



## Analisis Kinerja Konverter Penaik Tegangan Dengan Menurunkan Frekuensi Penyaklaran

Andi M. Nur Putra

Program Studi Sarjana Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia  
E-mail: [andimnurputra@itp.ac.id](mailto:andimnurputra@itp.ac.id)

---

### Informasi Artikel

**Diserahkan tanggal:**

2 Desember 2019

**Direvisi tanggal:**

23 Desember 2019

**Diterima tanggal:**

12 Januari 2020

**Dipublikasikan tanggal:**

31 Januari 2020

**Digital Object Identifier:**

10.21063/JTE.2020.3133908



---

### Abstrak

Konverter secara umum bekerja dengan menggunakan prinsip penyaklaran untuk memperoleh keluaran yang diinginkan. Pemilihan kendali dalam kerja konverter sangat menentukan dalam mendapatkan keluaran yang optimal. Variabel riak dan eror pada keluaran konverter merupakan parameter yang perlu dianalisis untuk mengetahui kinerjanya. Kendali hibrid merupakan jenis kendali yang dapat mengatur proses penyaklaran pada konverter sehingga menghasilkan keluaran dengan riak yang kecil. Selain itu, kendali jenis ini juga membuat kerja konverter menjadi lebih ringan karena komponen saklar bekerja dengan frekuensi penyaklaran yang rendah. Dalam paper ini kemampuan konverter untuk bekerja dengan frekuensi penyaklaran yang rendah diuji coba. Dengan menjadikan variabel riak dan eror sebagai indikator utama, konverter dioperasikan dengan frekuensi yang seminimal mungkin. Penurunan pada frekuensi penyaklaran tersebut dilakukan dengan menerapkan kendali hibrid yang menggunakan syarat batas agar dapat memperlambat terjadinya peralihan kondisi ON ke OFF saklar. Dengan menggunakan PSIM telah berhasil dilakukan uji coba dimana dalam kondisi normal konverter beroperasi pada frekuensi penyaklaran 70 kHz yang memberikan keluaran dengan riak sebesar 0,4 % dan eror sebesar 0,2 %. Kemudian konverter diuji dengan menurunkan frekuensi penyaklarannya hingga menjadi 10 kHz. Penurunan frekuensi ini menyebabkan riak semakin besar namun tidak terlalu memberikan dampak terhadap eror pada keluaran konverter.

**Kata kunci:** konverter, hibrid, riak, frekuensi, penyaklaran.

---

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini, teknologi konverter daya telah berkembang pesat seiring dengan kemajuan di bidang semikonduktor dan mikrokontroler. Perkembangan tersebut turut didukung oleh kemunculan teknologi *microgrid* yang merupakan sistem interkoneksi beban dengan berbagai macam sumber energi yang terdistribusi. Dalam hal ini, konverter daya memiliki peran untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan ke dalam sistem *microgrid* [1], [2]. Salah satu contoh konverter daya yang banyak digunakan adalah konverter penaik tegangan yang digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran PV dari 60 V menjadi 600 V sebelum di masukkan ke *grid* [3].

Pada konverter ini tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan masukan diperoleh dengan mengendalikan lama waktu peralihan dari kondisi hidup ke padam komponen saklar selama berlangsungnya periode penyaklaran [4]. Keluaran yang dihasilkan oleh konverter ini tergantung dari proses penyaklaran yang dilakukan. Berbagai macam kendali telah dikembangkan sebagai pembangkit sinyal PWM bagi saklar konverter. Seperti [5]–[7] kendali hibrid menjadi salah satu alternatif pengendalian pada konverter daya. Kendali ini mampu memberikan efek pengendalian yang menghasilkan keluaran dengan riak yang sangat kecil. Selain itu, kendali jenis ini juga dapat menurunkan frekuensi penyaklaran konverter saat beroperasi. Rendahnya frekuensi penyaklaran dapat membuat kerja saklar menjadi lebih ringan dan tidak cepat panas, dengan demikian rugi-rugi akibat penyaklaran dapat dihindari.

