$ dapat ditunjukkan pada Gambar 8, *PI controller* dengan $K_p=0,5$ $K_i=0,006$ dan $K_p=1,5$ $K_i=0,006$ ditunjukkan pada Gambar 9 serta *PID controller* dengan $K_p=0,5$ $K_i=0,2$ $K_d=0,1$ pada Gambar 10.

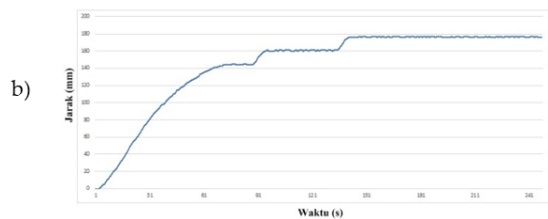


Gambar 8. Respon pergerakan silinder dengan *P controller* a). $K_p=0,5$ dan b). $K_p=1,5$



Gambar 9. Respon pergerakan silinder dengan *PI controller* a). $K_p=0,5$ $K_i=0,006$ dan b). $K_p=1,5$ $K_i=0,006$





Gambar 10. Respon pergerakan silinder dengan PID controller $K_p=0,5$ $K_i=0,2$ $K_d=0,1$ dengan a) setpoint=100 mm dan b). setpoint=150 mm

Hasil pada Gambar 8 dengan menggunakan *P controller* menunjukkan bahwa secara umum *P controller* dapat digunakan untuk pengaturan posisi untuk silinder pneumatik. *Overshoot* dan *settling time* pada *P controller* lebih baik dengan nilai K_p yang lebih kecil. Namun hasil berbeda apabila menggunakan *PI controller*. Dengan nilai K_p yang lebih besar dan K_i yang sama, hasil pengukuran menunjukkan nilai K_p yang lebih besar akan menghasilkan respon *rise time* dan *settling time* lebih cepat dengan *overshoot* dan *steady-state-error* kurang lebih sama. Hasil yang mirip juga ditunjukkan apabila menggunakan *PID controller* sebagaimana pada Gambar 10.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan ujicoba secara riil eksperimental pengaturan posisi silinder pneumatik untuk lengan robot *cartesian*. Penelitian dilakukan menggunakan *linier cylinder* sebagai aktuator, *proportional valve* untuk mengatur pergerakan silinder, *linier potentiometer* sebagai sensor posisi silinder, dan *arduino* sebagai *controller* sistem. Ujicoba dilakukan pengukuran respon dengan metode *on-off*, *P controller*, *PI controller* dan juga *PID controller*. Secara umum hasil pengukuran menunjukkan bahwa pergerakan silinder yang lambat dengan *duty-cycle* yang kecil pada metode *on-off* dan K_p yang kecil pada *P controller* akan menghasilkan pergerakan silinder dengan *overshoot* dan *steady-state-error* yang lebih kecil. Namun pada *PI* dan *PID controller* menunjukkan bahwa dengan K_p yang lebih besar *rise-time* dan *settling time* lebih cepat dapat tercapai selain *overshoot* dan *steady-state-error* juga terjaga. Sehingga secara umum dapat disimpulkan bahwa pengaturan posisi silinder pneumatik dapat dilakukan untuk

pegerakan yang presisi untuk lengan robot *cartesian*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Schluter and E. A. Perondi, "Mathematical Modeling with Friction of a SCARA Robot Driven by Pneumatic Semi-rotary Actuators," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 6, pp. 1066–1076, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9099684.
- [2] C. Y. Froessel, M. A. Aebi, S. Demirtas, and J. Paik, "A Plug-and-Play Pneumatic Supply System," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 10, no. 7, pp. 7190–7197, 2025, doi: 10.1109/LRA.2025.3573174.
- [3] M. S. Xavier *et al.*, "Soft Pneumatic Actuators: A Review of Design, Fabrication, Modeling, Sensing, Control and Applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 59442–59485, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179589.
- [4] D. Santoso, D. Susilo, and Y. A. Darmawan, "Pengembangan Algoritma untuk Penyempurnaan Gerakan dan Kestabilan Robot Humanoid berbasis Kondo KHR – 3HV," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 14, no. 01, pp. 7–16, 2015, doi: 10.31358/techne.v14i01.119.
- [5] K. Lesmana and S. A. Sukarno, "Prototipe Penggunaan Motor Servo Untuk Dispenser Otomatis Berbasis Arduino Dan Sensor HC-SR04," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, pp. 16–22, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6063>.
- [6] A. Ningsih and C. Puspita, "Kendali PID Training Kit ELABO TS 3400 Menggunakan Sensor Posisi," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 15, no. 01, pp. 9–16, 2016, doi: 10.31358/techne.v15i01.136.
- [7] A. Ghaffari and Y. Hojjat, "A Novel Absolute Rotary Encoder Based on Soft Pneumatic Sensing Chambers," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 1999–2007, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2022.3232540.
- [8] H. C. Chuang, C. W. Kung, L. W. Chen, and S. B. Jiang, "Nonlinear Error Correction for Magnetic Encoders," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 9, pp. 9129–9135, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2022.3214575.
- [9] M. Dalboni and A. Soldati, "Absolute Two-Tracked Optical Rotary Encoders Based on Vernier Method," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 72, 2023, doi: 10.1109/TIM.2022.3225052.
- [10] E. Celik and A. Hulya Obdan, "A New Absolute Encoder Design Based on Piecewise Pseudo-Linear Signals," *IEEE Sensors Journal*, vol. 24, no. 16, pp. 25590–25600,

