

Rancang Bangun *Buck-Boost Converter* Sebagai Konverter Perbaikan Faktor Daya

Muhammad Dhia Ul Falah¹, Soeprpto², Rini Nur Hasanah³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : dhiaulfalah@gmail.com

ABSTRAK

Sebagian besar sumber listrik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari berasal dari sumber jala-jala PLN. Sumber jala-jala listrik ini digunakan untuk mencatu beban listrik yang beraneka ragam. Karena beban yang bermacam-macam yang ditanggung oleh sumber jala-jala, maka faktor daya yang dihasilkan akan menjadi rendah. Untuk mengatasi faktor daya yang rendah, perlu dilakukan suatu upaya perbaikan faktor daya. Pada umumnya, perbaikan faktor daya dilakukan dengan menggunakan kapasitor *bank* yang dipasang secara paralel dengan beban. Namun seiring berkembangnya konverter elektronika daya, maka perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan menggunakan konverter elektronika daya. Salah satu konverter elektronika daya yang dapat digunakan untuk perbaikan faktor daya yaitu *buck-boost converter*. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat membuat *buck-boost converter* yang dapat digunakan untuk perbaikan faktor daya sehingga faktor daya yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian keseluruhan sistem sebanyak dua kali. Pengujian yang pertama yaitu pengujian tanpa menggunakan *buck-boost converter* dan pengujian yang kedua yaitu pengujian dengan menggunakan *buck-boost converter*. Hasil kedua pengujian tersebut akan dibandingkan dan selanjutnya akan dianalisis serta diambil kesimpulan dari kedua pengujian tersebut. Dari hasil pengujian, didapatkan perbaikan faktor daya sebesar 0,14 dan kompensasi daya reaktif sebesar 27,4014 VAR.

Kata kunci— daya, faktor daya, perbaikan faktor daya, *buck-boost converter*

ABSTRACT

Most of the power source used in everyday life comes from sources PLN net. The power sources of PLN are used for diverse electrical loads. Because of the complexity of the load on the power sources of PLN, the power factor will be low. To solving the low power factor, there should be a power factor correction. Generally, the power factor correction can be made by installing a capacitor bank in parallel with the load. However with the development of power electronics converters, the power factor correction can be made by using a power electronics converters. One of the power electronics converter that can be used for power factor correction is a *buck-boost converter*. The *buck-boost converter* is used as power factor correction converter, can improve the power factor and also reduce the total pf reactive power at the electrical system. The purpose of this research is to develop a *buck-boost converter* that can be used for power factor correction so the power factor will be increase. In this study, the testing of the totality system is twice. The first testing is the test without using a *buck-boost converter* and the second testing is the test by using a *buck-boost converter*. The results of both testing will be compared and then be analyzed and taken a conclusion of both testing. From the test results, obtained the power factor correction is 0.14 and the reactive power compensation is 27.4014 VAR.

Keyword— power, power factor, power factor correction, *buck-boost converter*

I. PENDAHULUAN

Pada penggunaan peralatan listrik yang kompleks dengan beban induktif dan kapasitif yang tinggi, akan menghasilkan faktor daya yang rendah. Faktor daya yang rendah yang bernilai $< 0,85$ baik lagging maupun leading.

Pada umumnya, perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan cara memasang kapasitor bank secara paralel dengan beban sebagai kompensator

daya reaktif sehingga tegangan pada beban tetap tidak berubah namun daya reaktif Q akan turun (Mohamad Ramdhani, 2008). Selain dengan cara menambah kapasitor yang dipasang secara paralel, terdapat cara yang masih jarang dipakai untuk memperbaiki faktor daya yaitu dengan menggunakan konverter elektronika daya. Salah satu konverter elektronika daya yang dapat digunakan untuk perbaikan faktor daya adalah *Buck-Boost*. Atas dasar tersebut, maka penulis tertarik

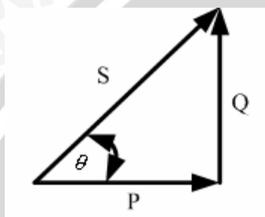
mengangkat tema tentang perbaikan faktor daya menggunakan Buck-Boost Converter.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daya dan Faktor Daya

Daya listrik merupakan perkalian antara tegangan yang diberikan dengan hasil arus yang mengalir. daya nyata P yaitu daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor yang merupakan daya yang terpakai atau terserap.

