

# Perancangan dan Simulasi Penyearah 6 Pulsa, *Buck Boost* Konverter, dan *Electronic Load Controller* (ELC) Untuk Pembangkit Listrik Pikohidro

Abdilah Nur Hidayatulloh<sup>1</sup>, Sofian Yahya<sup>2</sup>, Adnan Rafi Al Tahtawi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [abdilah.nur.toi18@polban.ac.id](mailto:abdilah.nur.toi18@polban.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [sofiannyahya@polban.ac.id](mailto:sofiannyahya@polban.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [adnan.raf@polban.ac.id](mailto:adnan.raf@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia sangatlah tinggi sebesar 7% per tahun dan menuntut penambahan pembangkit listrik tenaga batu bara. Hal ini bertentangan dengan tren global yang sangat ingin mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Pikohidro merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki daya output maksimum 5 kilo watt dan memiliki kelebihan dalam kemudahan dan biaya yang ringan dalam pembuatan, dapat bekerja pada aliran air yang memiliki *head* rendah, dan kemudahan dalam mendistribusikan sistem ke daerah pelosok. Kekurangan dari Pikohidro adalah sistem yang terlalu sederhana mengakibatkan kestabilan menjadi rendah dengan tegangan keluaran tidak stabil. Untuk meningkatkan kestabilan tegangan keluaran pikohidro, maka sistem ini perlu ditambahkan *Electronic Load Controller* (ELC). ELC mampu menstabilkan tegangan dan mengatur daya keluaran pada pikohidro. Penelitian yang dilakukan adalah membuat simulasi penyearah 6 pulsa, *buck boost* konverter dan ELC. Hasil dari penelitian ini penyearah 6 pulsa mampu menyearahkan tegangan 24VAC 3 fasa menjadi tegangan DC 32,4V, *buck boost* konverter mampu menurunkan tegangan menjadi 14 VDC, dan ELC mampu membagi daya sesuai dengan besarnya beban konsumen dan daya total tetap dalam kondisi maksimum.

### Kata Kunci

*Pikohidro, Penyearah 6 pulsa, Buck Boost Konverter, Electronic Load Controller*

## 1. PENDAHULUAN

Analisis penggunaan listrik dalam tinjauan ketenagalistrikan global 2021 menyatakan bahwa pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia sangatlah tinggi sebesar 7% per tahun dan menuntut penambahan pembangkit listrik tenaga batu bara. Hal ini menentang tren global yang sangat ingin mengurangi emisi CO<sub>2</sub> [1]. 70% dari permukaan bumi ditutupi oleh air, dimana 97% adalah air laut dan 3% adalah air tawar. Sungai, danau, dan rawa hanya 0,3% dari air tawar yang ada dipermukaan bumi. Secara angka memang kecil namun masih penting sebagai sumber air yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk keperluan sehari-hari [2].

Pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang memiliki daya output maksimum 5 kilo watt (5 kW). Sistem pembangkit ini memiliki keuntungan dalam hal kemudahan

dan biaya pembuatannya, dengan begitu sistem pembangkit ini dapat didistribusikan di pelosok daerah [3]. Sistem pembangkit ini dapat bekerja di aliran air sungai yang memiliki ketinggian beberapa meter dari permukaan tanah. Air akan mengalir dan menggerakkan turbin untuk memutar alternator yang akan menghasilkan energi listrik [4].

Pikohidro sederhana hanya terdiri dari turbin dan generator. Ada beberapa jenis turbin yang umum digunakan, yakni pelton, banki, francis, dan kaplan [5]. Turbin merupakan perangkat mekanik yang berfungsi memutar generator, aliran air akan memberikan energi kinetik dan membuat turbin menjadi berputar. Hasil putaran turbin akan membuat generator ikut berputar, putaran generator inilah yang akan mengkonversi energi kinetik

menjadi energi listrik [6]. Generator yang umum digunakan untuk pikohidro adalah *Self Excited Induction Generator* (SEIG) dan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Hal ini dikarenakan generator tersebut memiliki harga yang lebih murah, mudah dioperasikan, minim perbaikan, dan memiliki efisiensi yang lebih baik [7]–[9]. Namun perubahan kecepatan aliran air dan pembebanan dapat mempengaruhi tegangan, arus, frekuensi, dan daya output generator menjadi tidak stabil [10]. Maka diperlukan pengendalian kecepatan aliran dan pembebanan. Pengendalian aliran air dapat dibuat dengan membuat sebuah bendungan kecil agar jumlah debit air mendekati konstan sesuai dengan rancangan, sedangkan pengendalian pembebanan dilakukan dengan perangkat elektronik. Salah satu perangkat elektronik yang akan dipakai untuk mengendalikan pembebanan pada pikohidro adalah *Electronic Load Controller* (ELC) [11].

