

Rancang Bangun PID Controlled Buck Boost Converter Sebagai Penstabil Tegangan Pembangkit Listrik Picohydro Portable

Ilham Pratama Putra¹, Riny Sulistyowati^{2*}, Hari Agus Sujono³, Nariyah Silviana Erwanti^{4*}

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya

¹ilhamzky12@gmail.com, ²riny.971073@itats.ac.id, ³hari.agus17@itats.ac.id, ^{4*}nariyahse@gmail.com

Abstract - Water is one of the essential elements to fulfill the need for fluids in human life, and all types of living things. But water can also be utilized to obtain energy that can be used to facilitate daily human activities. The energy taken is the mechanical energy of the water contained in the river flow. Utilization of river flow is converted from mechanical energy into electrical energy. Picohydro portable is one of the plants that have a smaller capacity than usual. Picohydro portable has the advantage of being easily implemented on a small river flow that has a capacity of under 5 kW, because the equipment is quite light. However, this plant has a major obstacle, namely the voltage output generated by the plant is unstable due to the ever-changing water discharge so that it can make the load on the battery charging quickly damaged. For this reason, a PID controlled buck boost converter is needed to control the voltage output of the generator. Testing in this research uses a buck-boost converter, testing using PID control. In the following tests were carried out with 2 mechanisms, the first without load and by using the load. From the research results, the largest average error of buck-boost converter voltage against the set point value of 14.4 volts when without PID control is 12% and when using PID control is 0.05%.

Keywords — *Power Plant, Picohydro, Buck Boost Converter, PID, controller.*

Abstrak— Air merupakan salah satu unsur penting untuk memenuhi kebutuhan cairan dalam kehidupan manusia, dan semua jenis makhluk hidup. Namun air juga dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan energi yang dapat digunakan memudahkan aktivitas manusia sehari-hari. Energi yang diambil merupakan energi mekanik air yang terdapat pada aliran sungai. Pemanfaatan aliran sungai diubah dari energi mekanik menjadi energi listrik. Picohydro portable merupakan salah satu pembangkit yang memiliki kapasitas yang lebih kecil daripada umumnya. Picohydro portable ini memiliki kelebihan mudah diimplementasikan pada aliran sungai yang kecil yang memiliki kapasitas di bawah 5 kW, karena peralatannya cukup ringan. Namun pembangkit ini memiliki kendala utama yaitu keluaran tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut tidak stabil dikarenakan debit air yang selalu berubah-ubah sehingga, bisa membuat beban pada pengisian daya aki cepat rusak. Untuk itu diperlukan PID controlled buck boost converter untuk mengontrol keluaran tegangan dari pembangkit. Pengujian pada penelitian kali ini menggunakan buck-boost converter, pengujian menggunakan kontrol PID. Dalam pengujian berikut ini dilakukan dengan 2 mekanisme, yang pertama tanpa beban dan dengan menggunakan beban. Dari hasil penelitian didapatkan hasil paling besar rata-rata error tegangan buck-boost converter terhadap nilai set poin 14.4 volt pada saat tanpa kontrol PID adalah 12% dan pada saat dengan menggunakan kontrol PID adalah 0.05%.

Kata Kunci— *Pembangkit Listrik, Picohydro, Buck Boost Converter, PID, kontroler.*

