

## Sistem Kontrol Pneumatik pada *Inlet Guide Vane* Turbin Air Mikro Hidro

Ainun Nidhar<sup>1</sup>, Sonki Prasetya<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta

<sup>1</sup>ainunnidhar.tm23@stu.pnj.ac.id <sup>2</sup>sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

### Abstract

Indonesia has 377 MW of micro-hydro potential as an energy source for electric power generation, with the main component being water turbines. Important parameters controlled in electricity generation are generally the rotation and frequency of the turbine-generator which are regulated automatically in this case through a guide vane. This research explores the potential use of pneumatic control with an Arduino microcontroller as an alternative in regulating the Inlet Guide Valve (IGV) opening in a low-power Micro Hydro Power Plant (MHP). Hydraulic systems that are generally used in large power water turbines have constraints on maintenance costs and high processing time. By utilizing pneumatic control, this research uses Arduino to control the guide vane movement through a pneumatic cylinder. Tests were conducted with separate programs to read the turbine rotation, activate the solenoid valve, and adjust the power on the guide vane simulator. The test results show that the system successfully controls the rotation of the water turbine effectively. The conclusion of this research is that there is an inversely proportional relationship between the opening of the guide vane and the rotation of the water turbine, as well as successful control through a pneumatic system with Arduino. This research contributes to the development of low-power MHP technology with more efficient maintenance costs.

Keywords: water turbine, micro hydro, inlet guide vane, pneumatic cylinder, arduino

### Abstrak

Indonesia memiliki potensi mikro hidro sebesar 377 MW sebagai sumber energi pembangkitan tenaga listrik, dengan komponen utamanya ialah turbin air. Parameter penting yang dikendalikan pada pembangkitan listrik umumnya ialah putaran dan frekuensi dari turbin-generator yang diatur secara otomatis dalam hal ini melalui *guide vane*. Penelitian ini mengeksplorasi potensi penggunaan kontrol pneumatik dengan mikrokontroler Arduino sebagai alternatif dalam mengatur bukaan *Inlet Guide Valve (IGV)* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) berdaya rendah. Sistem hidrolik yang umumnya digunakan pada turbin air berdaya besar memiliki kendala biaya perawatan dan waktu pengerjaan yang tinggi. Dengan memanfaatkan kontrol pneumatik, penelitian ini menggunakan Arduino untuk mengontrol gerakan *guide vane* melalui silinder pneumatik. Pengujian dilakukan dengan program-program terpisah untuk membaca putaran turbin, mengaktifkan *solenoid valve*, dan mengatur daya pada simulator *guide vane*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengontrol putaran turbin air secara efektif. Kesimpulan dari penelitian ini adalah adanya hubungan berbanding terbalik antara bukaan *guide vane* dan putaran turbin air, serta pengendalian yang berhasil dilakukan melalui sistem pneumatik dengan Arduino. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi PLTMH berdaya rendah dengan biaya perawatan yang lebih efisien.

Kata kunci: turbin air, mikro hidro, *inlet guide vane*, silinder pneumatik, arduino.

### 1. Pendahuluan

Potensi minihidro dan mikrohidro sebagai sumber energi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Indonesia sebesar 377 MW [1], dengan komponen utamanya ialah turbin air sebagai media transfer dari energi mekanik menjadi energi listrik pada generator. Pengaturan daya listrik yang dihasilkan maka laju aliran air yang memutar sudu turbin air perlu diatur menggunakan *Inlet Guide Valve (IGV)*. Gerakan *guide vane* (Gambar 1) diatur oleh

*wicket-gate servomotor* melalui silinder hidrolik sebagai *actuator* [2].

