

## DESAIN DAN KARAKTERISASI KONVERTER DC KE DC BERBASIS RANGKAIAN BUCK-BOOST PADA SISTEM *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT)

### *DESIGN AND CHARACTERIZATION OF DC TO DC CONVERTER BASED BUCK-BOOST IN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SYSTEM*

Aulia Laila Fithri<sup>1</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>2</sup>, Ahmad Qurthobi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>auliafithri@gmail.com, <sup>2</sup>rezafauzii@gmail.com, <sup>3</sup>qurthobi@gmail.com

#### Abstrak

Panel surya (*photovoltaic*) kini mulai banyak dimanfaatkan sebagai penyedia energi listrik. Karena melalui panel surya inilah energi matahari dapat diubah menjadi bentuk energi listrik secara langsung. Dalam implementasinya, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan dipengaruhi oleh intensitas surya dan temperatur lingkungan sehingga nilai daya listrik sangat fluktuatif. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) merupakan sistem yang mampu membuat sistem panel bekerja pada efisiensi maksimumnya. Untuk mencapai daya yang maksimum, dibutuhkan sebuah perangkat (aktuator) untuk mengatur daya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber untuk mengisi aki dengan tegangan konstan 12 Volt. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan dan karakterisasi rangkaian *Buck-Boost* untuk menggeser titik kerja dari sistem *photovoltaic*. Penulis melakukan analisis terhadap nilai rasio perbandingan tegangan (M) terhadap perubahan *Duty Cycle* (D) dengan resolusi 0.05, analisis variasi nilai induktansi dan resistansi beban terhadap nilai M yang dihasilkan, analisis perbandingan operasi *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) dan *Continuous Conduction Mode* (CCM) dengan nilai K bervariasi, serta analisis peningkatan nilai arus keluaran dengan variasi nilai induktansi (L) dan resistansi beban (R). Berdasarkan prosedur yang telah diuraikan, pengujian alat yang telah di realisasikan diuji memiliki hasil yang linier, dan kinerjanya pada nilai  $D=0.5$ , dimana  $V_{in}=V_{out}$ . Sehingga didapatkan nilai *error* adalah sebesar 4.11%. Pada nilai frekuensi penyaklaran 26.46 kHz, rentang daerah kerja DCM berada dalam rentang yang paling panjang yakni 0.05 hingga 0.35.

**Kata kunci :** MPPT, *Buck-Boost*, *Photovoltaic*, *Duty Cycle*

#### Abstract

Solar which known as the energy source has an abundant availability in nature so that its utilization needs to be processed properly. Indonesia Island is geographically located along the equator, so that sunlight should be utilized optimally. Solar panel (*photovoltaic*) has begun to be widely used as a provider of electrical energy. By those solar cells the solar energy can be directly converted to another form of energy. As the implementation, the electrical energy which is generated by the solar cell will be affected by the light intensity and environment's temperature. It causes the power will fluctuate. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) is the system which is able to make the solar panel works efficiently. The hardware is required to regulate the output power which is able to charge the accumulator with a constant voltage in 12 volts. In this experiment, there will be done a design and characterization of *Buck-Boost Converter* to track the maximum power point of the solar panel. Author will analyze the conversion ratio of the voltage to the change of *Duty Cycle* which has 5% of resolution, the effect of inductance and resistance variation to the power output, the boundary layer of *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) and *Continuous Conduction Mode* (CCM) with the variation of K values, and the output current improvement with the variation of inductance (L) and resistance (R) value. Based on the experiment, the device at  $D=0.5$  has the error value 4.11%. When the switching frequency is 26.46 kHz, the converter has the largest range of the DCM mode in range 0.05 to 0.35.