Paper ini bertujuan untuk melihat unjuk kerja konverter penaik tegangan ketika frekuensi penyalakannya diturunkan. Unjuk kerja konverter seperti dalam [8]–[10] dianalisis berdasarkan variabel riak dan eror pada keluaran konverter. Untuk memperoleh tegangan keluaran yang optimal, maka perlu dianalisis riak yang terdapat pada keluaran. Berdasarkan arus minimum induktor, maka mode transmisi energi (arus) terbagi atas CISM, IISM-CCM, dan IISM-DCM. Hasil analisa menunjukkan bahwa dari tiga mode tersebut diketahui konverter dengan mode operasi CISM memiliki riak yang kecil. Sedangkan konverter yang beroperasi dengan mode IISM-CCM dan IISM-DCM memiliki riak lebih besar yang meningkat dengan penurunan nilai induktansi [8].

Dalam makalah ini, unjuk kinerja konverter diuji coba dengan menurunkan frekuensi penyalakan. Demi mendapatkan riak yang kecil maka konverter diupayakan agar beroperasi pada mode CSIM. Analisis dilakukan pada kondisi stabil dimana riak dan eror pada keluaran konverter dijadikan sebagai variabel yang di analisis. Untuk menurunkan frekuensi penyalakannya, lama waktu peralihan hidup dan padam saklar di kendalikan dengan menerapkan kendali hibrid. Hasil ujicoba kinerja konverter terhadap penurunan frekuensi penyalakan disertakan pada bagian akhir makalah ini.

## 2. METODOLOGI

Secara umum, konverter penaik tegangan disusun atas komponen pensaklaran yang bekerja secara berlawanan, induktor  $L$  dan kapasitor  $C$  seperti terlihat pada gambar 1 di bawah. Prinsip kerja konverter ini cukup sederhana, yakni dengan mengatur perilaku dua buah komponen saklar yang mengendalikan arus di induktor saat proses penyalakan. Dalam paper ini konverter dioperasikan dengan mode konduksi kontinu (CCM) sehingga dalam operasinya konverter bekerja dengan dua kondisi yaitu saat ( $S_k ON; D OFF$ ) dan ( $S_k OFF; D ON$ ). Selama periode  $t_{on}$  sakelar  $S_k$  berada dalam kondisi  $ON$ , arus akan mengalir melewati induktor  $L$  dan tersimpan di induktor sampai terjadi proses penyalakan berikutnya. Untuk periode waktu  $t_{off}$  sakelar  $S_k$  beralih ke kondisi  $OFF$ , arus yang disimpan di induktor  $L$  akan mengalir melalui dioda  $D$  menuju beban dimana pada saat yang bersamaan kapasitor  $C$  akan menyimpan energi dalam bentuk tegangan. Untuk waktu  $0 \leq t \leq t_{on}$  dan  $t_{on} \leq t \leq t_{off}$ , besarnya tegangan dan arus yang melewati induktor  $L$  adalah sebagai berikut.

$$0 \leq t < t_{on} \begin{cases} \bar{v}_i = L di_L/dt \\ i_L(t) = \frac{1}{L} \bar{v}_i t + I_{LV} \end{cases} \quad (1)$$

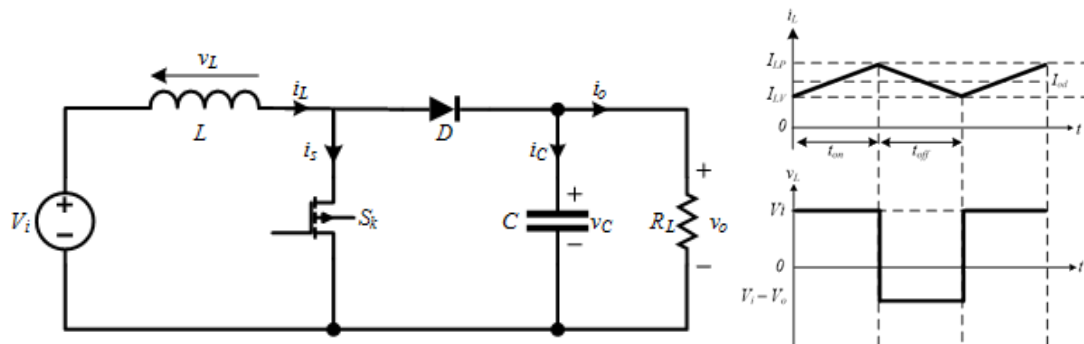
$$t_{on} \leq t < t_{off} \begin{cases} \bar{v}_i - \bar{v}_o = L \frac{di_L}{dt} \\ i_L(t) = \frac{1}{L} (\bar{v}_i - \bar{v}_o)t + I_{LP} \end{cases} \quad (2)$$