Sistem hidrolik menggunakan *oil* sebagai fluida kerjanya, yang digunakan pada kontrol yang lebih presisi dengan gaya kerja yang tinggi, dan kecepatan yang rendah [3] sehingga cocok digunakan pada turbin air dengan daya besar. Sedangkan untuk PLTMH daya yang dihasilkan di bawah 200kW [4], pada umumnya dibuat serta dioperasikan secara swadaya oleh masyarakat atau sebagai simulasi media

pembelajaran pada institusi pendidikan, sehingga sistem hidrolik kurang tepat digunakan karena memiliki kekurangan yaitu biaya perawatan yang lebih tinggi dan waktu pengerjaan lebih lama [3]. Maka dari itu penggunaan sistem kontrol pneumatik dapat dijadikan alternatif sebagai aktuatur pada bukaan *IGV*, dengan kelebihan yang jauh lebih besar berupa dapat bekerja pada tekanan 5 bar hingga 10 bar [3], torsi rendah, instalasi mudah dipasang, dan biaya perawatan lebih murah [5].

Pengendalian sistem pneumatik pada *IGV* dibutuhkan kontroler. Penelitian telah dilakukan untuk mengontrol pneumatik menggunakan *Programmable Logic Control (PLC)*, namun dari segi biaya masih lebih mahal sepuluh kali lipat [6]. Alternatif dari pengganti PLC dapat menggunakan Arduino, yaitu kit elektronik atau papan rangkaian *open source*, dimana desain skematik dan PCB bersifat *open source* sehingga kita dapat menggunakannya maupun melakukan modifikasi [7]. Penelitian telah dilakukan dengan melakukan kontrol pneumatik menggunakan Arduino pada *punching machine* [8], *shearing machine* untuk pemotongan aluminium [9], dan sebagai kontrol pada industri [10], sehingga belum dilakukan pengujian kontrol pneumatik *IGV* turbin air pada PLTMH. Maka, tujuan dari penelitian ini adalah dilakukan pengendalian kontrol pneumatik pada *IGV* menggunakan mikrokontroler Arduino.

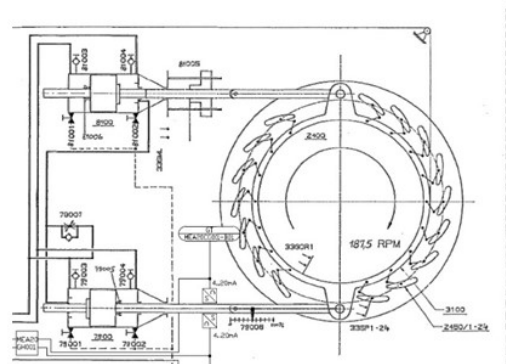
## 2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian disajikan pada diagram alir pada Gambar 2. Disain *guide vane* tersaji pada Gambar 3, terdiri dari dua belas kaki kepiting yang menjadi dudukan dari masing-masing *guide vane*. Peralatan yang dibutuhkan tersaji pada Tabel 1. Merupakan alat yang dibutuhkan pada pengujian sistem kontrol. Diagram blok sistem pengendalian dari gerakan silinder pneumatik, yang akan mempengaruhi bukaan *guide vane* disajikan pada Gambar 4. Posisi dari silinder pneumatik dideteksi oleh LVDT, dengan nilai keluaran berupa tegangan yang menjadi *feedback* pada sistem ini. Pembacaan LVDT mempengaruhi perintah yang dikirim Arduino pada gerakan silinder.

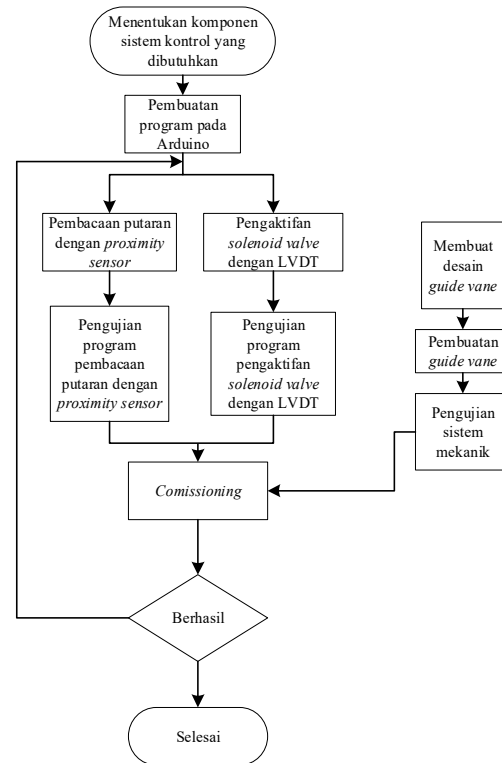
Diagram blok dari pengendalian putaran motor dan pembacaan putarannya disajikan pada Gambar 5. Putaran motor diatur dengan menggunakan PWM melalui *driver* motor, yang mana inputnya merupakan nilai tegangan. Putaran motor ( $N_{op}$ ) dideteksi oleh *proximity sensor*, hasil pembacaan *proximity sensor* berupa tegangan dan menjadi *feedback* pada sistem ini.