I. PENDAHULUAN

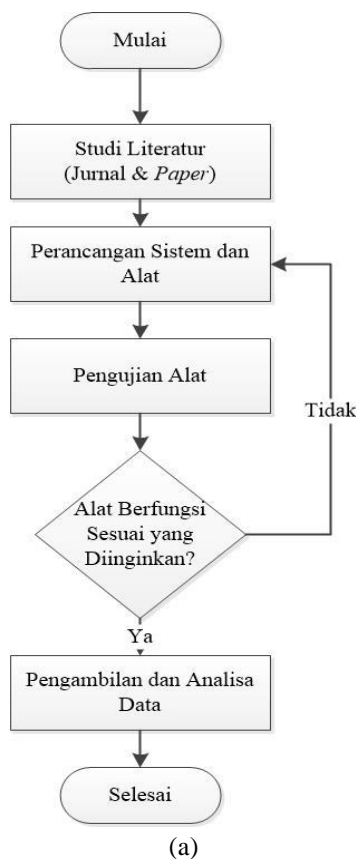
Fungsi utama air merupakan sebagai sumber untuk memenuhi kebutuhan cairan pada makhluk hidup. Air juga dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan energi yang bisa digunakan untuk pembangkit Energi Listrik. Salah satunya pembangkit skala kecil mikrohidro dan pikohidro [1-2]. Terdapat masalah utama pada pembangkit listrik tenaga air portable skala kecil ini, yaitu keluaran nilai tegangan (V) tidak stabil, dikarenakan tegangan output dari pembangkit ini bergantung dengan kecepatan putar atau RPM dari turbin[6],[8-14]. Tegangan keluaran yang tidak stabil dapat membuat beban yang disuplai cepat mengalami kerusakan pada beberapa komponennya. Maka dari itu, diperlukan DC-DC converter yang merupakan suatu komponen yang berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai dengan yang dibutuhkan. Buck-Boost Converter dapat digunakan untuk memenuhi kestabilan tegangan yang akan digunakan. Secara konvensional Buck-Boost Converter hanya perlu merubah nilai potensial yang berlaku sebagai duty cycle yang ada pada modul secara langsung[3],[5],[7], [15-18]. Namun terdapat solusi lain yaitu merubah nilai duty cycle dengan mengontrol menggunakan PID controller[4],[19]. Pengaplikasian kontrol menggunakan perangkat arduino [20].

II. METODE PENELITIAN

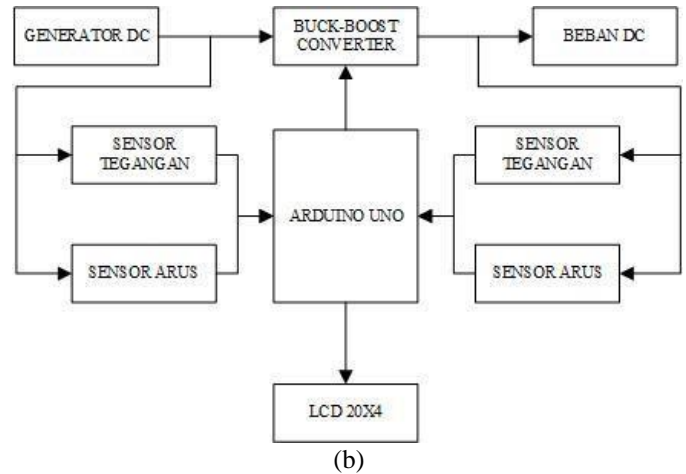
Metode penelitian yang diterapkan dalam eksperimen ini mengungkap pendekatan eksperimental dengan fokus pada identifikasi hubungan sebab-akibat antara berbagai variabel yang terlibat. Penelitian ini terfokus pada pengkajian hubungan antara kecepatan aliran air di area percobaan dan variabel tegangan keluaran dari generator. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis korelasi antara tegangan input dan output dari buck-boost converter, dengan tujuan menentukan persamaan transfer function yang nantinya akan menjadi dasar untuk menentukan parameter PID controller. Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian, telah dirancang sebuah diagram alur penelitian yang terperinci, seperti yang dapat dilihat pada Gambar (1.a). Selain itu, alur dari alat yang akan dikonstruksi juga dijelaskan secara rinci pada Gambar (1.b). Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat

diperoleh pemahaman mendalam mengenai interaksi antarvariabel dan dampaknya terhadap kinerja generator serta buck-boost converter.

