

Analisa Perbandingan Desain DC-DC Converter untuk Perbaikan *Power Factor*

A Comparative Analysis of Various PFC Converters

Irham Fadlika S.T. M.T.¹, Drs. Slamet Wibawanto² M.T., M Ricko Gunawan³
Universitas Negeri Malang

Jl. Semarang No. 5 Malang 65145 telp (0341)551312

irham.fadlika.ft@um.ac.id , slamet.wibawanto.ft@um.ac.id, rickomuhamad111@gmail.com

Abstrak – Penelitian ini memaparkan analisa perbandingan beberapa desain DC-DC Converter dengan beban resistif. Ada 3 jenis DC-DC Converter yang akan dibandingkan, setiap DC-DC Converter yang di bandingkan memiliki input dari sumber tegangan AC yang di searahkan oleh full bridge rectifier dengan induktor dan kapasitor filter. Kontrol PID menggunakan sensor tegangan untuk mengontrol tegangan keluaran, kontrol PID mengolah error dari sensor tegangan terhadap tegangan referensi, sehingga kontrol PID menghasilkan sinyal pulse width modulation sebagai keluaran, penelitian ini membandingkan susunan konfigurasi dan nilai komponen yang berbeda dari 3 jenis DC-DC Converter dengan rating tegangan keluaran, frekuensi pensaklaran, dan beban tetap sama. Rating tegangan keluaran, riak tegangan capacitor, riak arus induktor, dan frekuensi pensaklaran, dapat digunakan untuk perhitungan nilai komponen, dan nilai PID. Dari perbandingan 3 DC-DC Converter yang di bandingkan didapatkan power factor tinggi, nilai komponen rendah dan jumlah komponen sedikit pada konfigurasi Switched Capacitor Buck Boost Converter. Dari penelitian ini bisa disimpulkan Konfigurasi Switched Capacitor Buck Boost Converter memiliki rugi rugi daya yang rendah, biaya yang efektif dan sangat cocok dengan beban yang di tentukan.

Kata Kunci: DC-DC Converter, Buck Boost, PID, Power Factor, Pulse Width Modulation

Abstract – This research presents a comparative analysis of various design DC-DC Converter with resistif load. There are 3 type of DC-DC Converter will be compared, every single type of DC-DC Converter has an input from AC voltage source which has been directed by rectifier with inductor and capacitor as a filter. Voltage sensor used on PID controller to control output voltage, PID controller processing error from voltage sensor, PID controller generate Pulse Width Modulation from error processing, this research compare diferent topology and rate of componentf from 3 DC-DC Converter configuration with same voltage output rate, switching frequency, and load. Output voltage, capacitor voltage ripple, switching frequency, and inductor current ripple can be used for calculating rate of component, and value of PID. From this compared 3 DC-DC Converter can be obtain that Switched Capacitor Buck Boost Converter has high power factor, low rate of component, and low amount of component. From this research can be conclude that Switched Capacitor Buck Boost Converter has low power loss, effective cost, andy suitable to rate of load.

Keywords: DC-DC Converter, Buck Boost, PID, Power Factor, Pulse Width Modulation

1. Pendahuluan

Penggunaan DC-DC Converter banyak digunakan di era teknologi yang membutuhkan konversi energi yang efisien dari berbagai rating beban. Rating beban yang dimiliki berbagai alat kerja ataupun rumah tangga harus memiliki supply dari DC-DC Converter yang tepat, desain DC-DC Converter yang sesuai dengan rating beban dapat diperhitungkan agar memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.

Kualitas daya menjadi masalah penting dengan memperhatikan batasan-batasan nilai harmonik pada arus sumber berdasarkan standar pada *International Electrotechnical Commission(IEC) 61000-3-6*[6].

Penelitian yang berjudul “*Analysis, Design, and Control of Switching Capacitor based Buck-Boost Converter*” dilakukan oleh Mummadi Veerachry, dan Vasudha Khubchandani pada tahun 2019. Penelitian yang menjadi rujukan tersebut membahas desain mengenai konfigurasi DC-DC Converter yang memiliki riak arus sumber yang rendah [1].