Diketahui bahwa tegangan keluaran dari LVDT dan *proximity sensor* merupakan *feedback* pada sistem ini, yang keduanya dijumlahkan lalu hasilnya dibandingkan dengan  $N_{sp}$ . Jika penjumlahan LVDT dan *proximity sensor* memiliki nilai yang lebih kecil dari  $N_{sp}$  maka silinder bergerak maju dan LVDT terdorong sehingga tegangan *output* meningkat dan

putaran motor juga akan bertambah (tercapai  $N_{op}$  sama dengan  $N_{sp}$ ). *Layout* dari sistem mekanik simulator *guide vane* disajikan pada Gambar 6. dan *layout* elektrik dan kontrol disajikan pada Gambar 7.



Gambar 1. Silinder Hidrolik dan *Guide Vane* [2]

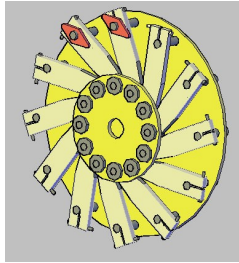


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Program yang diujikan pertama *RPM counter* untuk membaca putaran pada motor oleh *proximity sensor* yang *outputnya* berupa nilai tegangan, kedua program pengaturan daya untuk mengetahui hubungan daya dengan panjang langkah lengan silinder pneumatik, dan ketiga program *speed control* untuk menjaga putaran tetap berada pada *set point* yang ditentukan.

*Individual test* merupakan pengujian dari masing-masing program yang sudah. Program yang diuji ialah pembacaan *proximity sensor*, pengaturan pengaktifan *solenoid valve* terhadap pembacaan LVDT. Tujuan

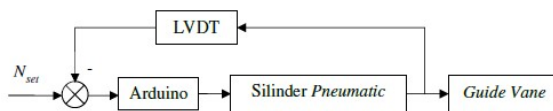
dari pengujian ini, ialah untuk mengetahui ketepatan, ketelitian, dan fungsi kerja program sesuai dengan yang diharapkan.



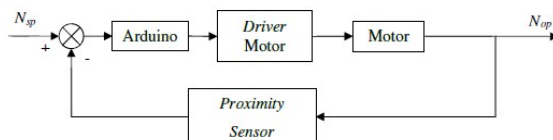
Gambar 3. Desain Guide Vane

Tabel 1. Daftar Peralatan

No.	Nama	Spesifikasi
1	Arduino	Atmega2560
2	Silinder Pneumatik	10 bar
3	Katup Kontrol Direksional	Double cylinder acting
4	Solenoid Valve	0,15 – 0,8 Mpa
5	Kompressor	Daya ¼ HP, Tekanan 8 bar, kapasitas 6L
6	Power Supply	DC 24 V, Arus 6 A
7	Module Relay	5 V
8	LVDT (Linear Variable Differential Transformer)	-
9	Kabel Jumper	-
10	Motor Induksi	220 V, 120 W
11	Proximity Sensor	PR series, 12-24 V



Gambar 4. Diagram Blok Pembacaan Posisi Silinder Pneumatik



Gambar 5. Diagram Blok Pembacaan Putaran Motor

Berdasarkan hasil *individual test*, dapat diketahui keberhasilan dari masing – masing program uji. Maka langkah selanjutnya yaitu menggabungkan seluruh program menjadi program keseluruhan sistem.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Individual Test Program Proximity Sensor

Pengujian *proximity sensor* menggunakan program *RPM counter*. Ditujukan untuk melihat keberhasilan program yang dibuat, dalam membaca putaran turbin air Laboratorium Energi PNJ. Sisi poros ditempelkan logam *magnet* yang merupakan target objek pembacaan sensor.

