

Desain dan Implementasi PLC Outseal untuk Menggerakkan Motor DC dengan Berbagai Variasi Kecepatan

Grizly Adam¹, Leonardus Heru Pratomo², Arifin Wibisono³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur Selatan IV No.1, Bendan Duwur, Kec.Gajahmungkur, Semarang

¹gregoriusagunggrizlyadam@gmail.com

²leonardus@unika.ac.id

³dt.arifin@unika.ac.id

Abstrak—*Programmable Logic Controller (PLC)* sebuah unit pengendali pusat pada industri, terdiri dari dari *Central Processing Unit (CPU)*, memori serta modul *Input / Output* untuk mengatur data input / output. *PLC Outseal* merupakan inovasi baru dengan memanfaatkan *Arduino* sebagai *CPU* dan dikembangkan dengan menambahkan pin input, output, input *ADC* dan berbagai fungsi yang dapat digunakan sebagaimana mestinya *PLC* berfungsi. *PLC Outseal* dikendalikan dengan program melalui *Outseal Studio* berupa ladder diagram dengan berbagai fungsi di dalamnya seperti fungsi pembangkit *Pulse Width Modulation (PWM)*, fungsi logika, fungsi pengatur waktu dan masih banyak lagi. Pada makalah ini akan dikaji suatu pemanfaatan *PLC Outseal* untuk menggerakkan kecepatan motor dengan menggunakan beberapa variasi kecepatan berbasis *PWM*. Suatu motor *DC* dengan tegangan sebesar *180VDC* digunakan dalam penelitian ini, sehingga dibutuhkan suatu konverter *DC* ke *DC* dua kuadran untuk menggerakannya. Konverter *DC-DC* ini diimplementasi dengan menggunakan dua buah *MOSFET* jenis *IRFP460* sebagai saklar daya. Sedangkan bagian penggerak saklar menggunakan *TLP250* yang dikombinasikan dengan *IR2111* untuk membentuk komplemen masing-masing saklar daya. Berdasarkan hasil ujicoba yang dilakukan di laboratorium *PLC Outseal* dapat digunakan sebagai pengendali kecepatan motor *DC* dengan berbagai variasi kecepatan dengan merubah *PWM* yang diatur melalui *setpoint*

Kata kunci—*PLC Outseal, PWM, Motor DC*

I. PENDAHULUAN

Programmable Logic Control atau yang biasa dikenal sebagai *PLC* yaitu suatu *solid-state device* dari rumpun komputer yang menggunakan sirkuit terintegrasi (*IC*) sebagai pengganti perangkat elektromekanis digunakan untuk mengimplementasikan fungsi kontrol. Pada tren saat ini, untuk menanggapi siklus hidup produk yang dipersingkat dan berbagai kebutuhan pelanggan dalam suatu industri, diperlukan perubahan prosedur proses produksi secara *real time* [1]. Namun, tidak mudah untuk mengatasi situasi yang rumit dengan sistem otomasi terstruktur yang tetap, dimana otomatisasi industri bertanggung jawab atas operasi berulang yang sederhana namun harus tepat dan *PLC* mampu untuk kontrol proses produksi pada suatu industri secara *real time*. *Programmable Logic Control* mampu menyimpan instruksi, seperti pengurutan, pengaturan waktu, penghitungan, aritmatika, manipulasi data, dan komunikasi, serta untuk mengontrol mesin dan proses industri [2]. *Programmable*

Logic Control mampu membaca sinyal baik dalam bentuk digital atau analog dari perangkat input yang berbeda (sensor, pemancar, *keyboard*, *encoder* dan lain-lain) kemudian sesuai dengan logika program lalu diteruskan ke modul *output* dan kemudian ke perangkat *output* (motor dan katup solenoid) untuk melakukan fungsi yang diinginkan [3]. Sistem *PLC* yang kompleks sekarang menyediakan kemampuan multiprosesor dan *multitasking*, di mana satu *PLC* dapat mengontrol beberapa program dalam satu penutup *CPU* dengan beberapa prosesor.