Eksplorasi hubungan sebab-akibat antar variabel di atas didukung oleh desain penelitian yang memanfaatkan alur kerja yang terstruktur. Langkah pertama melibatkan pengukuran kecepatan air di area percobaan sebagai variabel independen, yang kemudian dikorelasikan dengan perubahan tegangan keluaran dari generator sebagai variabel dependen. Proses tersebut memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai respons generator terhadap variasi kecepatan aliran air. Selanjutnya, analisis hubungan tegangan input dan output pada buck-boost converter membuka peluang untuk menentukan karakteristik konversi energi yang kritis dalam sistem. Diagram alur penelitian yang disajikan pada Gambar (1.a) memberikan pandangan menyeluruh terhadap langkah-langkah metodologi penelitian. Pada tahap selanjutnya, fokus penelitian akan tertuju pada pengembangan persamaan transfer function dan pengaturan parameter PID controller untuk mencapai kontrol yang optimal. Melalui pendekatan eksperimental ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pemahaman dan pengembangan teknologi sistem pembangkit energi dengan memanfaatkan kecepatan aliran air.



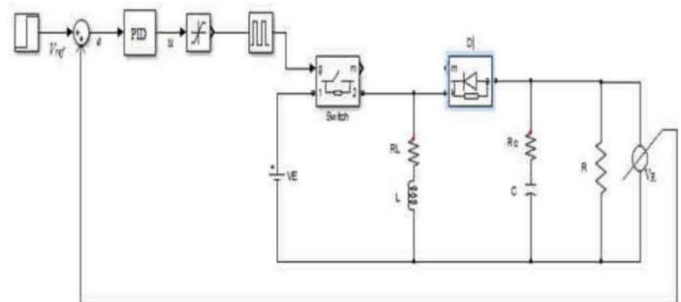
(a)



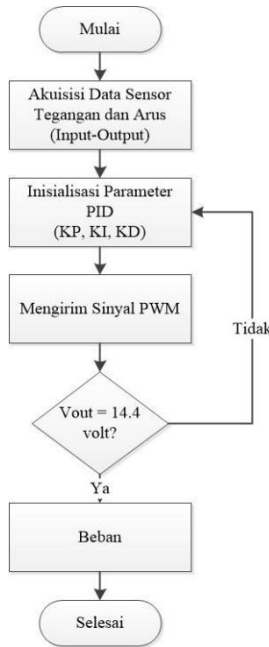
Gambar 1. a) Alur Penelitian, b) Blok Diagram Sistem.

Pada Gambar (1.a) merupakan alur penelitian yang akan dilakukan selama penelitian ini berjalan, dan pada Gambar (1.b) merupakan blok diagram sistem keseluruhan yaitu dari generator yang berperan sebagai input buck-boost converter sebelum menuju ke beban DC.

Gambar 2. Rangkaian PID Controlled Buck-Boost Converter[6].



Pada Gambar 2 tampak sebuah rangkaian buck-boost converter yang telah disesuaikan dengan penggunaan PID controller. PID controller ini memiliki peran utama dalam mengendalikan duty cycle dari switch atau MOSFET yang ada dalam rangkaian. Keistimewaan utama PID controller terletak pada kemampuannya menjadikan kontrol sistem sebagai closed loop, di mana terdapat umpan balik dari tegangan output. Melalui sistem closed loop ini, kontroler memiliki kapasitas untuk terus-menerus memperbaiki kesalahan yang mungkin muncul selama proses konversi energi. Dengan demikian, integrasi PID controller pada buck-boost converter memberikan kontrol yang lebih presisi dan responsif terhadap fluktuasi tegangan output, meningkatkan efisiensi dan stabilitas keseluruhan sistem konversi energi.



Gambar 3. Alur Sistem PID Controlled Buck-Boost Converter.