Penelitian lain yang dijadikan bahan perbandingan berjudul “*Quadratic Buck-Boost Converter*” dilakukan oleh Neng Zhang, Guidong Zhang, Khay Wai See, dan Bo Zhang pada tahun 2018. Penelitian ini membahas desain konfigurasi DC-DC Converter yang memiliki jangkauan rating tegangan yang luas[2].

Penelitian perbandingan selanjutnya berjudul “*PFC CUK Converter fed BLDC Motor Drive*” dilakukan oleh Vashist Bist, dan Bhim Singh. Penelitian ini membahas desain konfigurasi DC-DC Converter yang memiliki biaya yang efektif untuk daya rendah dan frekuensi saklar yang kecil[3].

Berdasarkan Tinjauan beberapa penelitian tersebut, maka penelitian ini memiliki tujuan

1.2 Tujuan Penelitian

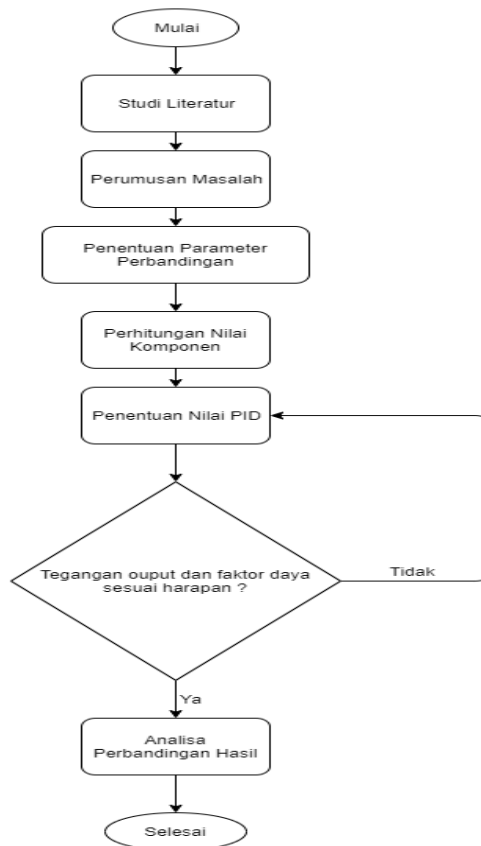
- a) Membandingkan beberapa jenis konfigurasi DC-DC Converter berdasarkan rating dan jumlah komponen.
- b) Membandingkan kestabilan tegangan keluaran beberapa jenis konfigurasi DC-DC Converter.
- c) Membandingkan nilai *power factor* beberapa jenis konfigurasi DC-DC Converter.

1.3 Batasan Masalah

- a) Komponen dianggap ideal
- b) jenis *controller*, rating tegangan output, rating tegangan input, frekuensi, riak arus induktor, nilai komponen *filter rectifier* dan riak tegangan kapasitor dari setiap jenis konfigurasi DC-DC Converter bernilai sama.