*Proximity sensor* memiliki lampu indikator berwarna merah, yang apabila lampu aktif (*HIGH*) maka logam *magnet* terdeteksi, dan jika lampu indikator tidak aktif (*LOW*) menunjukkan logam *magnet* tidak terdeteksi. Program ini menggunakan asas *stopwatch*. Saat lampu indikator bernilai *HIGH* maka perhitungan waktu akan dimulai (*started*), dan waktu akan berhenti (*finished*) jika lampu indikator bernilai *LOW*.

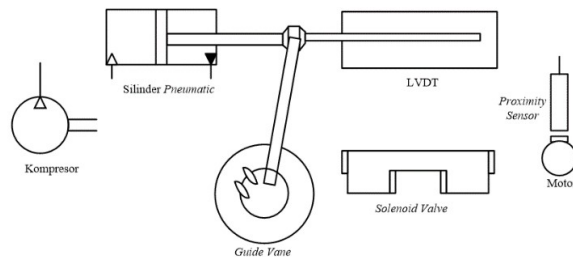
#### 3.2. Individual Test Program Solenoid Valve dan LVDT

Pengujian *solenoid valve* dan LVDT dilakukan untuk mengetahui fungsi *solenoid valve*, yang pengaktifannya dilakukan oleh Arduino dengan *input*-nya merupakan posisi atau nilai tegangan *output* dari LVDT. Mengaktifkan masing – masing *switch*, maka pin 6 dan 7 diperintahkan untuk “*HIGH*”, sehingga memberikan tegangan (*output*) 5 [V]. Sebaliknya jika ingin me-nonaktifkan masing - masing *switch*, pin 6 dan 7 diperintahkan untuk “*LOW*”, sehingga tidak ada *supply* tegangan. Nilai pembacaan dari LVDT merupakan nilai *analog* yang mempunyai skala 0–1023.

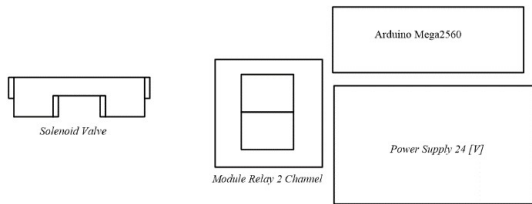
Jika nilai LVDT (Tabel 2.) yang muncul pada *Serial Monitor* bernilai kurang dari 400, maka pin 6 akan mengaktifkan S1 dan kondisi S2 *OFF* sehingga silinder bergerak maju, jika pin 7 mengaktifkan S2, maka silinder bergerak mundur dan S1 pada kondisi *OFF*. Kondisi ini terjadi jika pembacaan nilai LVDT lebih dari 600. Saat silinder bergerak maju atau mundur, silinder dapat diperintahkan untuk berhenti diposisi tengah dari panjang silinder, jika 52 pembacaan LVDT berada diantara nilai 400 dan 600. Saat kondisi ini terjadi, pin 6 dan pin 7 berada pada kondisi *LOW*, sehingga S1 dan S2 *OFF*, hasil pengujian tersaji pada Tabel 3.

#### 3.3. Pengujian Commisioning

Untuk mengetahui karakteristik panjang lengan silinder pneumatik terhadap beban, maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan kode program *set* daya. Dari pengujian ini, didapatkan data yang tersaji pada Tabel 4.