Daya reaktif Q adalah daya diserap oleh komponen pasif kapasitif dan induktif yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Sedangkan daya semu atau daya tampak S adalah resultan daya rata-rata dan daya reaktif. Hubungan antara daya nyata, daya reaktif, dan daya semu ditunjukkan pada gambar segitiga daya berikut ini.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Faktor daya atau power factor didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (P) dan daya semu (S), sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini.

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{rms} I_{rms} \cos \theta}{V_{rms} I_{rms}} = \cos \theta$$

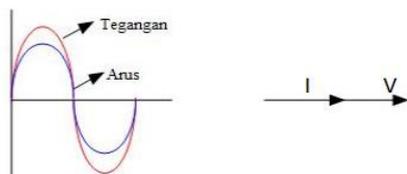
Ketika sumber dibebani beban nonlinier, kemungkinan besar bentuk arus sumber menjadi nonsinusoidal. Sehingga persamaan faktor daya pada persamaan diatas tidak berlaku pada beban nonlinier. Besar faktor daya jika sumber dibebani beban nonlinier yaitu:

$$PF = \frac{V_{rms} I_{1rms} \cos \theta}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{I_{1rms} \cos \theta}{I_{rms}} = K_d \cos \theta$$

B. Hubungan Fasa Arus dan Tegangan

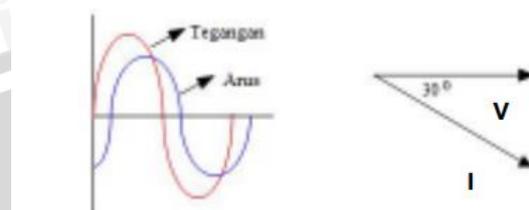
ada sebuah rangkaian listrik, terdapat tiga kemungkinan hubungan fasa antara arus dan tegangan, antara lain:

1. Arus dan tegangan mempunyai fasa yang sama atau arus sefasa dengan tegangan. Kondisi ini terjadi karena suatu rangkaian listrik dibebani beban yang bersifat resistif.



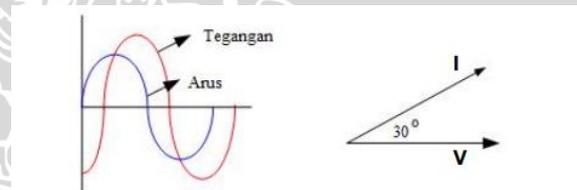
Gambar 2.2 Arus dan tegangan sefasa

2. Fasa arus tertinggal terhadap fasa tegangan. Ketika fasa tegangan sudah naik, fasa arus masih belum naik. Pada saat fasa tegangan sudah mencapai nilai tertentu, fasa arus baru akan naik. Kondisi ini terjadi karena suatu rangkaian listrik dibebani beban yang bersifat induktif.



Gambar 2.3 Arus tertinggal terhadap tegangan

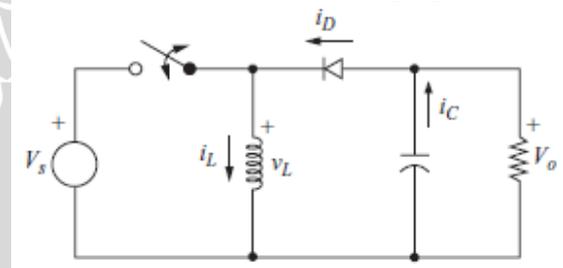
3. Fasa tegangan tertinggal terhadap fasa arus. Ketika fasa arus sudah naik, fasa tegangan masih belum naik. Pada saat fasa arus sudah mencapai nilai tertentu, fasa tegangan baru akan naik. Kondisi ini terjadi karena suatu rangkaian listrik dibebani beban yang bersifat kapasitif.



Gambar 2.4 Tegangan tertinggal terhadap arus

C. Buck-Boost Converter

Buck-boost converter merupakan salah satu jenis DC-DC converter yang mempunyai sifat dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan DC.