2. Metode Penelitian

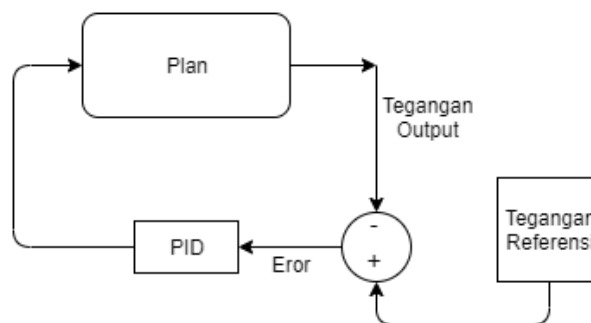
2.1 Flowchart Metodologi penelitian



Gambar 1. Flow Chart Metodologi Penelitian

2.2 Kontrol *Close Loop* PID

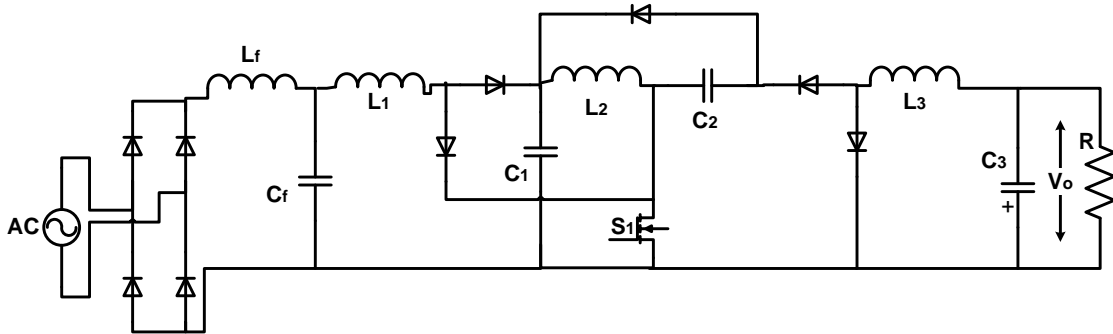
Kontrol pada plan menggunakan PID dengan inputan tegangan output yang dibandingkan dengan tegangan referensi yang telah ditentukan.



Gambar 2. Kontrol PID

3. Perancangan dan Simulasi

3.1 Quadratic Buck Boost Converter



Gambar 3 Rangkaian QBB dengan sumber AC yang telah dilengkapi filter

Switch on

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g \tag{1}$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = v_{c1} \tag{2}$$

$$L_3 \frac{di_{L3}}{dt} = v_{c2} - v_o \tag{3}$$

Switch off

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g - v_{c1} \tag{4}$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = -v_{c2} \tag{5}$$

$$L_3 \frac{di_{L3}}{dt} = -v_o \tag{6}$$

Dengan prinsip *volt second balance* maka persamaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$V_g - V_{c1}(1 - D) = 0 \tag{7}$$

$$V_{c1}D - V_{c2}(1 - D) = 0 \tag{8}$$

$$V_{c2}D - V_o = 0 \tag{9}$$

Berdasarkan persamaan tegangan (7),(8), dan (9) maka:

$$\frac{V_o}{V_g} = \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 \tag{10}$$

Paremeter yang ditentukan :

$$\begin{aligned} V_g &= 220 \text{ V} & f_s &= 50 \text{ kHz} & \Delta v_C &= 0.02 \\ V_o &= 300 \text{ V} & R &= 100 \text{ Ohm} \\ \Delta i_L &= 0.5 & D &= 0.538 \end{aligned}$$

$$L_1 = \frac{V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s} \quad (11)$$

$$L_1 = 4,72 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s \cdot (1 - D)} \quad (12)$$

$$L_2 = 10,24 \text{ mH}$$

$$L_3 = \frac{V_o \cdot (1 - D)}{\Delta i_{L3} \cdot f_s} \quad (13)$$

$$L_3 = 4,12 \text{ mH}$$

$$C_1 = \frac{D^2 \cdot I_o}{\Delta V_{C1} \cdot f_s} \quad (14)$$

$$C_1 = 1878 \text{ uH}$$

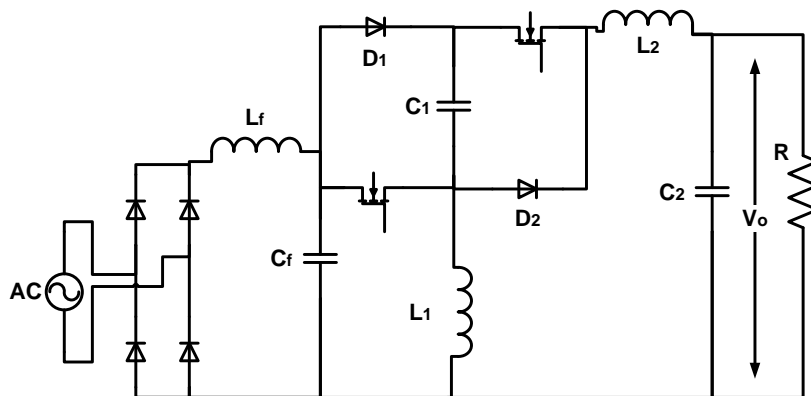
$$C_2 = \frac{D \cdot I_o}{\Delta V_{C2} \cdot f_s} \quad (15)$$

$$C_2 = 1614 \text{ uH}$$

$$C_3 = \frac{V_o(1 - D)}{8L_3\Delta V_{C3} \cdot f_s} \quad (16)$$

$$C_3 = 86 \text{ uH}$$

3.2 Switching Capacitor Buck Boost Converter



Gambar 4 Rangkaian SCBB Converter dengan sumber AC yang telah dilengkapi filter

Switch on

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g \quad (17)$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = v_g + v_{c1} - v_o \quad (18)$$