**Key Words:** MPPT, *Buck-Boost*, *Photovoltaic*, *Duty Cycle*

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara produsen minyak dan gas bumi tertua di dunia. Berdasarkan hasil penelitian Badan Geologi, dapat diidentifikasi cekungan migas sebanyak 128 cekungan. Dimana jumlah cadangan minyak bumi hingga tahun 2014 hanya sekitar 0.2% dari cadangan minyak dunia yakni sebesar 3.6 miliar barel. Dengan asumsi tidak adanya penemuan cadangan, maka usianya sekitar 13 tahun. Adapun dengan produksi gas bumi Indonesia pada tahun 2013 yakni sebesar 8.130 mmscf/d tanpa ada penemuan cadangan, keberadaan gas alam ini akan bertahan selama 34 tahun[1]. Sehingga dengan adanya isu tersebut, masyarakat hingga peneliti gencar melakukan peralihan untuk menggunakan sumber energi yang mampu menggantikan keberadaan sumber energi fosil yang semakin menipis.

Sumber energi terbarukan yang berasal dari energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan karena sistem berbasis energi surya ini merupakan sumber energi yang bersih, tidak terbatas jumlahnya, tidak menimbulkan kebisingan, bebas polusi, serta ramah lingkungan[2,3]. Hal tersebut mampu menjawab permasalahan mengenai krisis energi di Indonesia. Mengingat letak geografisnya, negara Indonesia merupakan negara yang terletak di sepanjang garis khatulistiwa sehingga Indonesia mendapatkan manfaat dari ketersediaan energi surya setiap hari dalam setahun dengan potensi sebesar  $4,8 \text{ kWh/m}^2$  atau setara dengan 112.000 GW[4]. Panel surya dalam pengaplikasiannya secara konvensional memiliki banyak kekurangan terutama pada efisiensi keluarannya yang terbilang rendah. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan karakteristik panel surya dan beban yang digunakan (dalam kasus ini beban adalah aki sebagai penyimpan energi)[2,3]. Selain itu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, dimana kondisi intensitas cahaya matahari yang bersifat fluktuatif. Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem yang dapat menstabilkan daya keluaran dari panel surya tersebut yakni *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)[5,6,7,8].

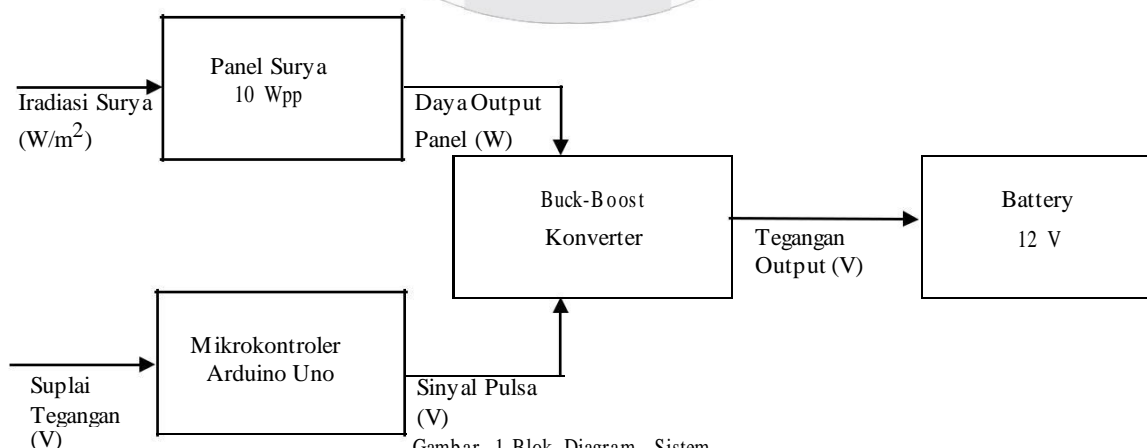
Untuk mengoptimalkan efisiensi keluarannya yang rendah tersebut maka diperlukan beberapa subjek dan pengetahuan dasar dalam perancangan serta implementasinya, salah satunya adalah penerapan konsep *Buck-Boost* konverter sebagai *charge controller*[5,9,10]. Dengan menerapkan konverter ini akan memungkinkan suatu perangkat elektronika dapat menggunakan sumber energi masukan yang bernilai kecil/rendah. Tipe konverter *Buck-Boost* juga banyak digunakan karena tegangan keluarannya dapat bernilai lebih besar ataupun lebih kecil daripada tegangan masukannya, atau dengan kata lain, level tegangan keluaran dapat diatur sesuai kebutuhan pemakaian[6,7,9]. Pada prinsipnya di dalam sistem MPPT, apabila tegangan dari panel kurang dari *setpoint* tegangan keluaran, maka DC-DC konverter akan bekerja dalam mode *Boost*. Sebaliknya, apabila tegangan panel lebih besar dari *setpoint* tegangan keluaran, maka sistem DC-DC konverter akan bekerja dalam mode *Buck*[9].

Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi dengan menganalisis nilai penguatan tegangan terhadap perubahan *Duty Cycle* (D) dengan resolusi 5%, analisis variasi nilai induktansi dan resistansi beban terhadap daya yang dihasilkan, analisis batas operasi *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) dan *Continuous Conduction Mode* (CCM) dengan nilai K bervariasi, serta analisis peningkatan nilai arus keluaran dengan variasi nilai induktansi (L) dan resistansi beban (R).

## 2. Dasar Teori dan Perancangan

### 2.1 Blok Diagram Sistem

Secara umum sistem MPPT memiliki 4 blok basis yang digambarkan seperti diagram alir pada Gambar berikut[6].



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

Apabila tegangan output kurang dari tegangan baterai, baterai tidak akan mengalami proses *charging*, tegangan keluaran dari konverter dialirkan menuju beban. Maka converter Buck-Boost memiliki peran penting untuk mengatur nilai tegangan yang fluktuatif dari sistem photovoltaic sehingga menghasilkan tegangan yang stabil serta mengatur overcharging (kelebihan pengisian dan kelebihan voltase dari panel surya). Kondisi overcharging ini akan mengurangi umur baterai.

**2.2 Perancangan Buck-Boost Konverter**

Dalam merancang rangkaian *Buck-Boost* Konverter, maka langkah awal adalah menentukan spesifikasi rangkaian yang akan dibuat. Beberapa parameter seperti tegangan input minimal, tegangan input maksimal, tegangan output, arus minimal, faktor *ripple*, serta frekuensi penyaklarannya, harus ditentukan sebelumnya untuk melakukan perhitungan nilai komponen converter[6,9,11]. Berikut merupakan tabel spesifikasi rangkaian yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Rangkaian Buck-Boost

Komponen	Spesifikasi
Tegangan Input	4-22 Vdc
Power MOSFET	IRF4905, (VG = ±20V)
Induktor (L1)	20 mH
Kapasitor (C1)	470 uF
Resistor Beban Max (RLmax)	50Ω
Resistor Beban Min (RLmin)	1kΩ
Frekuensi penyaklaran(fs)	62.5 kHz
Duty Cycle (%)	0~80%
Power Dioda (D1)	IN5822
Mikrokontroller	ARDUINO UNO

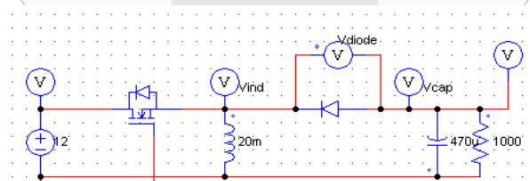
Frekuensi penyaklaran dari konverter adalah 62.5kHz. Pemilihan nilai frekuensi penyaklaran ini akan menentukan nilai kapasitor dan induktor minimum. Agar *converter* bekerja pada mode CCM, nilai induktor yang digunakan lebih besar 25% atau lebih dari nilai induktor minimum, dan untuk nilai induktor minimum diperoleh dari persamaan berikut.

$$L_{min} = \frac{R}{f_s} (1 - D)^2 = \frac{1000(1 - 0.37)^2}{50000} = 7.938mH \tag{1}$$

Menentukan nilai kapasitansi kapasitor minimum ( $C_{min}$ ) yakni dengan mengasumsikan nilai  $V_{rcpp} = 100$  mV. Maka tegangan ripple yang difilter oleh kapasitor dan nilai kapasitor minimumnya adalah

$$V_{C_{pp}} = V_r - V_{rcpp} = 120 - 100 = 20mV \tag{2}$$

$$C_{min} = \frac{D_{max}}{f_s R_{Lmin}} \frac{V_o}{V_{r_{min}}} = \frac{0.7 \times 12}{62500 \times 50 \times 0.02} = 134.4\mu F \tag{3}$$