Pada makalah ini dikaji salah satu pemanfaatan pada *PLC Outseal* untuk menggerakkan kecepatan motor dengan menggunakan beberapa variasi kecepatan berbasis *Pulse Width Modulation (PWM)*. Suatu motor *DC* dengan tegangan *180 VDC* digunakan dalam penelitian ini, sehingga dibutuhkan suatu konverter *DC* ke *DC* dua kuadran untuk menggerakannya. Konverter *DC-DC* ini diimplementasi dengan menggunakan dua buah *MOSFET* jenis *IRFP460* sebagai saklar daya. Sedangkan bagian penggerak saklar menggunakan *TLP250* yang dikombinasikan dengan *IR2111* untuk membentuk komplemen masing-masing saklar daya. Disisi lain makalah ini juga menjelaskan mengenai sistem operasi yang akan mengkonversikan sinyal *PWM* yang bertujuan dikirimkan untuk saklar pada konverter sekaligus tentang kendali kecepatan pada motor *DC* dengan memanfaatkan variabel *duty cycle* pada sinyal *PWM* yang dikeluarkan oleh mikrokontroler [4]. Untuk mewujudkan kontrol *PWM*, perlu dilakukan pengukuran *error monitoring* secara *real time*, memperkirakan *duty cycle* pulsa berdasarkan regulator yang diterapkan, dan membentuk perintah [5].

II. KOMPONEN SISTEM

A. *PLC Outseal*

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan unit pengendali pusat pada industri atau dapat dikatakan sebagai proses yang terdiri dari *Central Processing Unit (CPU)*, memori serta modul *Input / Output* untuk mengatur data *input / output* [6].

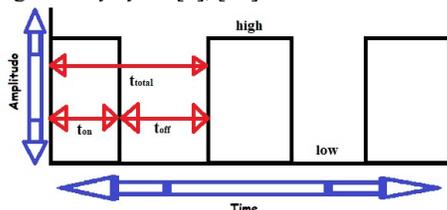
PLC pada dinamika otomasi industri dikenal dengan istilah mikrokontroler. Pada umumnya mikrokontroler beroperasi pada tegangan kecil berkisar *7-24 Volt* dimana arus masuk dan keluar sebesar *7-24 mA* [7].



Gambar. 1 Outseal PLC

Pada gambar 1, merupakan modul PLC jenis Outseal dimana modul ini perpaduan antara PLC dengan Mikrokontroler. PLC Outseal merupakan sebuah perangkat keras seperti PLC pada umumnya dengan berbekal Arduino sebagai mikrokontrol, yang dimanfaatkan sebagai perancang kontrol pada otomatisasi industri [8]. Perangkat keras selalu membutuhkan perangkat lunak, pada PLC Outseal sendiri terdapat perangkat lunak dengan nama Outseal studio. Outseal studio merupakan produk yang dikembangkan bersamaan dengan perangkat keras PLC Outseal. Outseal studio dijalankan melalui komputer dengan *operating system* Windows dalam bentuk sebuah simulasi program secara visual menggunakan diagram tangga [9]. Diagram tangga dapat diartikan sebagai sebuah hasil dari rancangan kontrol logika yang selanjutnya dikirimkan dengan menggunakan kabel USB pada perangkat keras PLC Outseal. Kemudian kabel USB dapat dilepas dan PLC Outseal dapat digunakan sesuai dengan hasil rancangan kontrol logika tersebut secara mandiri [10].

PLC Outseal diprogram menggunakan kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM adalah sebuah proses perbandingan sinyal modulasi dan sinyal *carrier* sehingga dapat dihasilkan sinyal berbentuk kotak yang mempunyai lebar pulsa yang beragam dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan suatu siklus. Lebar pulsa tersebut dapat dikendalikan dengan mengubah besar kecilnya *duty cycle*. *Duty cycle* sendiri merupakan sebuah persentase periode sinyal *high* dan *low*. Pada persentase *duty cycle* yang dihasilkan dalam sebuah siklus berbanding lurus dengan tegangan rata - rata yang dihasilkan. Pada sinyal PWM seperti pada gambar 2, terdapat lebar pulsa yang beragam *duty cycle* [4], [11].