Gambar 3 memperlihatkan diagram alur kerja dari PID Controlled Buck-Boost Converter. Proses dimulai dengan inisialisasi hasil keluaran dari sensor tegangan dan sensor arus. Nilai error kemudian dihitung berdasarkan perbedaan antara nilai tegangan yang diinginkan dan nilai tegangan aktual, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter PID controller. Keluaran dari PID controller berupa nilai PWM, yang kemudian diarahkan sebagai masukan ke MOSFET. MOSFET berperan dalam mengatur switching ON/OFF, mengoptimalkan respons sistem untuk mendapatkan nilai tegangan output yang sesuai dengan target yang diinginkan. Melalui proses ini, gambar 3 memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana PID Controlled Buck-Boost Converter mengatur dan menjaga kestabilan nilai tegangan output sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

Terciptanya sebuah alat penelitian yang efektif, langkah awal yang krusial adalah melakukan perancangan yang teliti. Proses perancangan ini memberikan pandangan holistik terhadap semua aspek yang terlibat dalam pembuatan alat, mulai dari konsep hingga implementasi. Dengan merinci setiap elemen alat, termasuk spesifikasi teknis, dimensi, dan material yang akan digunakan, perancangan berperan sebagai panduan utama selama tahap konstruksi. Dengan merancang alat secara menyeluruh, tidak hanya memastikan kesesuaian dengan tujuan penelitian, tetapi juga mempermudah proses konstruksi secara keseluruhan. Langkah-langkah perancangan yang teliti ini berfungsi sebagai pondasi yang kokoh, menciptakan kerangka kerja yang jelas untuk menghasilkan alat penelitian yang akurat, andal, dan dapat diandalkan. Dengan demikian, tahap perancangan menjadi esensial dalam memastikan

keberhasilan setiap proyek penelitian, mengingat pengaruhnya terhadap kualitas dan konsistensi hasil yang diharapkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembahasan Data 1

Pada percobaan pertama ini dilakukan di lapangan dengan menggunakan picohydro portable dan juga buck boost converter tanpa menggunakan beban, namun terdapat dua kondisi yang berbeda, yaitu percobaan pengujian dengan menggunakan PID controller dan juga tanpa PID controller. Data pada Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan data yang didapatkan pada hari pengujian yang sama secara langsung di daerah Cagar. Pada pengujian tanpa beban, akan berfokus pada berapa nilai error yang didapatkan dengan menggunakan persamaan 1.

$$Error = \frac{Tegangan\ Acuan - Tegangan\ Aktual}{Tegangan\ Acuan} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 1. Pengujian Picohydro Portable Tanpa Beban dan Tanpa Kontrol PID

No	Debit Air (L/d)	Tegangan Luaran Generator (V)	Tegangan Buck Converter (V)	Error (%)
1	26,6	22,60	15,70	9,03
2	25,7	21,70	15,32	4,17
3	24,3	23,05	13,70	4,86
4	27,1	20,30	16,12	11,11
5	24,4	22,70	13,90	3,47
6	26,7	22,70	15,74	9,31
7	25,4	21,40	14,82	2,92
8	24,6	10,10	13,80	4,17
9	24,8	10,50	13,97	2,99
10	26,5	22,50	15,54	7,92
11	26,8	22,80	15,81	9,79
12	26,8	22,80	15,81	9,79
13	24,3	20,42	13,70	4,86
14	26,4	22,40	15,45	7,29
15	25,1	21,01	14,40	0,00
16	25,4	21,30	14,68	1,94
17	24,3	20,30	13,90	3,47
18	25,4	21,30	14,68	1,94
19	24,7	20,50	13,97	2,99
20	26,9	23,01	16,02	11,11
Rata - Rata				5,93

Pada Tabel 1 merupakan hasil dari pengujian alat di lapangan, sebanyak 20 data yang diambil selama 20 menit dengan cuaca pada hari keempat hujan. Dari awal pengujian dilakukan yaitu pada pukul sekitar 10.00 WIB. didapatkan nilai tegangan turbin yang fluktuatif pada range 20 V - 23 V hal ini juga berdampak terhadap tegangan output pada buck boost converter sehingga akan berpengaruh terhadap %error terhadap tegangan set point 14.4 dimana rata rata %error yang didapatkan adalah 5.63%.