Gambar 2 Rancangan Skematik Buck-Boost

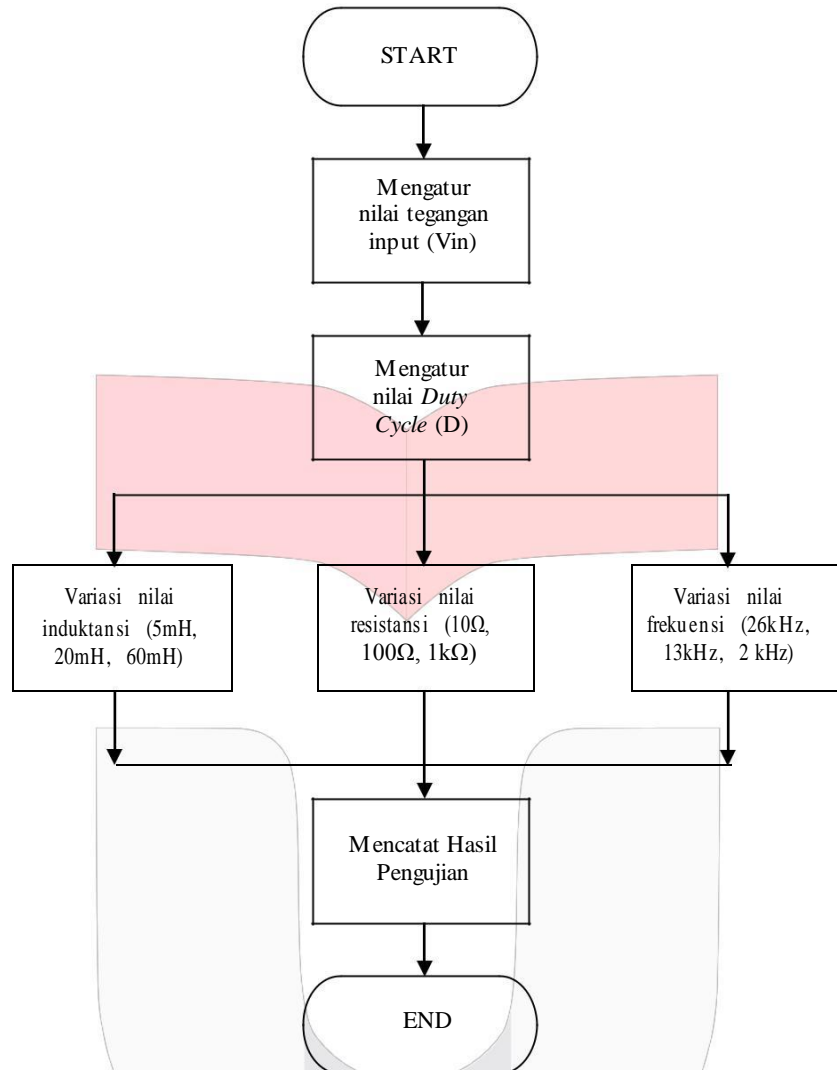
**2.3 Perancangan Sistem Penyaklaran**

Pada tahap ini peneliti membuat *source code* pengatur nilai *Duty Cycle* pada sinyal PWM yang mampu memiliki nilai frekuensi tertentu yang bervariasi. Ditunjang dengan sistem ini memiliki fungsi utama yakni sebagai penguat sinyal PWM dari mikrokontroler yang memiliki amplitude tegangan maksimal 5 V agar mampu mengaktifkan komponen transistor P-MOSFET. Karena dalam rangkaian konverter *Buck-Boost* yang dirancang, MOSFET yang digunakan adalah tipe P-MOSFET (Power Mosfet) yang memiliki tegangan break-down sebesar 10 Vdc[9].

**2.4 Prosedur Pengujian Buck-Boost**

Pengujian rangkaian konverter *Buck-Boost* dilakukan dengan memberikan tegangan masuk minimal  $V_{in_{min}}$  sebesar 8 Volt dan tegangan masuk maksimal  $V_{in_{max}}$  sebesar 14 Volt. Tegangan diukur pada beban

resistif dan akan dianalisis dengan mengubah nilai *Duty Cyclenya*. Berikut merupakan tahapan pengujian karakteristik konverter Buck-Boost.