Gambar. 2 Sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*)

t_{on} menunjukkan waktu ketika sebuah tegangan *output* berada pada logika 1 atau *high*. t_{off} menunjukkan waktu ketika sebuah tegangan keluaran berada pada logika 0 atau *low*. T_{total} merupakan satuan waktu satu rangkaian siklus dan merupakan penjumlahan antara t_{on} dan t_{off} , atau dapat dikenal dengan istilah "periode satu gelombang".

$$T_{total} = t_{on} + t_{off} \quad (1)$$

Sebuah *duty cycle* pada suatu gelombang didefinisikan sebagai,

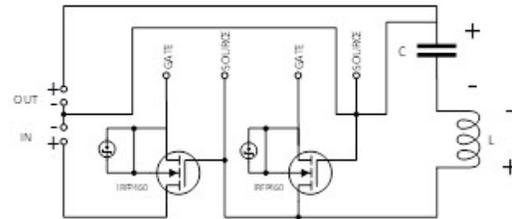
$$d = \frac{t_{on}}{(t_{on}+t_{off})} \times 100\% \quad (2)$$

Tegangan keluaran memiliki beberapa variasi menurut *duty cycle* dan ada pula perumusannya sebagai berikut,

$$V_{out} = d \times V_{in} \quad (3)$$

B. Buck Converter

Pada gambar 3 terdapat contoh *Buck Converter* yang digunakan pada pengamatan di laboratorium. *Buck Converter* ini dapat menghasilkan rata - rata tegangan keluaran DC yang relative rendah dibandingkan tegangan masukan DC [12]. Tujuan dari adanya rangkaian ini untuk menghasilkan keluaran DC yang murni. Sehingga, filter seperti *low pass filter* dapat diberikan pada rangkaian dasar sebagai penghasil tegangan DC *output*. Ketika siklus saklar ON, terjadi bias mundur pada komponen diode dan beban serta inductor mendapatkan saluran energi. Sedangkan pada siklus saklar OFF, terjadi bias maju pada komponen dioda dan melalui diode arus inductor dapat mengalir serta sebagian energi yang tersimpan dapat disalurkan pada beban.



Gambar. 3 *Buck Converter*

C. DC Motor 180V DC Magnet Permanent

Motor DC magnet permanen mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya tidak lagi membutuhkan suplai listrik untuk membangkitkan medan stator serta fluks medan magnetnya relatif konstan. Selain itu, ukuran motor DC permanen dapat dibuat menjadi lebih kecil dan ringan [13], [14]. Karena menggunakan catu daya DC, motor DC permanen cocok digunakan pada peralatan *portable*.

Kecepatan motor berubah seiring dengan perubahan ukuran motor [15]. Kecepatan motor (n) meningkat dengan meningkatnya tegangan *input* motor seperti yang dinyatakan oleh persamaan :

$$n = \frac{V - (I \times R)}{C \times \Phi} [\text{rpm}] \quad (4)$$



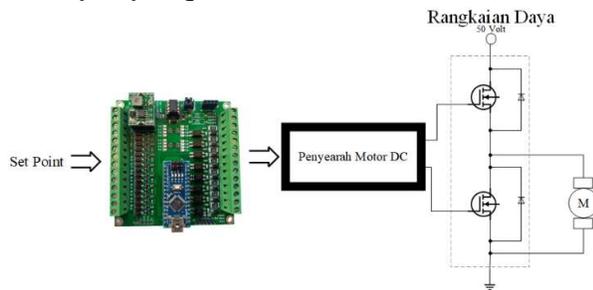
Gambar. 4 *DC Motor 180V DC Magnet Permanent*