Switch off

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g - v_{c1} \tag{19}$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = v_g - v_{c1} - v_o \tag{20}$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), (3), dan (4) maka persamaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$V_g D - (V_g - V_{c1})(1 - D) = 0 \tag{21}$$

$$(D)(V_g + V_{c1} - V_o) - (V_g - V_{c1} - V_o)(1 - D) = 0 \tag{22}$$

Berdasarkan persamaan tegangan dan arus yang telah ditemukan maka:

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{D}{1 - D} \tag{23}$$

Paremeter yang ditentukan :

V _g = 220 V	f _s = 50 kHz	Δv _C = 0.02
V _o = 300 V	R = 100 Ohm	D = 0.578
Δi _L = 0.5	D = 0.538	

$$L_1 = \frac{V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s} \tag{24}$$

$$L_1 = 5,06 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{2 \cdot V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s} \tag{25}$$

$$L_2 = 10,12 \text{ mH}$$

$$\Delta i_{c1} = \left\{ \left(\frac{I_o}{(1 - D)} \right) + \left(\frac{V_g \cdot D}{2 \cdot f_s} \right) \cdot \left(\frac{1}{L_1} + \frac{4}{L_2} \right) \right\} \tag{26} \quad \Delta i_{c2} = \Delta i_{L2} = \frac{2 \cdot V_g \cdot D}{L_2 \cdot f_s} \tag{27}$$

$$\Delta i_{c1} = 7,461 \text{ A}$$

$$\Delta i_{c2} = 20,01$$

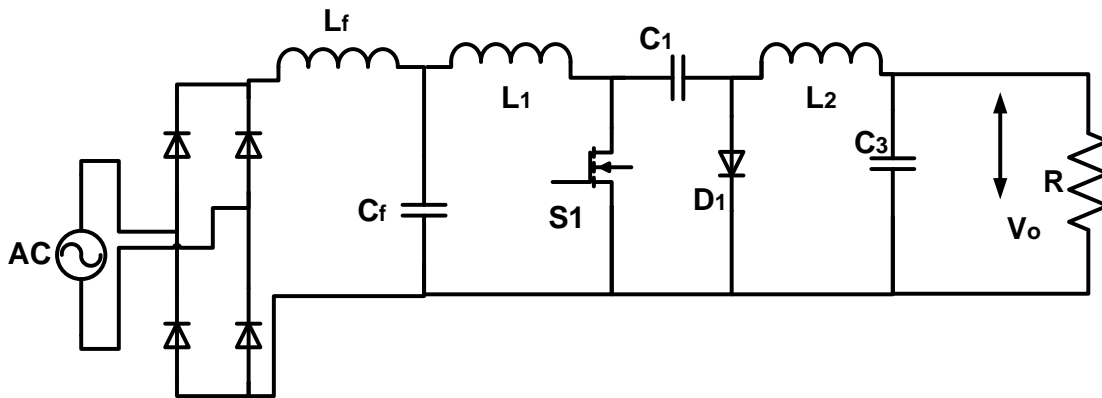
$$C_1 = \frac{\Delta i_{c1} \cdot D}{\Delta V_{C1} \cdot fs} \tag{28}$$

$$C_2 = \frac{\Delta i_{c2} \cdot D}{\Delta V_{C2} \cdot fs} \tag{29}$$

$$C_1 = 4,5\mu H$$

$$C_2 = 5785 \mu H$$

3.3 Cuk Converter



Gambar 5 Rangkaian Cuk Converter dengan sumber AC yang telah dilengkapi filter

Switch on

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g \tag{30}$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = v_{c1} - v_o, \tag{31}$$

Switch off

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = v_g - v_{c1} \tag{32}$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = -v_o \tag{33}$$