$$I_{LP} - I_{LV} = \frac{1}{L} V_i(t_{on}) = \frac{1}{L} (\bar{v}_o - \bar{v}_i)(t_{off}) \quad (3)$$

$$\frac{\bar{v}_o}{\bar{v}_i} = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} = \frac{T}{T - t_{on}} \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan di atas terlihat bahwa tegangan keluaran konverter tergantung dengan lama masa peralihan dari waktu hidup ( $ON$ ) ke waktu padam ( $OFF$ ) saklar selama proses penyalakan berlangsung. Dengan adanya proses penyalakan pada konverter mengakibatkan munculnya riak pada tegangan keluaran dimana besarnya dapat dihitung sebagai:

$$\tilde{v}_o = \sqrt{\frac{1}{T} \int_i^T (V_{od} - \bar{v}_o)^2 dt} \quad (5)$$



**Gambar 1.** Rangkaian dan gelombang keluaran konverter penaik tegangan sederhana

## 2.1 Pengendalian Proses Penyaklaran

Agar konverter memberikan keluaran seperti diinginkan maka proses penyaklaran pada konverter harus dikendalikan. Lama masa peralihan dari waktu hidup ke waktu padam dapat dikendalikan dengan mengatur sinyal PWM yang diberikan ke komponen pensaklaran. Dalam [6] pengendalian proses penyaklaran menggunakan kendali hibrid dapat membuat kerja komponen pensaklaran menjadi lebih ringan karena kendali dapat menurunkan frekuensi penyaklaran. Kendali ini seperti dijelaskan [11] adalah jenis kendali yang digambarkan sebagai interaksi antara antara dinamika kontinu dan dinamika diskrit. Dinamika kontinu adalah arus dan tegangan keluaran konverter sedangkan dinamika diskrit adalah proses penyaklaran.

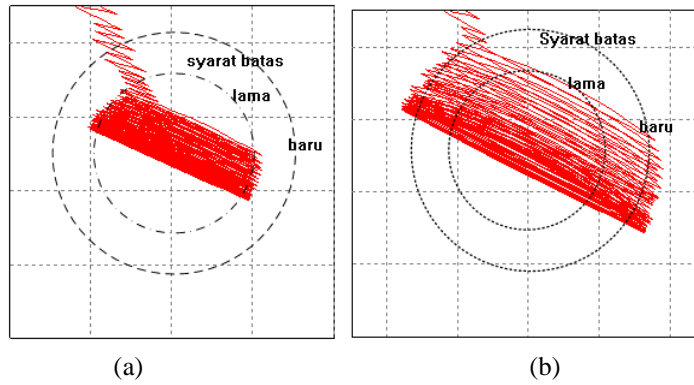
Pada kendali ini konverter di modelkan sebagai sebuah persamaan state space yang digunakan untuk menetapkan syarat batas yang harus dipenuhi agar terjadi proses penyaklaran. Menurut [12] syarat batas ini digunakan untuk menjaga agar frekuensi penyaklaran tidak terlalu tinggi dan keluaran yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari nilai referensinya. Seperti ditunjukkan pada gambar 2 berikut, menggambarkan bentuk pergerakan kendali yang diilustrasikan sebagai pergerakan di dalam lingkaran ketika berada di dalam syarat batas. Selama periode penyaklaran berlangsung, saklar akan hidup atau padam apabila syarat batas telah terlampaui (gambar 2.a). Untuk memperlambat terjadinya proses penyaklaran maka ukurannya diperbesar sehingga pergerakan kendali di dalam syarat batas sampai berubah arah menjadi semakin lama (gambar 2.b). Nilai syarat batas ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\langle x - xd, f_1(x) \rangle = \left\{ i_L - I_{Ld} \left( \frac{V_i}{L} \right) \right\} - \left\{ v_o - V_{od} \left( \frac{V_{od}}{RC} \right) \right\} - \left\{ (v_o - V_{od})^2 \left( \frac{1}{RC} \right) \right\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \langle x - xd, f_2(x) \rangle = & \left\{ i_L - I_{Ld} \left( \frac{V_i}{L} - \frac{V_{od}}{L} \right) \right\} + \left\{ v_o - V_{od} \left( \frac{I_{Ld}}{C} - \frac{V_{od}}{RC} \right) \right\} \\ & + \left\{ i_L - I_{Ld} * v_o - V_{od} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{L} \right) \right\} - \left\{ (v_o - V_{od})^2 \left( \frac{1}{RC} \right) \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sigma_i = \arg \min_{i \in \Lambda} \frac{\langle x - xd, f_i(x) \rangle}{\|f_i(x)\|} \quad (8)$$