TABEL I
PARAMETER DC MOTOR 180V DC MAGNET PERMANENT

DC Motor 180V DC Magnet Permanent	
Voltage	180 VDC
Current	1.4 / 1.2 A
Speed	1800 RPM

III. METODOLOGI

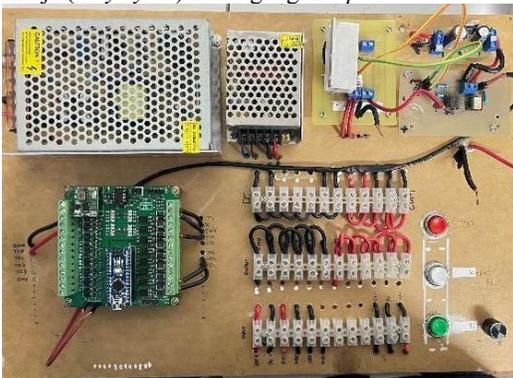
Pada makalah ini akan dikaji suatu pemanfaatan PLC Outseal untuk menggerakkan kecepatan motor dengan menggunakan beberapa variasi kecepatan berbasis PWM. Suatu motor DC dengan tegangan sebesar 180VDC digunakan dalam penelitian ini, sehingga dibutuhkan suatu konverter DC ke DC dua kuadran untuk menggerakkannya. Konverter DC-DC ini diimplementasi dengan menggunakan dua buah MOSFET jenis IRFP460 sebagai saklar daya. Sedangkan bagian penggerak saklar menggunakan TLP250 yang dikombinasikan dengan IR2111 untuk membentuk komplemen masing-masing saklar daya. Secara diagram blok sistem yang diteliti seperti pada gambar 5.



Gambar. 5 Diagram Blok Sistem

A. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat dilakukan secara sistematis dan berdasarkan materi yang diperoleh dari studi kasus kepustakaan. Perancangan alat mencakup seluruh aspek yang mendukung desain ini. Termasuk kelistrikan, mekanik dan *software*. Kecepatan motor dikendalikan dengan menyesuaikan siklus kerja (*duty cycle*) dan tegangan *input*.



Gambar. 6 Rancangan Alat

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa PLC Outseal memperoleh sumber tegangan dari *power supply* 5V. PLC Outseal dihubungkan pada tegangan 5V karena pada ADC

(*Analog to Digital Converter*) PLC untuk maksimal tegangan *input* adalah 5V. Jika lebih dari 5V maka skala PWM yang dihasilkan akan berbeda.

Komponen selanjutnya adalah *potensiometer* yang dihubungkan pada input ADC A.1. pada PLC Outseal, fasa positif di 5V dan fasa negatif 5V. Potensiometer tersebut berfungsi sebagai pengatur *duty cycle* PWM. PLC Outseal juga dihubungkan pada *driver buck converter* melalui pin R.7. ke saklar *driver*.

Driver pada rancangan ini berfungsi sebagai penghubung tegangan yang diinginkan melalui *buck converter* yang nantinya akan menyuplai tegangan pada motor DC. *Driver* ini mendapatkan suplai tegangan dari *power supply* 24V yang dikonversi menjadi tegangan 12V melalui rangkaian LM7812.

B. Pengujian dan Analisis

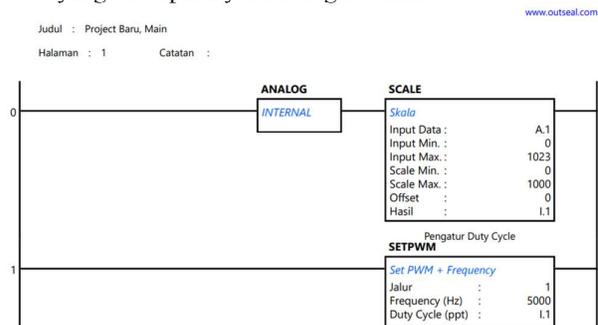
Pengamatan dilakukan pada setiap bagian serta secara keseluruhan. Dalam pengujian setiap bagian terdiri dari perangkat sebagai berikut:

1. Catu daya
2. *Driver* motor
3. Rangkaian PWM
4. Pengujian motor
5. Pengujian alat secara menyeluruh

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukannya proses pengambilan data pada penelitian ini sesuai dengan metode yang direncanakan, didapatkan kumpulan data yang diambil dari beberapa perangkat atau alat ukur.