Dengan prinsip KVL maka persamaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$V_g D - (V_g - V_{c1})(1 - D) = 0 \tag{34}$$

$$(D)(V_g - V_{c1}) - (-V_o)(1 - D) = 0 \tag{35}$$

Berdasarkan persamaan tegangan dan arus yang telah ditemukan maka:

$$(36)$$

Paremeter yang ditentukan :

$$\begin{aligned}
 V_g &= 220 \text{ V} & f_s &= 50 \text{ kHz} & \Delta v_C &= 0.02 \\
 V_o &= 300 \text{ V} & R &= 100 \text{ Ohm} & D &= 0.538 \\
 \Delta i_L &= 0.5 & D &= 0.538
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$L_1 = \frac{V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s} \quad (37)$$

$$L_1 = 5,08 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{V_g \cdot D}{\Delta i_L \cdot f_s} \quad (38)$$

$$L_2 = 5,08 \text{ mH}$$

$$C_1 = \frac{D}{\Delta V_{C1} \cdot f_s} \quad (39)$$

$$C_1 = 570 \text{ uH}$$

$$C_3 = \frac{V_o(1 - D)}{8L_3 \Delta V_{C3} \cdot f_s^2} \quad (40)$$

$$C_3 = 56 \text{ uH}$$

Perbandingan Nilai Komponen

Nilai nilai komponen berdasarkan perhitungan dapat dibandingkan secara langsung jika parameter telah disesuaikan dengan batasan masalah yang telah di tentukan pula, dengan begitu didapatkanlah hasil sebagai berikut :

Tabel 1.1 Nilai Komponen SCBB

Switching Capacitor Buck Boost	
Spesifikasi	Nilai
L ₁	5,06 mH
L ₂	10,12 mH
C ₁	4500 uF
C ₂	5600 uF

Tabel 1.3 Nilai Komponen QBB

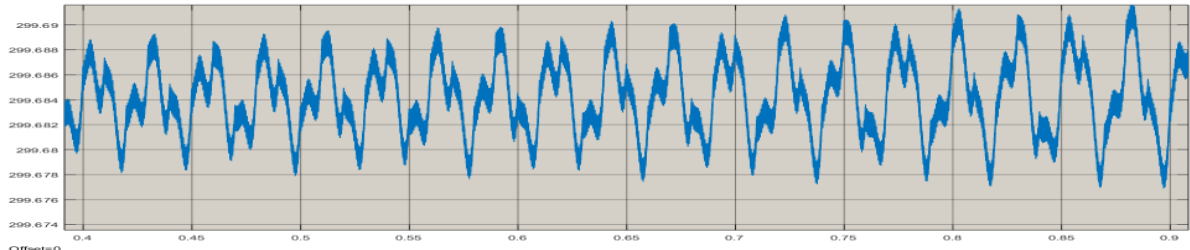
Quadratic Buck Boost	
Spesifikasi	Nilai
L ₁	5,12 mH
L ₂	10,24 mH
L ₃	4,12 mH
C ₁	1878 uF
C ₂	1614 uF
C ₃	86 uF

Tabel 1.2 Nilai Komponen CUK

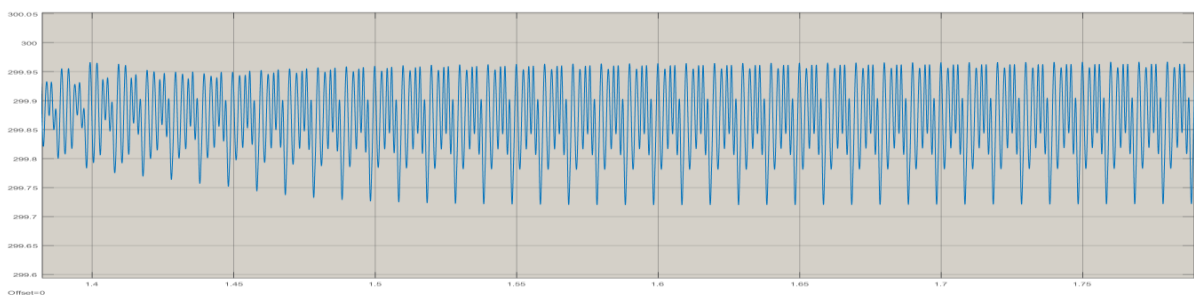
PFC CUK	
Spesifikasi	Nilai
L ₁	5,08 mH
L ₂	5,08 mH
C ₁	570 uF
C ₂	56 uF