Gambar 3 Diagram Alir Proses Pengujian

Penjelasan dari tahapan algoritma pengujian adalah sebagai berikut:

1. Algoritma dimulai dengan mengatur tegangan masukan sebesar 12 Vdc dari *Power Supply*.
2. Mengatur sinyal PWM dengan variasi nilai frekuensi yang dibangkitkan dari mikrokontroler.
3. Mengukur parameter tegangan input, arus input, tegangan output dan arus output.
4. Mengubah nilai induktansi yang bernilai 5 mH, 20 mH, dan 60 mH.
5. Mengukur seluruh parameter pada masing-masing nilai *Duty Cycle*, dimulai dari 5% hingga 85% (berkelipatan 5%).
6. Melakukan prosedur yang sama untuk variasi frekuensi 26.48 kHz, 13.42 kHz, dan 2.64 kHz.
7. Melakukan prosedur yang sama untuk variasi nilai resistansi 10Ω, 100Ω, dan 1kΩ.
8. Mengganti nilai resistor dengan daya 50 Watt untuk kasus arus kuat ( $I_{out} \geq 2A$ , pada *Duty Cycle*  $\geq$  50%).

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1 Hasil Pengujian Sistem *Switching*

Sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler adalah mendekati ideal, yakni berupa sinyal kotak. Persentase perbandingan sinyal high terhadap nilai periode switchingnya merupakan nilai *+Duty*, sedangkan persentase perbandingan sinyal low terhadap nilai periode switchingnya merupakan nilai *-Duty*.

yang ditunjukkan oleh osiloskop. Gambar di atas merupakan cuplik bentuk sinyal PWM pada +Duty 62.5% dengan nilai frekuensi *switching* adalah 62.5 kHz.

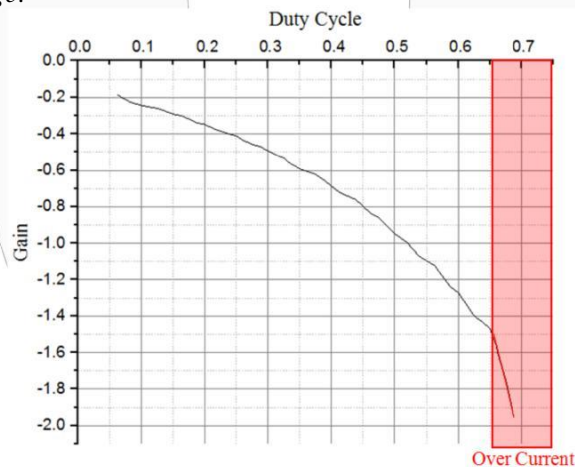
### 3.2 Hasil Pengujian Konverter Buck-Boost

Hasil meliputi nilai Gain terhadap perubahan persentase *Duty Cycle* (%). Data yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2 Hasil Eksperimen Konverter Buck-Boost

Duty Cycle	Vin (V)	Vout(V)	Gain
0.05	9.2	-1.718	-0.18674
0.10	9.2	-2.682	-0.29152
0.15	9.2	-3.209	-0.3488
0.20	9.2	-3.78	-0.41087
0.25	9.1	-4.55	-0.49457
0.30	9.2	-5.45	-0.59239
0.35	9.1	-6.33	-0.68804
0.40	9.2	-7.34	-0.79783
0.45	9.2	-8.72	-0.94783
0.50	9.2	-10.08	-1.09565
0.55	9.2	-11.68	-1.26957
0.60	9.1	-13.50	-1.46739
0.65	9.2	-14.05	-1.56111
0.66	9.0	-14.16	-1.60909
0.67	8.8	-14.88	-1.75059
0.68	7.8	-15.23	-1.95256

Keterangan: Untuk  $D > 0.65$  besarnya arus yang mengalir mengakibatkan MOSFET meningkat dan melebihi batas saturasinya sehingga menyebabkan MOSFET mengalami disipasi daya dan tegangan input mengalami *drop-voltage*.