Gambar 6. Layout Sistem Mekanik Simulator Guide Vane



Gambar 7. Layout Sistem Elektrik dan Kontrol Simulator Inlet Guide Vane

Tabel 2. Keberanan Pengujian Posisi LVDT terhadap Pengaktifkan Switch

Nilai Pembacaan LVDT	Output Pin 6	S <sub>1</sub>	Output Pin 7	S <sub>2</sub>	Silinder
< 400	1	1	0	0	1
>600	0	0	1	1	0
400 < LVDT > 600	0	0	0	0	0

Tabel 3. Hasil Pengujian Posisi LVDT terhadap Pengaktifkan Switch

No	Nilai LVDT	Kondisi	Gerakan Silinder	Waktu Tempuh [ms]
1	156	6 ON, 7 OFF	Maju	200
2	967	6 OFF, 7 ON	Mundur	200
3	218	6 ON, 7 OFF	Maju	200
4	972	6 OFF, 7 ON	Mundur	200
5	974	6 OFF, 7 ON	Mundur	600
6	576	Setpoint	Diam	600
7	576	Setpoint	Diam	3200
8	617	6 OFF, 7 ON	Mundur	3200

Nilai beban diasumsikan dari nilai PWM yang bernilai 0 sampai dengan 255. Sehingga nilai  $v$  merupakan representasi dari nilai beban, 0 diidentikan dengan 0 [%] beban dan 255 diasumsikan sebagai 100 [%] beban. Beban yang dimaksud ialah daya aktif yang akan dihasilkan, dan pada simulator ini objek yang dijadikan variasi beban ialah intensitas lampu LED. Konversi nilai PWM menjadi % beban dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$PWM = \frac{\text{Beban}}{100} \times 255 \quad (1)$$

Nilai  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  adalah panjang langkah silinder untuk mencapai nilai  $v$ , yang dirata – ratakan menjadi nilai  $x_r$  dan dikonversi menjadi %. Nilai  $x$  juga diasumsikan sebagai nilai besaran bukaan *guide vane*. Perhitungan untuk mengkonversi nilai  $x_r$  dalam satuan cm menjadi % menggunakan persamaan (2).

$$x_i [\%] = \frac{x_r [\text{cm}]}{L [\text{cm}]} \times 100 \quad (2)$$

Grafik hasil pengujian ini (Gambar 8.) dibandingkan dengan data operasi PLTA Cirata Unit 7 tanggal 19 Februari 2017 (Tabel 5.), data ini menjadi acuan dasar dan disajikan pada grafik pada Gambar 9.

### 3.4. Pengujian Panjang Langkah Silinder terhadap Putaran

Pengujian ini merupakan inti dari simulator sistem kontrol pada *guide vane*. *Set point* putaran yang diatur

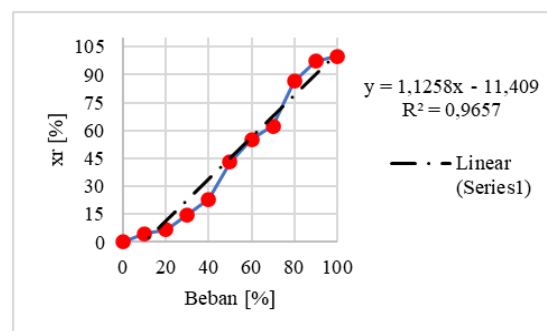
ialah sebesar 95% hingga 105%. Posisi dari LVDT menentukan nilai putaran dari motor, yang sebelumnya putaran motor telah diatur. Data  $N$  ialah nilai putaran motor. Pengaturan variasi putaran motor dilakukan dengan menggunakan pengaturan PWM. Variasi nilai  $v$  berada pada skala 0 – 211 tidak pada 0 -255, dikarenakan program sudah diatur jika nilai pembacaan LVDT lebih dari 211 maka silinder akan bergerak mundur . Nilai  $N$  merupakan penjumlahan dari nilai  $v$  dan nilai LVDT, sehingga nilai ini hanya memiliki nilai dengan skala 0 – 211, dengan hasil pengujian tersaji pada Tabel 5. Konversi nilai  $N$  menjadi [%] dihitung menggunakan persamaan (3)