Tabel 2. Pengujian Picohydro Portable Tanpa Beban dan Tanpa Kontrol PID

No	Debit Air (L/d)	Tegangan Luaran Generator (V)	Tegangan Output Converter (V)	Error (%)
1	24,6	20,10	14,4	0,00
2	24,8	20,55	14,41	0,07
3	26,5	22,50	14,41	0,07
4	26,8	22,80	14,4	0,00
5	26,8	22,82	14,39	0,07
6	24,3	20,00	14,39	0,07
7	26,4	22,40	14,41	0,07
8	25,1	21,12	14,4	0,00
9	25,4	21,30	14,39	0,07
10	24,3	20,30	14,39	0,07
11	25,4	21,10	14,4	0,00
12	24,7	20,50	14,41	0,07
13	26,9	23,08	14,41	0,07
14	26,6	22,60	14,39	0,07
15	25,7	21,70	14,4	0,00
16	24,3	20,00	14,4	0,00
17	27,1	23,00	14,4	0,00
18	24,4	20,34	14,41	0,00
19	26,7	22,70	14,41	0,00
20	25,4	21,40	14,39	0,00
Rata - Rata				5,93

Pada Tabel 2 merupakan hasil dari pengujian alat di lapangan, sebanyak 20 data yang diambil selama 20 menit dengan cuaca pada hari keempat hujan. Didapatkan nilai tegangan turbin yang fluktuatif pada range 20 V - 23 V hal ini juga berdampak terhadap tegangan output pada buck boost converter sehingga akan berpengaruh terhadap %error terhadap tegangan set point 14.4 dimana rata rata %error yang didapatkan adalah 0.045%

A. Pembahasan Data II

Pada percobaan kedua ini dilakukan di lapangan dengan menggunakan picohydro protable dan juga buck boost converter dengan menggunakan beban, namun terdapat dua kondisi yang berbeda, yaitu percobaan pengujian dengan menggunakan PID controller dan juga tanpa PID controller. Data pada Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan data yang didapatkan pada hari pengujian yang sama secara langsung di daerah Cagar. Pada pengujian tanpa beban, akan berfokus pada berapa nilai efisiensi daya yang didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.

$$\mu = \frac{\text{Daya Output (Daya Converter)}}{\text{Daya Input (Daya Generator)}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 3. Pengujian Picohydro Portable Dengan Beban dan Tanpa Kontrol PID

No	Generator			Boost Converter			(%)
	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	
1	12,1	1,51	18,29	12,6	0,91	11,43	62,49
2	11,8	1,56	18,42	12,3	0,91	11,24	61,02
3	12,6	1,47	18,55	13,01	0,86	11,24	60,59
4	13,1	1,41	18,43	13,5	0,83	11,25	61,04
5	12,9	1,45	18,73	13,2	0,84	11,11	59,32
6	13,3	1,36	18,25	13,9	0,82	11,41	62,52
7	13,3	1,37	18,27	13,8	0,81	11,11	60,82
8	13,8	1,34	18,43	14,2	0,79	11,2	60,77
9	14,1	1,31	18,53	14,6	0,78	11,45	61,79
10	13,5	1,35	18,21	14,01	0,82	11,53	63,32
11	13,1	1,43	18,72	13,5	0,82	11,12	59,40
12	13,7	1,37	18,81	14,2	0,79	11,21	59,60
13	13,2	1,39	18,31	13,7	0,83	11,33	61,88
14	13,5	1,39	18,74	14,01	0,82	11,43	60,99
15	13,8	1,36	18,82	14,2	0,78	11,1	58,98
16	14,4	1,27	18,31	14,8	0,76	11,3	61,71
17	14,7	1,25	18,31	15,2	0,74	11,32	61,82
18	15,2	1,20	18,22	15,6	0,73	11,4	62,57
19	15,1	1,20	18,12	15,5	0,73	11,32	62,47
20	14,8	1,25	18,57	15,3	0,73	11,12	59,88
Rata - Rata							61,15

Pada Tabel 3. merupakan hasil dari pengujian alat di lapangan, sebanyak 20 data yang diambil selama 20 menit dengan cuaca pada hari keempat hujan. Didapatkan nilai tegangan turbin yang fluktuatif dengan range 11V – 15V. Hal ini juga berdampak terhadap tegangan output pada buck boost converter sehingga akan berpengaruh terhadap efisiensi terhadap tegangan daya konverter dimana rata rata efisiensi yang didapatkan adalah 61.15%.