Gambar 4 Eksperimen Nilai Gain terhadap Duty Cycle

Berdasarkan Gambar dapat dianalisa Grafik menunjukkan bahwa kenaikan nilai Gain terhadap perubahan *Duty Cycle* adalah linier dengan persamaan. Selanjutnya setelah mendapatkan data hasil uji Buck-Boost maka dapat diperoleh nilai persentase eror yakni dengan membandingkan nilai selisih tegangan perhitungan terhadap nilai tegangan aktual per nilai tegangan aktualnya. Persamaan dapat dituliskan kedalam persamaan berikut.

$$Error = \frac{\left| \begin{matrix} V_o \\ \text{aktual} \end{matrix} - \begin{matrix} -V_o \\ \text{perhitungan} \end{matrix} \right|}{V_o} \times 100\% \quad (4)$$

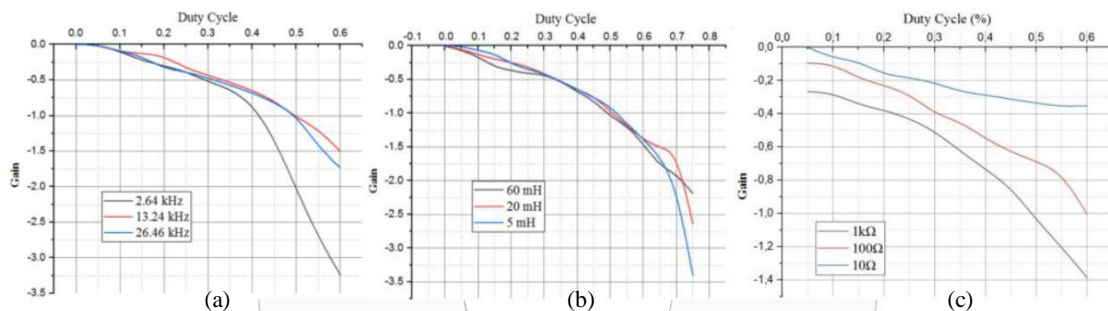
Selisih antara tegangan aktual terhadap tegangan perhitungan adalah menggunakan data tegangan saat duty cycle bernilai 0.5 untuk menentukan nilai errornya, dimana tegangan output converter memiliki nilai yang sama dengan tegangan input ( $V_{in}=V_{out}$ ). Tabel 4.1 berikut menampilkan nilai error dari pengujian beberapa variasi nilai input.

Tabel 3 Hasil Nilai Error Perhitungan

Voltage Input	Voltage Output (matematis)	Voltage Output (aktual)	Error (%)
4 Volt	4 Volt	3.53 Volt	11.75%
6 Volt	6 Volt	5.89 Volt	1.83%
8 Volt	8 Volt	7.79 Volt	2.63%
10 Volt	10 Volt	10.68 Volt	6.80%
12 Volt	12 Volt	12.45 Volt	3.75%
14 Volt	14 Volt	14.11 Volt	0.78%
16 Volt	16 Volt	15.57 Volt	2.68%
18 Volt	18 Volt	18.73 Volt	4.05%
20 Volt	20 Volt	20.05 Volt	0.25%
22 Volt	22 Volt	23.45 Volt	6.59%
Error Rata-Rata ( $\bar{e}$ )			4.11%

### a. Analisis Variasi Nilai Frekuensi, Induktansi, dan Resistansi Beban

Analisis pertama dilakukan dengan membuat variasi nilai frekuensi switching untuk menentukan karakteristik nilai rasio perbandingan tegangan terhadap perubahan nilai  $K$ . Sebagaimana sebelumnya telah dijelaskan mengenai parameter  $K = 2L/RT_s$  dengan  $T_s = 1/f_s$ . Frekuensi *switching* yang digunakan secara menurun berturut-turut adalah 26.48 kHz; 13.42 kHz; 2.64 kHz. Nilai induktansi yang digunakan secara berturut-turut adalah 5 mH, 20 mH, dan 60 mH. Nilai resistansi yang digunakan secara berturut-turut adalah 10 $\Omega$ , 100 $\Omega$ , dan 1000 $\Omega$ .