$$N [\%] = \frac{v + \text{nilai LVDT}}{211} \times 100 \quad (3)$$

Pengambilan variabel  $N$  dilakukan sebanyak tiga kali kemudian dirata – ratakan ( $N_r$ ). batas nilai putaran (*setpoint*) ialah 95% sampai dengan 105%. Variabel  $x$  merupakan panjang langkah dari silinder saat berada di posisi *setpoint*, yang pengambilan datanya dilakukan sebanyak tiga kali dan selanjutnya dirata – ratakan ( $x_r$ ). Perhitungan konversi nilai  $x_r$  dari satuan cm menjadi % menggunakan persamaan (2). Dari grafik (Gambar 10) menunjukkan bahwa panjang langkah silinder menjadi pengaruh terhadap besarnya nilai putaran (berbanding terbalik). Saat bukaan *guide vane* diperbesar maka putaran akan turun, sebaliknya saat semakin kecil bukaan *guide vane* maka putaran akan naik. Dari perbandingan ini, maka dapat dinyatakan bahwa program dan simulator *guide vane* sudah mencapai tujuan penelitian ini.

Tabel 4. Data Commissioning

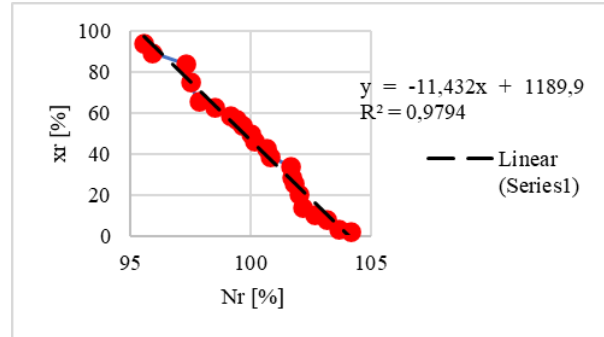
Beban [%]	$v$	$x_r$ [%]
0	0	0
10	26	4,7
20	51	6,7
30	77	14,7
40	102	23
50	128	43
60	153	55,3
70	179	62,3
80	204	86,7
90	230	97,3
100	255	100



Gambar 8. Grafik Hubungan Panjang Langkah Silinder Pneumatik terhadap Beban

Tabel 5. Data Operasi PLTA Cirata Unit 7  
 Tanggal 19 Februari 2017

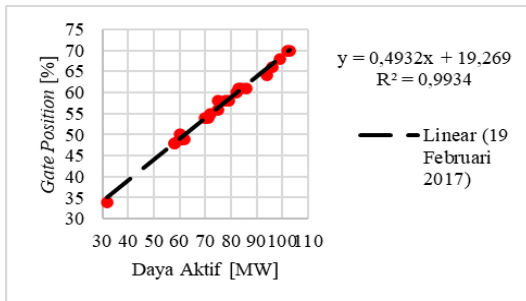
Jam	Daya Aktif [MW]	Gate Position [%]	Speed [RPM]
0	103	70	187
1	60	49	187
2	32	34	187
3	75	56	187
4	70	54	187
5	96	66	187
6	78	58	187
7	60	50	187
8	83	61	187
9	94	64	187
10	99	68	187
11	72	55	187
12	58	48	187
13	82	60	187
14	61	49	187
15	58	48	187
16	62	49	187
17	60	49	187
18	86	61	187
19	71	54	187
20	60	49	187
21	102	70	187
22	84	61	187
23	75	58	187
24	79	58	187