ELC merupakan perangkat elektronik yang dapat mengendalikan kestabilan tegangan melalui mengatur pembebanan. ELC akan melakukan pemantauan terhadap tegangan dan daya keluaran pada beban konsumen, jika terdapat daya berlebih maka akan disalurkan ke beban variasi dengan begitu daya yang dikeluarkan oleh generator menjadi konstan [11]. Untuk menjaga kestabilan ELC menyalurkan daya berlebih ke beban variasi, lalu daya tersebut akan hilang menjadi panas. Hal ini dianggap kurang efektif, maka perlu dilakukan perbaikan. Peneliti [12] melakukan pengendalian daya berlebih yang tidak digunakan akan disimpan ke dalam baterai, sistem ini disebut *Battery energy storage* (BES). Hasilnya selain daya yang dapat disimpan ke dalam baterai, daya yang tersimpan ini mampu digunakan untuk menyuplai beban yang melebihi kapasitas. ELC sendiri hanya dapat mengatur pembebanan, jika aliran air menurun maka tegangan dan daya yang dihasilkan generator akan menurun.

Perangkat elektronik yang mampu menaikkan ataupun menurunkan tegangan salah satunya adalah *buck boost* dc - dc konverter. *Buck boost* konverter pada umumnya memiliki 1 buah komponen *switching* dan memiliki polaritas tegangan yang terbalik atau biasa disebut *inverting buck boost* konverter, lalu terdapat *buck boost* yang memiliki 2 komponen *switching* dan polaritas

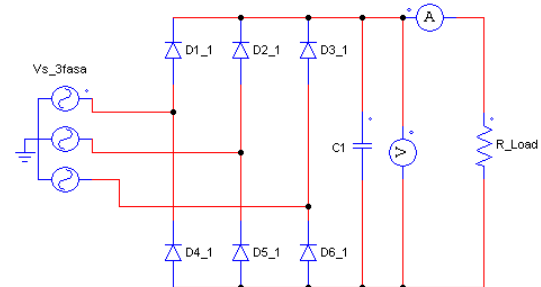
tegangannya tidak terbalik atau biasa disebut *non inverting buck boost* konverter [13]–[15], namun menurut peneliti [14], *buck boost non inverting* lebih baik dari *buck boost* konvensional. Peneliti [15], [16] menggunakan dc - dc konverter ini untuk menaikkan tegangan dari panel surya untuk menggerakkan motor BLDC sebagai pompa air irigasi. Kedua peneliti tersebut berhasil mengatur tegangan dc dari solar panel ke tegangan yang mereka butuhkan untuk menggerakkan motor BLDC.

Penulis menyajikan perancangan dan simulasi penyearah 6 pulsa, *buck boost* konverter, dan *electronic load controller* pada pembangkit listrik pikohidro. Tujuan dalam penulisan ini berupa membuat simulasi penyearah 6 pulsa, menstabilkan tegangan keluaran bernilai 14V menggunakan *buck boost* konverter, dan mengendalikan daya beban *dummy load* menggunakan ELC dengan sumber tegangan 24VAC 3 fasa. Simulasi ini akan digunakan sebagai dasar rancang bangun ELC untuk pembangkit listrik pikohidro. Kondisi sumber pada simulasi ini dibuat dalam keadaan tetap maksimum dan beban yang digunakan hanya beban resistif.

## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem ini dilakukan membuat simulasi penyearah 6 pulsa, simulasi *buck boost* konverter, dan ELC yang selanjutnya akan diintegrasikan.