Gambar 5 (a) Pengaruh Frekuensi Penyaklaran (b) Pengaruh Induktansi (c) Pengaruh Nilai Resistansi Beban

Berdasarkan Gambar 5(a) diatas menunjukkan bahwa nilai parameter  $K$  akan mempengaruhi pada nilai output. Frekuensi adalah berbanding lurus terhadap nilai parameter  $K$ , yakni apabila semakin kecil nilai frekuensi maka nilai parameter  $K$  akan semakin kecil. Sehingga kurva Gain yang terbentuk akan semakin curam. Sebaliknya, apabila semakin besar nilai frekuensi yang diberikan maka kurva akan semakin landai dan rentang linearitas akan semakin panjang. Gambar 5(b) menunjukkan bahwa nilai parameter  $K$  akan mempengaruhi pada nilai output. Sama halnya dengan frekuensi, nilai induktansi adalah berbanding lurus terhadap nilai parameter  $K$ , yakni apabila semakin kecil nilai induktansi maka nilai parameter  $K$  akan semakin kecil. Sehingga kurva Gain terhadap *Duty Cycle* yang terbentuk akan semakin curam. Sebaliknya, apabila semakin besar nilai induktansi yang diberikan maka kurva akan semakin landai dan rentang linearitas akan semakin panjang. Sedangkan Gambar 5(c) menunjukkan bahwa kurva Gain yang terbentuk semakin curam. Sebaliknya, apabila semakin besar nilai resistansi yang diberikan maka kurva akan semakin landai dan rentang linearitas akan semakin panjang. Namun, dalam kasus ini nilai tegangan keluaran yang dihasilkan akibat nilai resistansi yang divariasikan mengalami *drop-voltage*. Sehingga dalam perancangannya, untuk memperpanjang rentang linearitas *Buck-Boost*, tidak disarankan untuk menggunakan variasi nilai resistansinya.

### 3.3 Karakteristik CCM dan DCM

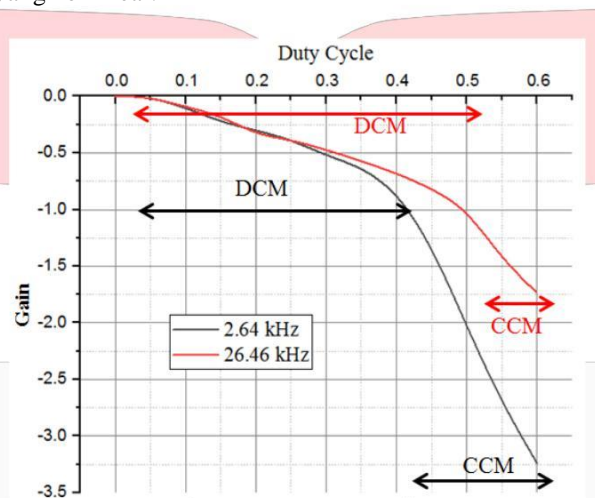
Karakteristik DCM dan CCM diperoleh dengan melakukan pengujian terhadap converter dengan memberikan perbedaan parameter induktansi dan frekuensi *switching*. Untuk meneliti mode kerja rangkaian, maka peneliti memberikan parameter  $K$  yang bernilai lebih atau kurang dari  $K_{crit}$  ( $K > K_{crit}$  atau  $K < K_{crit}$ ) dengan nilai parameter sebagai berikut.



Tabel 4 Parameter Pengujian DCM dan CCM

Parameter	DCM	CCM
Induktansi	5 mH	5 mH
Resistansi	100 $\Omega$	100 $\Omega$
Frekuensi <i>Switching</i>	62.5 kHz	2.64 kHz
K	6.25	0.264

Berdasarkan rancangan parameter uji diatas, hasil data pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar memberikan informasi bahwa karakteristik *Buck-Boost* yang bekerja pada mode CCM cenderung bersifat tidak linier dan *Buck-Boost* yang bekerja pada mode DCM akan cenderung bersifat linier. Pada kondisi saat frekuensi bernilai 26.4 kHz sifat linearitas terjadi pada saat Duty Cycle 0 hingga 50%. Berbeda saat diberikan frekuensi yang rendah yakni 2.64 kHz sifat linearitas terjadi pada saat Duty Cycle 0 hingga 0.4. Ketika nilai Duty Cycle melebihi 0.4, maka mode kerja akan berubah menjadi CCM dengan ditunjukkan perubahan yang signifikan pada rentang Duty Cycle 0.4 hingga 0.6. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *Buck-Boost* memiliki karakteristik yang nonlinear.