Hasil pengujian juga didasarkan pada *software* pendukung pada PLC Outseal untuk menjalankan program atau *coding* kontrol PWM, dimana data persentase *duty cycle* pada pengujian terdapat pada tabel II. Berikut adalah *coding* pada PWM yang diterapkan yaitu sebagai berikut:



Gambar. 7 Coding pada PLC Outseal

Coding pada gambar 7 diatas menunjukkan *coding* untuk *setting* PWM. Pada *coding* di atas terdapat 2 ladder diagram, pada ladder pertama terdapat fungsi ANALOG untuk mengaktifkan fungsi ADC pada PLC Outseal, dan fungsi copy A.1. sebagai *input min* dan *scale min* memiliki nilai 0, selanjutnya untuk *input max* memiliki nilai 1023 serta *scale max* memiliki nilai 1000.

Pada ladder kedua terdapat fungsi SET PWM yang merupakan pengendali dari PWM itu sendiri. Pada fungsi ini

dapat mengatur berapa jumlah frekuensi yang diinginkan serta memasukkan data integer sebagai pengendali *duty cycle*. Untuk jalur pada fungsi ini disesuaikan pada *hardware* PLC Outseal yang digunakan, karena pada versi PLC Outseal *Nano V5.2* hanya memiliki satu jalur PWM pada pin R.7 maka jalur pada fungsi ini diberikan nilai 1.

TABEL II
DATA KENDALI PWM

Persentase (<i>Duty Cycle</i>)	Tacho Meter (Kecepatan Motor)	Tegangan (Volt)
10%	131,7	15,6
25%	312	25,6
50%	511,1	35,6
75%	808,1	40,8
90%	1315,9	45,2

Pada tabel II, terdapat data persentase *duty cycle*, kecepatan motor menggunakan *tachometer*, serta yang ditampilkan pada tabel II yaitu data kendali PWM pada motor DC magnet permanen pada tegangan maksimal 50 volt. Pada tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika *set point duty cycle* semakin tinggi maka kecepatan motor akan semakin tinggi juga.



Gambar. 8 Grafik Tegangan dan Kecepatan Motor terhadap *duty cycle*

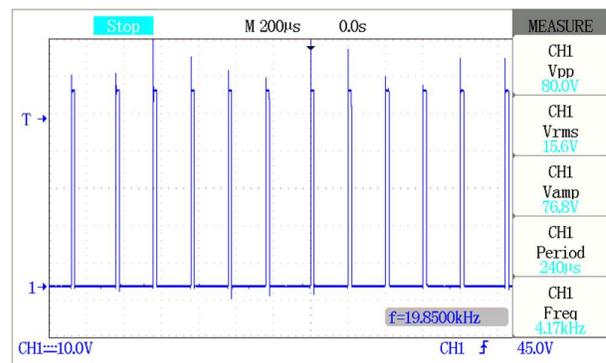
Dari hasil percobaan yang telah dilakukan seperti pada grafik gambar 8, kenaikan tegangan dan kecepatan motor bertambah seiring bertambahnya *duty cycle*. Hal ini terjadi karena setiap bertambahnya *duty cycle* akan menambah suplai tegangan pada motor.