Hasil Simulasi

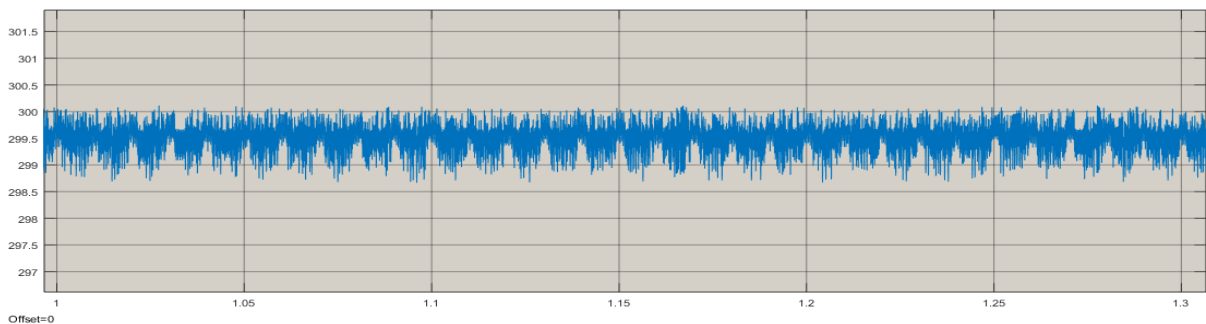
Simulasi menggunakan matlab versi 2015a dengan menyusun rangkaian dan nilai komponen sesuai dengan perhitungan dan sumber sumber yang telah dikutip, sehingga tegangan pada keluaran menampilkan sinyal keluaran sebagai berikut :



Gambar 6 Tegangan keluaran *Quadratic Buck Boost Converter*



Gambar 7 Tegangan keluaran *Switching Capacitor Buck Boost Converter*



Gambar 8 Tegangan Keluaran Cuk Converter

Selain tegangan keluaran, dan nilai komponen parameter perbandingan yang lain yang menjadi bobot utama adalah power factor pada sisi sumber, sehingga hasil simulai didapatkan sebagai berikut :

Converters	Power factor	Tegangan Keluaran (Rata-Rata)
<i>Switching Capacitor Buck Boost</i>	0.97	300 V
Cuk	0.96	299.4 V
<i>Quadratic Buck Boost Converter</i>	0.83	300 V

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang di lakukan dapat disimpulkan bahwa DC-DC Converter yang memiliki tingkat kecocokan paling tinggi terhadap semua parameter yang telah ditentukan adalah *Switching Capacitor Buck Boost Converter* dengan nilai *power factor* 0.99, rata rata tegangan keluaran bernilai 300 V dan nilai komponen hanya sedikit lebih besar. Dari perbandingan tersebut disimpulkan 2 dari 3 DC-DC Converter memenuhi standar IEC 61000-3-6 yaitu *Switching based capacitor buck boost* dan *CUK Converter* dengan nilai *Power factor* diatas 0.85.

Daftar Pustaka

- [1] Mummadi Veerachry, dan Vasudha Khubchandani “*Analysis, Design, and Control of Switching Capacitor based Buck-Boost Converter*” IEEE Transactions on Industry Application, vol.55 no. 3 2019.
- [2] Neng Zhang, Guidong Zhang, Khay Wai See, dan Bo Zhang “*Quadratic Buck-Boost Converter*” IEEE Transactions on Power Electronic, vol. 33 no. 5 2018.
- [3] Vashist Bist, dan Bhim Singh “*PFC CUK Converter fed BLDC Motor Drive*” IEEE Transactions on Power Electronic, vol. 30 no. 2, 2015.
- [4] *International Electrotechnical Commission(IEC) 61000-3-6.*
- [5] Ned Mohan, Tore M. Underland, William P Robins “*Converters, Applications and Design*” University of Minnesota Minneapolis, Minnesota 1996.
- [6] Narendra Kumar, Ashish R. Kulkarni “*Power Electronics Devices, Circuits, And Applications*” Delhi Technological University 2014.