#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil desain dan karakterisasi konversi DC-DC ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Berdasarkan prosedur yang telah diuraikan, pengujian alat yang telah di realisasikan diuji memiliki nilai *error* adalah sebesar 4.11%.
2. Parameter frekuensi penyaklaran saat bernilai 2.64 kHz menghasilkan nilai perbandingan Gain yang lebih curam dalam rentang Duty Cycle yang pendek, jika dibandingkan saat frekuensi penyaklaran bernilai 13.24 kHz dan 26.48 kHz, yang memiliki kurva Gain yang cenderung lebih landai. Hubungan antara frekuensi dengan nilai K adalah berbanding lurus dengan persamaan  $K = 2L/RT_s$  dengan  $T_s = 1/f_s$
3. Parameter induktansi saat bernilai 5 mH menghasilkan nilai perbandingan Gain yang lebih curam jika dibandingkan saat nilai induktansi bernilai 20 mH dan 60 mH. Hal ini membuktikan jika nilai induktansi mempengaruhi kurva Gain akibat perubahan besarnya parameter K.
4. Berbanding terbalik dengan komponen induktansi dan frekuensi. Nilai resistansi saat bernilai 10  $\Omega$  menghasilkan kurva Gain yang lebih curam jika dibandingkan saat resistansi bernilai 1 k $\Omega$ . Dalam kasus variasi nilai resistansi, akan terjadi *drop-voltage* pada tegangan keluaran, sehingga titik awal untuk kurva Gain terhadap D tidak bermula pada titik yang sama.
5. Karakteristik *Buck-Boost* yang bekerja pada mode CCM cenderung bersifat tidak linier dan *Buck-Boost* yang bekerja pada mode DCM akan cenderung bersifat linier. Mode kerja diuraikan berdasarkan nilai K dan Duty Cycle yang digunakan. Semakin kecil nilai K maka rentang linearitas karakteristik *Buck-Boost* pada kondisi DCM bernilai semakin pendek.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Hutagalung, Aldi Martino, et al. "Potensi dan Permasalahan Minyak dan Gas Bumi." Rencana Strategis 2015-2019. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2015. 15-16.

- [2] Hegedus, Steven S. and Luque, Antonio. "Status, Trends, Challenges and Bright." Handbook of Photovoltaic Science (2003): 1-41.
- [3] Markvart , Tomas and Luis Castafier. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. New York: Elsevier Science Inc, 2003.
- [4] Bendib, B., et al. "Advanced Fuzzy MPPT Controller for a stand-alone PV system." Energy Procedia 50 (2014): 383-392.
- [5] Hakim, Mohamad Lukmanul, Susatyo Handoko and Karnoto. "ANALISIS PERBANDINGAN BUCKBOOST CONVERTER DAN CUK CONVERTER DENGAN PEMICUAN MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535 UNTUK APLIKASI PENINGKATAN KINERJA PANEL SURYA." Transmisi (2016): 2-4.
- [6] Hidayat, Suryo Mochamad. Rancang Bangun Buck Boost Konverter. Depok: Universitas Indonesia, 2010.
- [7] Kazimierczuk, Marian K. Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters, Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [8] Mahapatro, Sunil Kumar. "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Of Solar Cell Using Buck-Boost Converter." International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) (2013): 1-2.
- [9] Hart, Daniel W. Power Electronics. New York: The McGraw-Hill Companies, 2011.
- [10] Rogers, Everett. Understanding Buck-Boost Power Stages in Switch Mode. Texas: Texas Instruments, 2002.
- [11] Cryl, W Lander. Power Electronic Third Editon. Berkshire: The McGraw-Hill Companies, 1981.
- [12] Chapman, Patrick L. and Trishan Eram. "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques." IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION 22 (2007): 439-449.
- [13] F, Vasca and Ianelli L. "Dynamics and Control of Switched Electronic Systems." Advances in Industrial Control (2012).