TABEL III
DATA RATA-RATA SELISIH PERUBAHAN KECEPATAN MOTOR DAN TEGANGAN

Persentase (<i>Duty Cycle</i>)	Selisih (Kecepatan Motor)	Selisih (Tegangan)
10%	131,7	15,6
25%	180,3	10
50%	199,1	10
75%	297	5,2
90%	507,8	4,4
Rata-rata	263,18	9,04

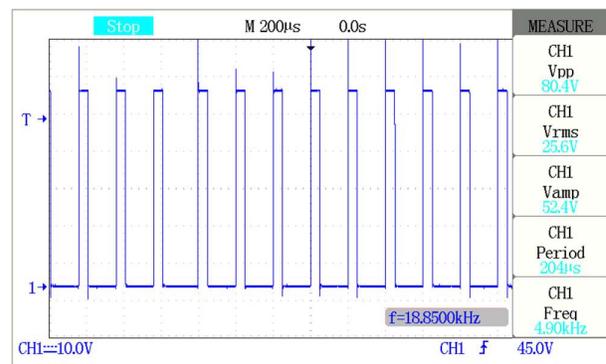
Data pada tabel III menjelaskan bahwa selisih tiap kenaikan *duty cycle* sangat mempengaruhi kenaikan kecepatan motor dan tegangan yang dihasilkan. Kenaikan kecepatan motor paling tinggi diperoleh saat *duty cycle* 75% menjadi 90% dimana kenaikannya mencapai 507,8 rpm, pada kenaikan tegangan paling tinggi justru pada saat *start* menjadi 10% dimana kenaikan tegangannya mencapai 15,6 Volt, hal ini dikarenakan setiap motor ketika akan berputar harus memiliki tegangan yang tinggi terlebih dahulu.

Selain itu, pada tabel III memiliki data rata-rata kenaikan kecepatan motor dan tegangan yang dihasilkan pada tiap perubahan *duty cycle*. Untuk rata-rata kenaikan kecepatan motor adalah 263,18 rpm sedangkan untuk kenaikan tegangan adalah 9,04 Volt. Data tersebut dapat menjadi referensi untuk penelitian pada masa yang akan datang mengenai PLC Outseal untuk menggerakkan motor DC dengan kapasitas maksimum tegangan yang lebih rendah.



Gambar. 9 Data Osiloskop ketika *duty cycle* 10% [skala 10,0 V/div]

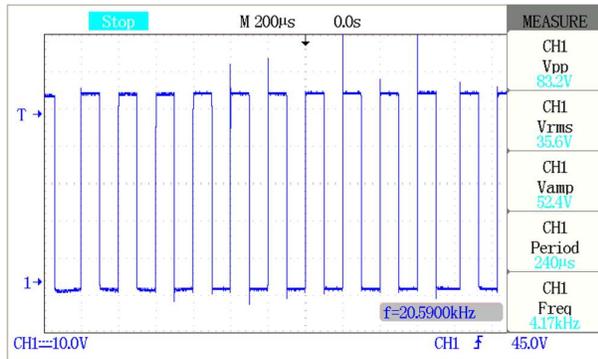
Dari Gambar 9 terdapat data sinyal PWM dengan *duty cycle* 10% dimana pada siklus ini terdapat tegangan *output* sebesar 15,6 Volt dengan frekuensi tetap sebesar 18kHz. Dengan tegangan sebesar 15,6 Volt dapat menggerakkan motor dengan kecepatan 131,7 rpm.



Gambar. 10 Data Osiloskop ketika *duty cycle* 25%

Dari Gambar 10 terdapat data sinyal PWM dengan *duty cycle* 25% dimana pada kondisi tersebut sinyal PWM yang bergeser seiring dengan bertambahnya tegangan *input* yang diberikan pada motor. Sinyal PWM tersebut yang memberikan sinyal digital ke sinyal analog yang dibutuhkan oleh motor dengan amplitudo yang tetap dengan tegangan *output* sebesar

25,6 Volt. Pada tegangan *output* tersebut dapat menggerakkan motor dengan kecepatan 312 rpm.



Gambar. 11 Data Osiloskop ketika *duty cycle* 50%

Dari Gambar 11 terdapat data sinyal PWM dengan *duty cycle* 50% dimana pada siklus ini terdapat tegangan *output* sebesar 35,6 Volt dengan frekuensi tetap sebesar 20kHz. Dengan tegangan sebesar 35,6 Volt dapat menggerakkan motor dengan kecepatan 511,1 rpm.