### 2.1 Perancangan Penyearah 6 Pulsa



Gambar 1. Simulasi penyearah 6 pulsa

Konverter 6 pulsa merupakan sebuah penyearah tegangan AC menjadi tegangan DC, dimana 1 siklus tegangan AC akan diubah menjadi tegangan DC 6 pulsa. Penyearah 6 pulsa memiliki 6 buah dioda yang terpasang. Saat fasa R positif aktif maka arus akan mengalir melalui dioda 1 ke beban

lalu kembali ke dioda 4, saat fasa R negatif maka arus akan ditahan oleh dioda 4. Pada fasa S positif aktif maka arus akan mengalir melalui dioda 2 ke beban lalu kembali ke dioda 5, saat fasa S negatif maka arus akan ditahan oleh dioda 5. Begitu juga saat fasa T positif aktif maka arus akan mengalir melalui dioda 3 ke beban lalu kembali ke dioda 6, saat fasa T negatif maka arus akan ditahan oleh dioda 6.

Simulasi penyearah 6 pulsa dilakukan melalui aplikasi PSIM, dengan menggunakan sumber 3 fasa dan tegangan 24VAC *line to line*. Hasil dari percobaan simulasi tegangan keluaran yang dihasilkan sesuai dengan perhitungan:

$$V_{out} = ((3\sqrt{3})/\pi) * V_m \quad (1)$$

$V_{out} = ((3\sqrt{3})/\pi) * 19,599 = 32,43V$  dimana:

$$V_m = (V/\sqrt{3})/0,707 \quad (2)$$

$V_m = (24/\sqrt{3})/0,707 = 19,599V$

Pemasangan kapasitor diperlukan sebagai filter agar *ripple* dapat diperkecil, pemilihan ukuran kapasitor sebagai berikut :

Kondisi awal :

Vout max : 32,4 V  
Iout max : 300/32,4= 9,259 A  
Vripple : 5% Vout  
Frekuensi : 300 Hz

Sehingga :

$$V_r = \frac{I}{fC} \quad (3)$$

$C=9,259/((300 \times 1,62))=19 \text{ mF}$  dibulatkan ke 20mF.

## 2.2 Perancangan Buck Boost Dc – Dc Konverter

*Buck boost* konverter merupakan sebuah perangkat elektronik yang mampu menurunkan atau menaikkan tegangan keluaran dibandingkan dengan tegangan inputnya. Komponen *buck boost* sendiri terdiri dari komponen *switching*, dioda, induktor, kapasitor, dan resistor. *Buck boost* konverter *non inverting* menggunakan 2 buah komponen *switching* [17].

Simulasi *buck boost* dilakukan melalui aplikasi PSIM. Nilai masing masing

komponen didapatkan melalui perhitungan berikut :

Kondisi awal :

Vin : 3 - 32,43 V  
Vout : 14V  
Vripple : 1%  
Iout max: 300/14=21,43  
Rbeban : 14/21,43 = 0,65  $\Omega$   
Fs : 31,25 kHz

Perhitungan dengan tegangan minimum (3V) :

Dt mode *boost* (%):

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{(1-Duty\ Cycle)} \quad (4)$$

$14/3 = Dt/((1-Dt))$

Dt = 82,3 %

$$L = \frac{R \times (1-D)^2}{2F_s} \quad (5)$$

$L = (1-0,823)^2 / (2 \times 31\ 250) \times 0,65$

L = 0,326 uH

$$C = \frac{D}{F_s \times R} \times \frac{V_{out}}{V_{ccp}} \quad (6)$$

$C = (14 \times 0,823) / (0,65 \times 31\ 250 \times 0,14)$

C = 4,051 mF

Perhitungan dengan tegangan maksimum (32,43V) :

Dt mode *buck* (%):

$$\frac{V_o}{V_{in}} = Duty\ Cycle \quad (7)$$

Dt = 14/3

Dt = 43,1 %

$L = (1-0,431)^2 / (2 \times 31\ 250) \times 0,65;$

L = 3,367 uH

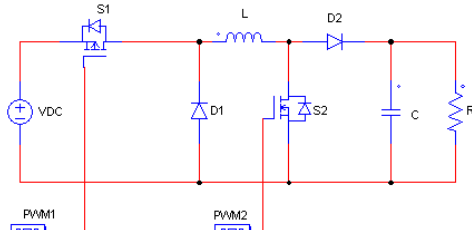
$C = (14 \times 0,431) / (0,65 \times 31\ 250 \times 0,14)$

C = 2,126 mF

Untuk tegangan kapasitor dipilih 50V karena Vout maksimum di 32,4V. Sehingga dipilih nilai komponen untuk simulasi dengan menyesuaikan yang ada di pasaran :