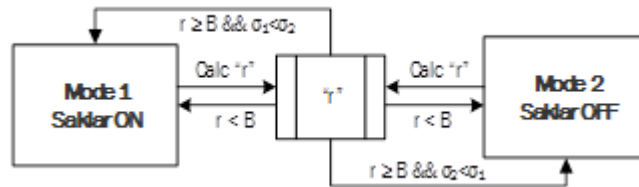
$$r = \sqrt{(x - x_d(i))^2 + (x - x_d(v))^2} \quad (9)$$



Gambar 2. Ilustrasi pergerakan kendali di dalam syarat batas

2.2 Algoritma Pengendalian

Dalam paper ini, frekuensi penyaklaran pada konverter di desain agar tidak terlalu tinggi maka kendali hanya akan melakukan proses penyaklaran ketika arah pergerakannya telah terlalu jauh dari titik acuan atau keluar dari syarat batas yang ditetapkan. Dari ide tersebut, algoritma penyaklaran kendali hibrida pada konverter dapat gambarkan sebagai berikut.



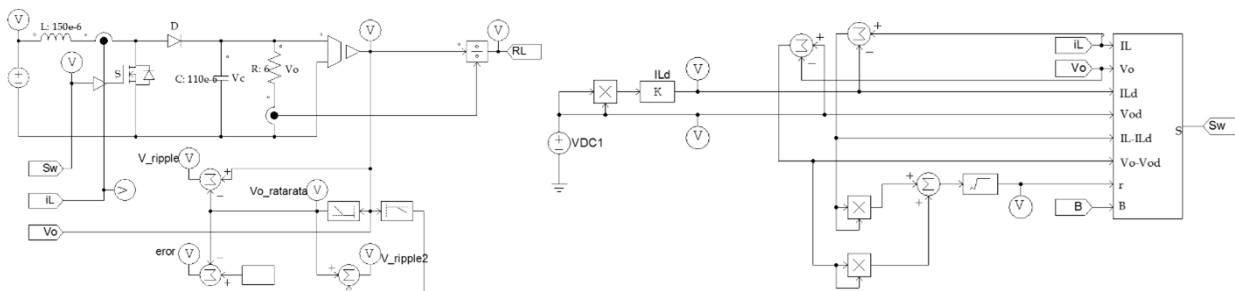
Gambar 3. Flowchart skema pensaklaran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh gambaran tentang kinerja konverter ketika frekuensi penyaklarannya diturunkan maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Powersim (PSIM). Rangkaian konverter seperti terlihat pada gambar 4 disimulasikan dengan waktu sampling 2,5 μs dengan parameter seperti tabel di bawah. Analisis hanya dilakukan dalam keadaan tunak dengan memperhatikan variabel seperti riak (v̂<sub>o</sub> (%)) dan error (Δv<sub>o</sub> (%)) yang dihasilkan oleh keluarannya.