V. KESIMPULAN

Dapat dilihat dari hasil penelitian pengendalian motor DC magnet permanen menggunakan kendali PWM dengan memanfaatkan PLC Outseal. Dimana program kendali PWM kemudian dikonversikan menjadi sebuah sinyal PWM yang akan dikirimkan kepada saklar pada konverter. Dari pengamatan di laboratorium PLC tipe Outseal dapat digunakan sebagai pengendali motor DC, dimana PLC tipe Outseal ini mengeluarkan sinyal PWM yang dapat diatur *duty cycle* nya. Besarnya *duty cycle* menentukan kecepatan putar : semakin besar *duty cycle* semakin cepat motor berputar, hal ini berhubungan dengan tegangan keluaran yang diterima oleh motor DC.

REFERENSI

- [1] H. S. Jeong, S. H. Ji, H. S. Jung and J. C. Koo, "Design of SW architecture for PLC integrated robot," 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2017, pp. 874-876, doi: 10.1109/URAI.2017.7992851.
- [2] S. Wiliyanti, M. Manfaluthy,) Program, S. T. Elektro, I. Teknologi, and K. Jakarta, "SISTEM KENDALI CONVEYOR PENGHITUNG PRODUK BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (Conveyor Control System Product Calculation Based On Programmable Logic Controller)," *Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 8, no. 2, pp. 33-39, 2019.
- [3] S. Ghildiyal, "Design To Convert a Wired PLC into Wireless PLC," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 1591-1597, Jan. 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.1244.
- [4] Akbar, Danu, and Slamet Riyadi. "Pengaturan Kecepatan Pada Motor Brushless DC (BLDC) Menggunakan PWM (Pulse Width Modulation)." *PROSIDING SEMINAR NASIONAL INSTRUMENTASI, KONTROL DAN OTOMASI*. 2018.
- [5] S. Cajetinac, D. Seslija, S. Aleksandrov, and M. Todorovic, "PWM control and identification of frequency characteristics of a pneumatic actuator using PLC controller," *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 123, no. 7, pp. 21-26, 2012, doi: 10.5755/ij01.eee.123.7.2369.

- [6] Marwita, Fivit, and Ditasari Nurullah. "Prototype Pengisi Cetakan Coklat Menggunakan PLC dan HMI." *SINUSOIDA* 23.2 (2021): 33-41.
- [7] M. Munawar *et al.*, "Microcontroller Application in Industrial Control & Monitoring Systems," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 17, no. 1, 2014, [Online]. Available: <http://www.ijettjournal.org>
- [8] Setyawan, Herlin. *Otomasi Industri dengan Arduino Outseal PLC*. UNP PRESS, 2020.
- [9] A. Bakhtiar and B. E. Pertama, "PANDUAN DASAR OUTSEAL PLC," 2020. [Online]. Available: www.outseal.com
- [10] B. Gemilang, L. Nurpulaela, and Y. Saragih, "Implementasi Outseal PLC pada Automatic Duck Egg Washing Machine," 2020.
- [11] Z. Shen, N. Yan, and H. Min, "A multimode digitally controlled boost converter with PID autotuning and constant frequency/constant off-time hybrid PWM control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 9, pp. 2588-2598, 2011, doi: 10.1109/TPEL.2011.2111464.
- [12] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, "Performance Analysis of DC-DC Buck Converter for Renewable Energy Application," in *Journal of Physics: Conference Series*, June. 2018, vol. 1019, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1019/1/012020.
- [13] "Hughes, Austin, and Bill Drury. *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes, 2019.
- [14] Toliyat, Hamid A., and Gerald B. Klیمان, eds. *Handbook of electric motors*. Vol. 120. CRC press, 2018.
- [15] Gunawan, Gunawan, et al. "APLIKASI MAGNET PERMANEN PADA MOTOR DC UNTUK PENGGERAK ALAT PENGADUK LARUTAN." *Jurnal Sains Materi Indonesia* 4.1 (2019): 30-33.