Pada Tabel 4. merupakan hasil dari pengujian alat di lapangan pada hari keempat, sebanyak 20 data yang diambil selama 20 menit dengan cuaca pada hari keempat kondisi hujan. Didapatkan nilai tegangan turbin yang fluktuatif dengan range 11.08V –15.86V. hal ini juga berdampak terhadap tegangan output pada buck boost converter sehingga akan berpengaruh terhadap efisiensi terhadap tegangan daya konverter dimana rata rata efisiensi yang didapatkan adalah 61.61%.

Tabel 4. Pengujian Picohydro Dengan Kontrol PID

No	Tegangan Luaran Generator (V)	Arus Luaran Generator (A)	Daya Luaran Generator (W)	Tegangan Boost Converter (V)	Arus Boost Converter (A)	Daya Boost Converter (W)	Efisiensi (%)
1	13,03	1,43	18,63	13,8	0,84	11,59	62,22
2	13,15	1,42	18,63	13,79	0,84	11,58	62,18
3	13,53	1,38	18,63	13,81	0,84	11,60	62,27
4	13,24	1,41	18,63	13,81	0,84	11,60	62,27
5	13,57	1,37	18,63	13,79	0,84	11,58	62,18
6	13,89	1,34	18,62	13,8	0,84	11,59	62,26
7	14,13	1,32	18,62	13,81	0,84	11,60	62,30
8	14,17	1,31	18,62	13,79	0,84	11,58	62,21
9	15,86	1,17	18,62	13,8	0,83	11,45	61,51
10	15,01	1,24	18,62	13,81	0,83	11,46	61,56
11	14,53	1,28	18,62	13,79	0,83	11,45	61,47
12	11,08	1,68	18,61	13,79	0,83	11,45	61,50
13	12,78	1,46	18,61	13,8	0,83	11,45	61,55
14	13,42	1,39	18,61	13,81	0,83	11,46	61,59
15	14,73	1,26	18,61	13,81	0,82	11,32	60,85
16	11,67	1,59	18,61	13,82	0,82	11,33	60,89
17	11,58	1,61	18,60	13,81	0,82	11,32	60,88
18	14,78	1,26	18,60	13,8	0,82	11,32	60,84
19	14,57	1,28	18,60	13,79	0,82	11,31	60,79
20	13,12	1,42	18,60	13,79	0,82	11,31	60,79
Rata - Rata							61,61

IV. KESIMPULAN

Dengan memanfaatkan aliran sungai yang ada di daerah Cagar yang dimana memiliki debit air rata-rata sebesar 18 hingga 25 liter/detik. Kita dapat merancang turbin air dengan jenis Archimedes Screw Turbine, didapatkan nilai tegangan turbin serta daya turbin yang bervariasi berdasarkan nilai debit air yang diterima. Ketidakstabilan nilai tegangan yang dihasilkan oleh bervariasinya nilai debit air yang diterima oleh turbin dapat menyebabkan beban yang akan digunakan mudah rusak. Oleh karena itu dirancang penstabil tegangan buck-boost converter dengan kontrol PID, dengan menggunakan nilai acuan tegangan sebesar 14.4 volt, didapatkan nilai rata-rata error ketika pengujian tanpa beban yang hanya menggunakan Buck-Boost Converter tanpa kontrol PID sebesar 12% dan ketika menggunakan buck-boost converter dengan kontrol PID hanya sebesar 0.05%. Ketika pengujian dengan menggunakan beban nilai efisiensi buck-boost converter yang didapatkan tanpa menggunakan kontrol dan ketika dengan menggunakan kontrol tidak jauh berbeda yaitu diangka rata-rata 61%.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Bandri, A. Premadi, and R. Andari, "Studi perencanaan pembangkit listrik tenaga picohydro (plph) rumah tangga," *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 21, no. 1, p. 16, 2021, doi:

10.36275/stsp.v21i1.345.
[2] H. A. Rahmawan, Rancang Bangun Turbin Pelton Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Skala Laboratorium, 2018.
[3] E. Ginanjar, A. Mashar, and , "Perancangan Buck Boost Converter Pada Sistem Pengisian Baterai Untuk Panel Surya Kapasitas 50 Wp," *Res. Work*, pp. 13–14, 2022.
[4] K. Manalu, "Perancangan Boost Converter Untuk Proses Charging Baterai Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Metode Kontrol PID," 2022.
[5] R. Rahmawati, "Roro Rahmawati-141910201038," Implementasi Boost Convert. Dengan Kontrol PID Pada Tegangan Output Sol. Charg., 2018.
[6] M. W. Nur Karim, M. Widyartono, A. C. Hermawan, and subuh I. Haryudo, "Kajian kemiringan blade dan head turbin archimedes screw terhadap daya keluaran generator AC 1 Phase 3 kW," *J. Tek.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2021,
[7] I. G. W. Putra, A. I. Weking, and L. Jasa, "Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, p. 385, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i03.p13.
[8] D. I. P. Plumbungan, "Perancangan ulang turbin kaplan poros vertikal di pltm plumbungan 1, 2," vol. 14, pp. 153–161, 2018.
[9] T. A. Archimedes, "Kinerja putaran rotor turbin air screw archimedes dengan variasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik , Universitas Bangka Belitung 42
[10] Setiawan , Yudi , dkk .; Kinerja Putaran Rotor Turbin

- Air Screw Archimedes Dengan Variasi Kemiringan Sudut Turbin 43 Set,” vol. 7, no. 2, pp. 42–46, 2021.
- [11] M. I. Maulana, Darwin, and G. S. Putra, “Performance of Single Screw Archimedes Turbine Using Transmission,” IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 536, no. 1, 2019.
- [12] J. Reynaldi, “Pengembangan Hidroponik Drip System Plus Monitoring Via LCD Dan Website,” *Electrices*, vol. 3, no. 1, pp. 14–20, 2021, doi: 10.32722/ees.v3i1.3855.
- [13] D. A. Saputra, S. Kom, M. Eng, and N. Utami, “Rancang bangun alat pemberi pakan ikan otomatis berbasis mikrokontroler,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–19, 2020.
- [14] N. Afrasiabi, “DC motor control using chopper,” no. 8, pp. 67–73, 2013.
- [15] X. Du, L. Zhou, and H. Tai, “Double-Frequency Buck Converter,” vol. 56, no. 5, pp. 1690–1698, 2009.
- [16] Zulfiyan Febrianto, Riny Sulistyowati, Nariyah Silviana Erwanti, “Rancang Bangun Buck Converter Menggunakan Kontrol PI untuk Charging Baterai Pada Penerangan Gazebo,” pp. 359–367, 2024.
- [17] S. Diusti Dwi Putri and Aswardi, “JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL) Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali PID,” *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 6, no. 02, pp. 1–15, 2020.
- [18] M. D. Almawlawe and M. Kovandzic, “A Modified Method for Tuning PID Controller for Buck-Boost Converter,” no. January 2016, 2017, doi: 10.22161/ijaers/3.12.4.
- [19] Lahmudin and R. Sulistyowati, “Pengaturan Suhu Sangkar Burung Puyuh Dengan Kontrol Pid,” *Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, pp. 233–238, 2022, <https://ejurnal.itats.ac.id/snestikdanhttps://snestik.itats.ac.id>.
- [20] RinySulistyowati, Andy Suryowinoto, Akhmad Fahruzi, Mokhammad Faisal, Prototype of the Monitoring System and Prevention of River Water Pollution Based on Android, 2019.