Tabel 1. Parameter konverter yang digunakan dalam simulasi

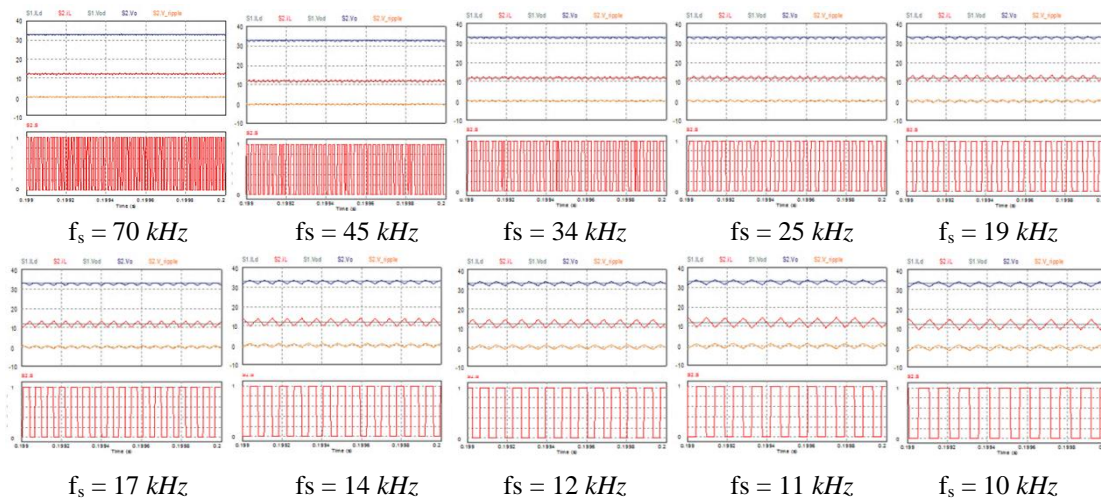
Parameter	Unit
Resistansi beban	6 ohm
Induktor	150 uH
Kapasitor	110 uF
Voltase masukan	15 volt
Voltase keluaran	30 volt



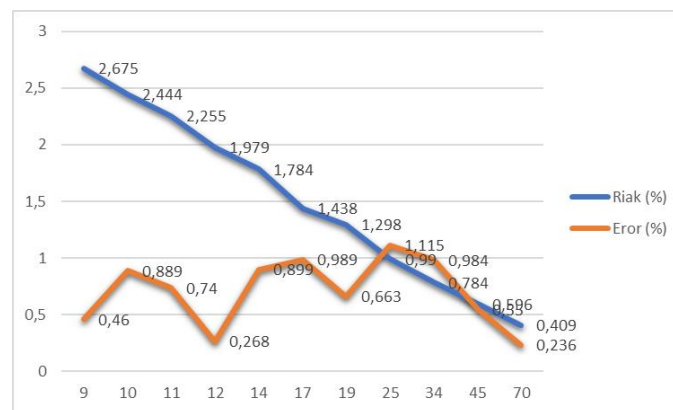
Gambar 4. Rangkaian simulasi pada perangkat lunak PSIM

### 3.1 Hasil Simulasi PSIM

Dalam pengujian ini kendali beroperasi sesuai dengan syarat batas yang diperoleh dari perhitungan pada persamaan (7) (8) dan (9). Seperti terlihat pada gambar 5 di bawah ini, konverter beroperasi dengan frekuensi penyaklaran sebesar  $70\text{ kHz}$  yang menghasilkan riak sebesar  $0,4\%$  dan eror sebesar  $0,2\%$  pada keluarannya. Untuk melihat sejauh mana kinerja konverter ketika frekuensi penyaklarannya diturunkan maka pada pengujian selanjutnya ukuran lingkaran (syarat batas) diperbesar sehingga frekuensi penyaklarannya dapat diturunkan hingga menjadi  $10\text{ kHz}$  seperti ditunjukkan oleh gambar. Penurunan frekuensi penyaklaran ini memberikan berdampak pada kandungan riak yang terdapat dalam keluaran konverter. Pada gambar 6 terlihat semakin rendah frekuensi penyaklarannya maka akan semakin besar riak, dan semakin tinggi frekuensinya riak akan semakin kecil. Ketika frekuensi penyaklaran sudah dibawah  $12\text{ kHz}$  riak pada keluaran sudah mencapai lebih dari  $2\%$ . Namun, hal ini tidak terlalu memberikan dampak terhadap eror padakeluaran yang mana nilainya masih dibawah  $2\%$ .



Gambar 5. Gelombang tegangan, arus, dan riak konverter.