Gambar 10. Grafik Hubungan Panjang Langkah Silinder terhadap Putaran

#### 4. Kesimpulan

Dari data dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hubungan *input* (bukaan *guide vane*) terhadap *output* (putaran turbin air) adalah berbanding terbalik. Saat *guide vane* membuka sebesar 36,01 [%] maka putaran sebesar 100,53 [%]. Namun jika bukaan *guide vane* diperbesar menjadi 71,05 [%] maka putaran lebih rendah menjadi 100,25 [%]. Sistem pengendalian putaran turbin air dilakukan oleh *guide vane*. Gerakan *guide vane* diatur oleh *wicket gate servo motor*, melalui silinder hidrolik sebagai *actuator*. Arduino dapat mengatur pergerakan silinder dengan respon yang cepat, pada waktu kurang dari satu detik. Hubungan panjang langkah silinder terhadap putaran adalah berbanding terbalik. Jika putaran rendah maka langkah silinder akan lebih panjang (bukaan *guide vane* diperbesar). Hubungan pergerakan silinder terhadap beban ialah berbanding lurus. Saat permintaan beban meningkat dari 20 [%] menjadi 30 [%], maka langkah silinder akan lebih panjang dari 6,7 [%] menjadi 14,7 [%], dengan kata lain bukaan *guide vane* diperbesar.



Gambar 9. Grafik Hubungan Gate Position terhadap Daya Aktif

Tabel 6. Data Pengujian Panjang Langkah Silinder terhadap Putaran

No	Nr [%]	v	xr [cm]	xr [%]
1	95,57	0	8,63	93,84
2	95,89	11	8,23	89,49
3	97,31	21	7,72	83,88
4	97,50	31	6,9	75
5	97,83	41	6,05	65,76
6	98,50	51	5,77	62,68
7	99,17	61	5,4	58,7
8	99,40	71	5,23	56,88
9	99,67	81	4,98	54,17
10	100,00	91	4,57	49,64
11	100,17	101	4,25	46,2
12	100,67	111	3,92	42,57
13	100,83	121	3,58	38,95
14	101,67	131	3,1	33,7
15	101,73	141	2,63	28,62
16	101,83	151	2,38	25,91
17	102,00	161	1,85	20,11
18	102,17	171	1,27	13,77
19	102,67	181	0,93	10,14
20	103,17	191	0,72	7,79
21	103,67	201	0,28	3,08
22	104,17	211	0,22	2,36

#### Daftar Rujukan

- [1] PT. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030," Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030, pp. 2019–2028, 2021.
- [2] A Hydro Manual Book PLTA Cirata. Andritz.
- [3] M. Papoutsidakis, A. Chatzopoulos, D. Papachristos, and C. Drosos, "Hydraulics and Pneumatics: Operational Characteristics and Control for Modern Industry Applications," Int J Comput Appl, vol. 178, no. 25, pp. 31–40, 2019, doi: 10.5120/ijca2019919049.
- [4] A. Sugiharto, "PLTMH Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan," Swara Patra, E-Jurnal PPSDM Migas, Kementerian ESDM RI, vol. 8 no. 1, Hal. 107–118, 2018.
- [5] S. Parashar, "The Advantages of Pneumatic System over hydraulic system: Review," J Emerg Technol Innov Res, vol. 5, no. 10, pp. 574–578, 2018.
- [6] V. K. Rajendran and A. Chockalingam. "Development of Design of Pneumatic Circuits using Arduino Microcontroller," IJSTE-International Journal of Science

- Technology & Engineering ], vol. 5, no. 5, pp. 27–29, 2018.
- [7] A. D. H. Ardianto, *Arduino Belajar Cepat dan Pemograman*. Bandung: Informatika Bandung, 2016.
- [8] P. Dinesh, S. Verma, B. Neelima, V. Sai Swapna, C. Hemanth Kumar, and C. Bhanu Sri, “Design and Fabrication of Arduino Based Pneumatic Punching Machine,” *International Journal of Research Publication and Reviews*, vol. 3, no. 5, pp. 150–159, 2022.
- [9] P. Chitte, S. Rathod, N. Motgi, Y. Jangale, and R. Patil, “Design and fabrication of automated pneumatic shearing machine to cut aluminium sheet,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 8, no. 4, pp. 499–506, 2018, doi: 10.24247/ijmperdaug201851.
- [10] P. A. Parikh, N. Modi, and R. Prajapati, “Control of Industrial Pneumatic & Hydraulic Systems using Serial Communication Technology & Matlab,” *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 3, no. 10, pp. 2321–0613, 2015.