L : 20 uH

C : 4700 uF



Gambar 2. Simulasi buck boost dc – dc konverter

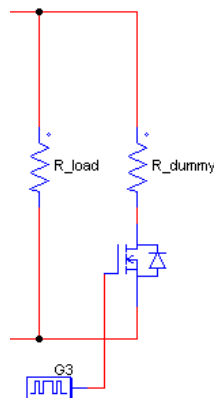
### 2.3 Perancangan ELC

Electronic Load Control (ELC) adalah sebuah perangkat yang mampu mengatur keluaran daya dari pembangkit sehingga daya keluaran generator tetap maksimum. ELC dapat mengalihkan keseluruhan daya pada beban utama saat dibutuhkan dan dapat mengalihkan daya yang tidak terpakai ke dummy load dengan tujuan menjaga daya yang dikeluarkan generator tetap dalam kondisi maksimum. Terdapat banyak metode dalam membuat ELC, berikut metode yang paling populer : Binary-Weighted Load Regulation, Phase Angle Regulation, Mark-Space Ratio Regulation, Controlled Bridge Rectifier, Uncontrolled Rectifier with a Chopper [18]. Dasar dari pengaturan pembeban ini adalah sebagai berikut:

$$PG = PL + PD \quad (8)$$

Simulasi ELC ini dilakukan melalui aplikasi PSIM, dengan menggunakan 1 buah mosfet sebagai pengatur arus ke beban dummy load. Pada gate diberikan pulsa dengan range duty cycle 0 -100%. Nilai arus yang akan melalui dummy load akan bernilai:

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = Duty\ Cycle \quad (9)$$



Gambar 3. Simulasi ELC

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi sistem ini dilakukan dengan menggabungkan seluruh bagian sub sistem, mulai dari penyearah 6 pulsa, buck boost dc – dc konverter, dan ELC. Pengujian ini dilakukan 2 tahap, yakni tahap tanpa merubah daya ke dummy load dan tahap dengan mengubah daya ke dummy load sesuai dengan kenaikan daya ke beban konsumen. hal ini dilakukan untuk mengetahui bahwa sistem ini dapat menjaga kestabilan daya.

Pada tahap simulasi sistem tanpa merubah daya ke dummy load ini dilakukan dengan sumber tegangan 24VAC 3 fasa, lalu dengan mengubah nilai arus ke beban konsumen dengan range 0 – 21,5 A, nilai resistansi dummy load tetap di 0,65 Ω, dan duty cycle mosfet dummy load tetap di 100%.

Tabel 1. Simulasi tanpa merubah daya dummy load

| Vin 3F | V 6P  | V BB  | IL   | ID    | I Total | Dt Dm |
|--------|-------|-------|------|-------|---------|-------|
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 0,00 | 21,50 | 21,50   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 2,15 | 21,50 | 23,65   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 4,30 | 21,50 | 25,80   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 6,45 | 21,50 | 27,95   | 100%  |

(lanjutan Tabel 1. Simulasi tanpa merubah daya dummy load)

| Vin 3F | V 6P  | V BB  | IL    | ID    | I Total | Dt Dm |
|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 8,60  | 21,50 | 30,10   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 10,75 | 21,50 | 32,25   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 12,90 | 21,50 | 34,40   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 15,05 | 21,50 | 36,55   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 17,20 | 21,50 | 38,70   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 19,35 | 21,50 | 40,85   | 100%  |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 21,50 | 21,50 | 43,00   | 100%  |

Keterangan pada tabel 1:

Vin 3F = nilai tegangan masukan dari sumber 3 fasa (volt)

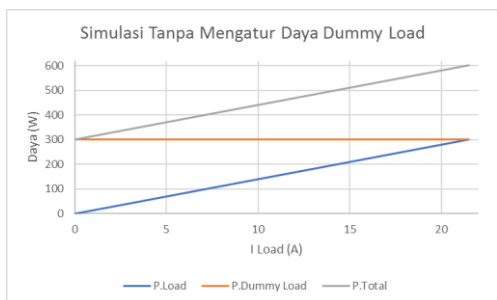
Vout P6 = nilai tegangan keluaran dari penyearah 6 pulsa (volt)

Vout BB = nilai tegangan keluaran dari buck boost konverter (volt)

IL = nilai arus ke beban konsumen (ampere)

ID = nilai arus ke dummy load (ampere)

I Total = arus total keseluruhan sistem (ampere)  
Dt Dm = *duty cycle* mosfet *dummy load* (persen)



Gambar 4. Grafik daya simulasi tanpa merubah daya *dummy load*

Berdasarkan hasil simulasi tanpa merubah daya *dummy load*, daya yang keluar dari generator terus bertambah seiring dengan bertambahnya beban konsumen hal ini sesuai dengan persamaan (8).