Gambar 6. Grafik keluaran *high ratio boost converter*

### 3.2 Diskusi

Untuk menurunkan frekuensi penyaklaran dengan menggunakan kendali hibrid, perubahan ukuran syarat batas mesti dilakukan agar kendali tidak terlalu cepat melakukan penyaklaran. penurunan frekuensi penyaklaran ini dapat membuat kerja saklar menjadi lebih ringan dan tidak cepat panas sehingga rugi-rugi pada keluaran pun dapat diminimalkan. Namun, apabila frekuensi diturunkan terlalu jauh juga akan berdampak pada kandungan riak yang terdapat dalam keluaran konverter. Dari hasil pengujian yang dilakukan maka konverter masih dapat beroperasi pada frekuensi penyaklaran sebesar  $12\text{ kHz}$  karena disana riak yang dihasilkan masih dibawah standar yang harus dipenuhi oleh sebuah konverter.

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian terhadap kinerja konverter penaik tegangan dengan menurunkan frekuensi penyaklarnya telah berhasil dilakukan. Proses penyaklaran konverter dikendalikan dengan kendali hibrid yang membuat waktu peralihan dari kondisi hidup ke padam komponen saklar menjadi lebih lambat. Dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PSIM frekuensi penyaklaran konverter adalah 70 kHz dengan kandungan riak yang kurang dari 1%. Setelah dilakukan pengujian, konverter masih mampu bekerja pada frekuensi penyaklaran 12 kHz. Namun, jika frekuensi penyaklarnya diturunkan lagi maka riak yang terkandung dalam keluaran konverter sudah melebihi standar yang diizinkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Singh and S. Phulambrikar, "Design and Analysis of an Efficient Boost Converter for Renewable Energy Sources," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [2] F. Ismail, Y. Warmi, and A. M. N. Putra, "Perbaikan Performa DC-Link Inverter Satu Fasa Menggunakan Interleaved DC-DC Boost Konverter pada Aplikasi Photovoltaics," vol. 7, no. 1, pp. 74–78, 2018.
- [3] P. Muthukrishnan and R. Dhanasekaran, "Dc-Dc Boost Converter for Solar Power Application," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 31, no. 683, pp. 630–636, 2014.
- [4] J. Marshal and K. Deepa, "Single Input DC-DC Converter for Hybrid Distributed Energy Generators with Maximum Utilization using DSP Controller," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 2, no. 4, pp. 989–993, 2012.
- [5] P. Gupta and A. Patra, "Hybrid Mode-Switched Control of DC – DC Boost," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 52, no. 11, pp. 734–738, 2005.
- [6] M. N. P. Andi, T. D. Rachmildha, Y. Haroen, and A. P. Sadono, "The Effect of Safe Ball Size Changes on Boost," in *The 3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 2016, pp. 19–23.
- [7] E. Zulueta, T. Rico, and J. M. González de Durana, "Hybrid Modeling of Open Loop Dc-Dc Converters," *Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá*, vol. 11, no. 2, pp. 41–47, 2003.
- [8] S. Liu, J. Liu, S. Member, and J. Zhang, "Research on Output Voltage Ripple of Boost DC/DC Converters," in *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists*, 2008, vol. 2, no. 1, pp. 1458–1462.
- [9] Z. Mihajlovic, B. Lehman, and C. Sun, "Output ripple analysis of switching DC-DC converters," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 51, no. 8, pp. 1596–1611, 2004.
- [10] V. S. Nguyen, V. L. Tran, W. Choi, and D. W. Kim, "Analysis of the output ripple of the DC-DC boost charger for Li-ion batteries," *J. Power Electron.*, vol. 14, no. 1, pp. 135–142, 2014.
- [11] H. Lin and P. J. Antsaklis, "Hybrid Dynamical Systems: An Introduction to Control and Verification," *Found. Trends R Syst. Control*, vol. 1, no. 1, pp. 1–172, 2014.
- [12] A. M. N. Putra, R. Rizki A. Putra, F. Ismail, and A. Effendi, "Penerapan Hybrid Control sebagai Kendali pada High Ratio Boost Converter," in *Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4)*, 2017, pp. 291–295.