2024. doi: 10.1109/JSEN.2024.3418939.
- [11] N. J. Kumar, B. George, and M. Sivaprakasam, "A Membrane-Potentiometer-Based Palpation Position Sensor Suitable for Ophthalmic Anesthesia Training," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 3324–3332, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2019.2955499.
 - [12] Y. Zhang, F. Ni, and H. Liu, "Design and Optimization of Wheatstone Bridge Adjustment Circuit for Resistive Sensors," *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 13, pp. 14330–14338, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3274927.
 - [13] D. Utomo, "Alat Pengukur Resistansi Konduktivitas Dan Total Dissolved Solids Air Dengan Teknik Dorong-Tarik," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 11, no. 2, pp. 131–140, 2012, [Online]. Available: <https://ojs.jurnaltechne.org/index.php/techne/article/view/77>
 - [14] N. Onasie and S. Sulaiman, "Perancangan Sendok Makan Parkinson dengan Metode PID berbasis Arduino," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 1, pp. 33–48, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i1.346.
 - [15] A. S. Deryawan, F. D. Setiaji, and D. Santoso, "Perancangan Penendang Bola pada Robot Beroda dengan Kelajuan Bola yang Dapat Diatur Menggunakan PWM," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 17, no. 02, pp. 100–108, 2018, doi: 10.31358/techne.v17i02.177.
 - [16] M. A. Setiawan, F. Hidayat, and E. Sari, "PID Controller for DC-DC Converter under Dynamic Load Change in Photovoltaics based Low-Voltage DC Microgrid," *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.22219/kinetik.v8i1.1582.
 - [17] H. T. Lin, "Development of the Intelligent Pneumatic Sewing Platform for Mask Production," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 141777–141786, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013636.
 - [18] J. Zhang, C. Cui, S. Gu, T. Wang, and L. Zhao, "Trajectory Tracking Control of Pneumatic Servo System: A Variable Gain ADRC Approach," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 53, no. 11, pp. 6977–6986, 2023, doi: 10.1109/TCYB.2022.3174613.
 - [19] C. Wang, Y. Shi, Y. Wang, S. Xu, and M. Liang, "Event-Triggered Adaptive Fuzzy Output Feedback Tracking Control for Pneumatic Servo System With Input Voltage Saturation and Position Constraint," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 20, no. 3, pp. 4360–4369, 2024, doi: 10.1109/TII.2023.3316222.
 - [20] C. Wang, Y. Shi, Y. Wang, S. Xu, and Z. Sun, "Position Tracking Control for Pneumatic Servo System Subject to State Constraints and Voltage Saturation," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 29, no. 4, pp. 2440–2450, 2024, doi: 10.1109/TMECH.2023.3336281.
 - [21] S. Fu *et al.*, "Untethered Soft Rolling Robot Based on Pneumatic-Tendon Coupled Actuation," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 9, no. 10, pp. 8897–8904, 2024, doi: 10.1109/LRA.2024.3455852.
 - [22] A. Informatics, I. S. Mangkunegara, A. Setia, S. Ariyanto, D. N. Triwibowo, and A. Info, "Implementasi Arduino Iot Cloud : Potensiometer Sebagai Pengatur Intensitas Cahaya LED," *J. Sci. Appl. Informatics*, vol. 7, no. 1, pp. 65–72, 2024, doi: 10.36085.
 - [23] V. Susilowati, S. Darmawan, T. Elektro, T. Mesin, U. Tarumanagara, and K. J. Barat, "Implementasi alat pengupas dan pemotong kabel otomatis," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 1, pp. 446–454, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5646>.
 - [24] C. R. Harahap, F. X. A. Setyawan, R. A. Nasution, U. Lampung, G. Meneng, and K. B. Lampung, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sumber Panel Surya," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 797–804, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3424>.
 - [25] M. F. Muzaki, D. R. Nurjannah, K. Cimahi, K. Cimahi, and J. Barat, "Pengaruh Kecepatan Konveyor Pada Penggunaan IOT Dan PLC Secara Real-Time Pada Prototype Car Wash Dengan Pulse Width Modulation," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 221–228, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7566>.
 - [26] T. Putra *et al.*, "RANCANG BANGUN SENSORLESS (MINIMUM SENSOR) KONTROL MOTOR INDUKSI 1 FASA PADA MESIN," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 800–807, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i2.3986>.
 - [27] S. Nur *et al.*, "Kontrol Suhu Pada Teko Listrik Menggunakan PID Dengan Arduino Uno," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 1, pp. 1193–1200, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5874>.
 - [28] N. D. Imtinan, D. A. Ramadhani, A. Abitama, and N. Miftahulhuda, "Two-Wheel Self-Balancing Robot with PID-Fuzzy and Wall-Following," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 669–681, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6940>.
 - [29] FESTO, *Proportional directional control valve MPYE-5-1/8-HF-010-B*. Germany: FESTO Didactic GmbH & Co, 2025.

[Online]. Available:
https://www.festo.com/media/catalog/203322_documentation.pdf#:~:text=At a glance.
General information: • The, directional control valve has a position-controlled spool.