Pada tahap simulasi sistem dengan merubah daya ke *dummy load* ini dilakukan dengan sumber yang sama, yakni dengan sumber tegangan 24VAC 3 fasa, lalu mengubah nilai arus beban konsumen dengan *range* 0 – 21,5 A, nilai resistansi *dummy load* tetap di 0,65  $\Omega$ , dan *duty cycle* mosfet *dummy load* diubah dengan *range* 0 – 100% sesuai dengan kenaikan beban konsumen.

Tabel 2. Simulasi dengan merubah daya *dummy load*

| Vin 3F | V 6P  | V BB  | IL   | ID    | I Total | Dt Dm |
|--------|-------|-------|------|-------|---------|-------|
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 0,00 | 21,50 | 21,50   | 100%  |

(lanjutan Tabel 2. Simulasi dengan merubah daya *dummy load*)

| Vin 3F | V 6P  | V BB  | IL    | ID    | I Total | Dt Dm |
|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 2,15  | 19,35 | 21,50   | 90%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 4,30  | 17,20 | 21,50   | 80%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 6,45  | 15,05 | 21,50   | 70%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 8,60  | 12,90 | 21,50   | 60%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 10,75 | 10,75 | 21,50   | 50%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 12,90 | 8,60  | 21,50   | 40%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 15,05 | 6,45  | 21,50   | 30%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 17,20 | 4,30  | 21,50   | 20%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 19,35 | 2,15  | 21,50   | 10%   |
| 24,00  | 32,40 | 14,00 | 21,50 | 0,00  | 21,50   | 0%    |

Keterangan pada tabel 2:

Vin 3F = nilai tegangan masukan dari sumber 3 fasa (volt)

Vout P6 = nilai tegangan keluaran dari penyearah 6 pulsa (volt)

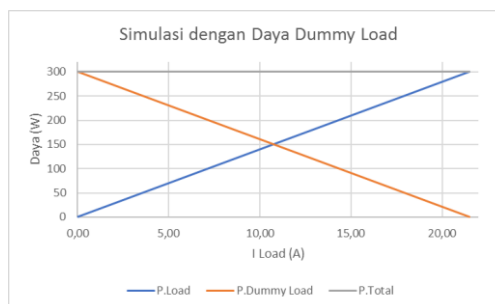
Vout BB = nilai tegangan keluaran dari *buck boost* konverter (volt)

IL = nilai arus ke beban konsumen (ampere)

ID = nilai arus ke *dummy load* (ampere)

I Total = arus total keseluruhan sistem (ampere)

Dt Dm = *duty cycle* mosfet *dummy load* (persen)



Gambar 5. Grafik daya simulasi dengan merubah daya *dummy load*

Berdasarkan hasil simulasi dengan merubah daya *dummy load* ini, daya yang keluar dari sumber stabil di kondisi maksimum yakni 300 watt. Saat beban konsumen bertambah daya total akan tetap, hal ini dikarenakan daya *dummy load* ikut berkurang sesuai dengan kenaikan daya beban konsumen.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penyearah 6 pulsa, *buck boost* konverter, dan ELC untuk pembangkit listrik pikohidro dapat berjalan dengan semestinya. Pada saat simulasi tanpa merubah daya *dummy load*, daya yang dikeluarkan sumber terus bertambah beriringan dengan bertambahnya daya ke beban konsumen. Saat simulasi dengan merubah daya ke *dummy load*, daya yang dikeluarkan sumber stabil di 300 watt walaupun daya di beban konsumen bertambah ataupun berkurang. Berdasarkan hasil simulasi ini penelitian selanjutnya dapat melakukan rancangan bangun sesuai dengan rancangan simulasi, untuk pengendalian gate mosfet ke *dummy load* dapat ditambahkan sistem pengendalian seperti PID, Logika *Fuzzy*, dan lain-lain agar keseluruhan sistem dapat berjalan secara otomatis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Saya Mahasiswa peneliti Tugas Akhir tahun akademik 2021/2022 mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir kelompok A1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Indonesia," *Ember*, Nov. 22, 2021. <https://ember-climate.org/global-electricity-review-2021/g20-profiles/indonesia/> (accessed Nov. 22, 2021).
- [2] M. F. Basar, A. Ahmad, N. Hasim, and K. Sopian, "Introduction to the Pico Hydro Power and the Status of Implementation in Malaysia," p. 6.
- [3] H. Zainuddin, M. S. Yahaya, J. M. Lazi, M. F. M. Basar, and Z. Ibrahim, "Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 11, p. 6, 2009.
- [4] D. S. K. Dave, A. A. Parmar, A. P. Shah, and N. M. Vyas, "PICO HYDRO POWER GENERATION: RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGY FOR RURAL ELECTRIFICATION," p. 10.
- [5] I. Vojtko, V. Fecova, M. Kocisko, and J. Novak-Marcincin, "Proposal of construction and analysis of turbine blades," in *2012 4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics*, Smolenice, Slovakia, Sep. 2012, pp. 75–80. doi: 10.1109/LINDI.2012.6319465.
- [6] L. Jasa and I. P. Ardana, "A new design of Banki's water turbine model for pico hydro in Tabanan Bali," in *2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)*, Denpasar, Indonesia, Oct. 2016, pp. 136–139. doi: 10.1109/ICSGTEIS.2016.7885779.
- [7] K. Rana and D. C. Meena, "Self Excited Induction Generator for Isolated Pico Hydro Station in Remote Areas," in *2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, Delhi, India, Oct. 2018, pp. 821–826. doi: 10.1109/ICPEICES.2018.8897329.
- [8] V. B. Murali Krishna., V. Sandeep, and S. S. Murthy, "Experimental Study on Three Phase Permanent Magnet Synchronous Generator for Pico Hydro Isolated Systems," in *2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*, Hyderabad, India, Jan. 2021, pp. 1–4. doi: 10.1109/SeFet48154.2021.9375654.
- [9] Y. Sofian and M. Iyas, "Design of electronic load controller for a self excited induction generator using fuzzy logic method based microcontroller," in *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Bandung, Indonesia, Jul. 2011, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEEI.2011.6021725.
- [10] J. Immanuel and J. A. R. Hakim, "Pemodelan dan Analisis Dinamik Self Excited Induction Generator (SEIG) untuk Aplikasi Turbin Angin," vol. 1, no. 1, p. 6, 2013.
- [11] S. K. Rai, O. P. Rahi, and S. Kumar, "Implementation of electronic load controller for control of micro hydro power plant," in *2015 International Conference on Energy Economics and Environment (ICEEE)*, Greater Noida, India, Mar. 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/EnergyEconomics.2015.7235098.
- [12] V. P. Chandran, S. Murshid, and B. Singh, "Voltage and Frequency Regulation with Load Leveling of a PMSG Based Pico-Hydro System Using SLMS Control Algorithm," in *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, Gorakhpur, Nov. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/UPCON.2018.8596949.
- [13] H. Fan, "Design tips for an efficient non-inverting buck-boost converter," p. 8, 2014.
- [14] X. Weng *et al.*, "Comprehensive comparison and analysis of non-inverting buck boost and conventional buck boost converters," *J. Eng.*, vol. 2019, no. 16, pp. 3030–3034, Mar. 2019, doi: 10.1049/joe.2018.8373.
- [15] N. R and G. S. K, "Non Inverting Buck-Boost Converter with PV fed BLDC Drive for Irrigation," in *2020 IEEE International Power and Renewable Energy Conference, Karunagappally, India, Oct. 2020*, pp. 1–5. doi: 10.1109/IPRECON49514.2020.9315216.
- [16] A. B. Kancherla and D. R. Kishore, "Design of Solar-PV Operated Formal DC-DC Converter Fed PMLDLC Motor Drive For Real-time Applications," in *2020 IEEE International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (iSSSC)*, Gunupur Odisha, India, Dec. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/iSSSC50941.2020.9358813.
- [17] Y. I. A. Yani, "Rancang Bangun Buck-Boost Converter pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro." Oct. 19, 2017. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/id/eprint/47580>

- [18] G. Nel and W. Doorsamy, "Development of an Intelligent Electronic Load Controller for Stand-Alone Micro-Hydropower Systems," in *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, Cape Town, Jun. 2018, pp. 366–371. doi: 10.1109/PowerAfrica.2018.8521133.