Gambar 2.5 Rangkaian buck-boost converter

Saat saklar tertutup, induktor akan mendapatkan arus dari sumber. Pada waktu yang sama, kapasitor akan membuang (discharge) dan menjadi sumber arus dan tegangan untuk beban. Ketika saklar terbuka, maka tegangan masukan akan terputus. Sehingga tidak ada arus yang mengalir pada induktor. Sedangkan dioda akan dibias maju. Induktor akan menyuplai (charge) kapasitor dan beban. Sehingga, ketika saklar ON, maka beban akan

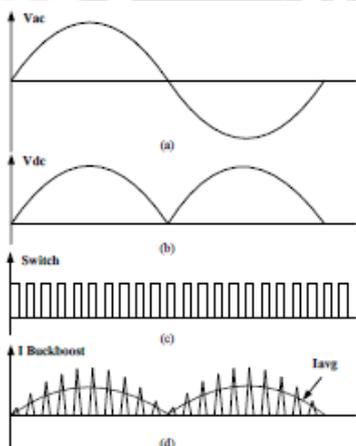
disuplai oleh kapasitor dan saat saklar OFF beban akan disuplai oleh induktor.

Buck-boost converter dapat dioperasikan dalam dua mode, yaitu *buck-boost converter Continuous Conduction Mode (CCM)* dan *buck-boost converter Discontinuous Conduction Mode (DCM)*.

Buck-boost converter Discontinuous Conduction Mode (DCM) mempunyai ciri-ciri yaitu arus pada induktor akan menjadi nol pada setiap siklus *switching*. Pada mode diskontinyu, mempunyai tiga keadaan selama satu periode siklus *switching* yang menentang dua keadaan dari mode kontinyu.

D. Perbaikan Faktor Daya

Agar dapat digunakan sebagai konverter perbaikan faktor daya, maka *buck-boost converter* harus dioperasikan pada mode diskontinyu (*Discontinuous Conduction Mode / DCM*).



Gambar 2.6 (a) Tegangan sumber jala-jala (b) Tegangan penyearah (c) Switching buck-boost Converter (d) Arus buck-boost hasil switching

Pada gambar 2.12 (a) menunjukkan gambar gelombang tegangan masukan yang sinusoida. Tegangan masukan sinusoida akan disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh satu fasa, sehingga tegangan yang dihasilkan akan menjadi tegangan DC yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.12 (b). Pada gambar 2.12 (c) merupakan proses pensaklaran atau *switching* pada *buck-boost converter* pada operasi diskontinyu. Proses pensaklaran atau *switching buck-boost converter*, dilakukan dengan cara mengatur *duty cycle buck-boost converter*. Pengaturan *duty cycle* ini bertujuan untuk mengatur lama waktu saklar konduksi (T_{ON}) terhadap periode saklar T. Pengaturan *duty cycle* ini dilakukan dengan mengatur PWM (*Pulse Width Modulation*). Semakin tinggi PWM yang diatur, maka *duty cycle* akan semakin besar dan T_{ON} saklar akan semakin lama.

Akibat proses *switching buck-boost converter* ini, maka akan didapatkan arus pada *buck-boost converter* menjadi tercacah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 (d). Gelombang yang tercacah tersebut akan menyerupai gelombang tegangan V_{DC} .

Gelombang arus yang didapat dari *buck-boost converter* merupakan gelombang arus DC dan apabila berada pada sisi jala-jala, maka gelombang arus akan sefasa dengan gelombang tegangan. Gelombang arus yang sefasa dengan gelombang tegangan akan menyebabkan faktor daya menjadi naik dan mendekati nilai 1.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini terangkum dalam diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram metode alir penelitian

IV. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Perancangan Alat

4.1.1 Perancangan Program PWM Arduino

Untuk membentuk sinyal switching PWM seperti pada gambar 4.1 diperlukan ICR sebagai nilai TOP sinyal dan OCR sebagai nilai perbandingan atau komparator dari ICR. Nilai ICR digunakan untuk mengatur frekuensi sinyal keluaran PWM, sedangkan OCR digunakan untuk mengatur *duty cycle* pada sinyal PWM. Untuk menghitung frekuensi sinyal PWM yang diinginkan, maka digunakan persamaan berikut:

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot (1 + TOP)}$$

Dimana:

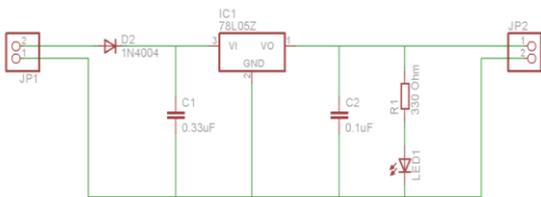
- $f_{OCnxPWM}$ = Frekuensi yang diinginkan untuk membangkitkan sinyal PWM
- $f_{clk_I/O}$ = Frekuensi clock pada mikrokontroller yang digunakan
- N = Prescaling

TOP = Nilai ICR

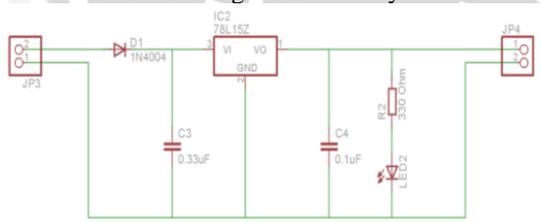
Frekuensi yang digunakan untuk pemicuan IGBT yaitu sebesar 22,5 KHz, sedangkan untuk frekuensi clock pada mikrokontroller sebesar 16.000 MHz, dan nilai prescaling sebesar 1. Sehingga didapat nilai TOP sebesar 711,1111. Sedangkan untuk mengatur *duty cycle*, digunakan nilai OCR1 yang berubah-ubah, yang nilainya ditentukan dari persamaan: $OCR1 = ADC * (711,1111 / 1023)$.

4.1.2 Perancangan Catu Daya

Rangkaian catu daya 5 Volt menggunakan IC regulator LM7805, sedangkan untuk rangkaian catu daya 15 Volt menggunakan IC regulator LM7815. Rangkaian catu daya 5 Volt dan 15 Volt membutuhkan komponen tambahan berupa kapasitor filter sebesar 0,33 uF dan 0,1 uF yang sesuai dengan application note LM7805.



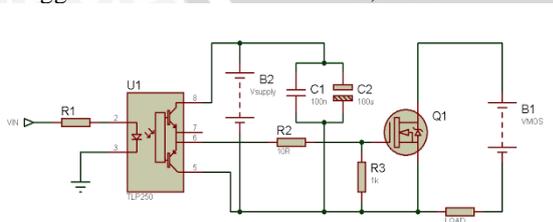
Gambar 4.1 Rangkaian catu daya 5 Volt



Gambar 4.2 Rangkaian catu daya 15 Volt

4.1.3 Perancangan Driver IGBT

Pada perancangan driver ini, digunakan IC TLP250. IC TLP250 ini merupakan IC driver MOSFET/IGBT yang telah dilengkapi dengan rangkaian optocoupler. Karena IC TLP250 ini merupakan IC driver MOSFET/IGBT sekaligus IC optocoupler, maka frekuensi *switching* yang mampu dihasilkan dari IC ini juga terbatas. Pada perancangan rangkaian driver IC TLP250 ini menggunakan frekuensi sebesar 22,5 KHz.



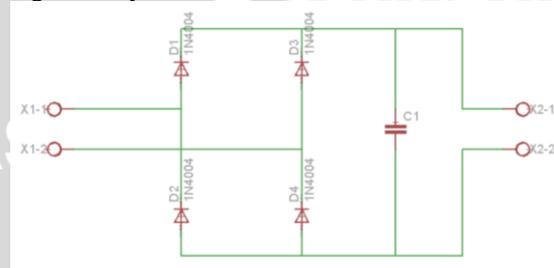
Gambar 4.3 Rangkaian Driver TLP250

Untuk merancang rangkaian driver TLP250, dibutuhkan kapasitor sebesar 0,1 uF. Penggunaan kapasitor berguna sebagai *bypass capacitor*. Kapasitor dipasang parallel antara pin 8 (pin Vcc) dan pin 5 (pin GND). Kapasitor ini berguna untuk menstabilkan operasi dari penguat tegangan pada IC

TLP250. Nilai resistor yang dipasang pada *gate* MOSFET tidak mempunyai ketentuan khusus, akan tetapi pada perancangan ini digunakan resistor sebesar 10 Ohm.

4.1.4 Perancangan Full Wave Rectifier 1 Fasa

Rectifier 1 fasa digunakan untuk menyearahkan gelombang tegangan yang berupa tegangan bolak-balik (AC) 1 fasa menjadi keluaran tegangan DC tidak murni. Pada perancangan *full wave rectifier* 1 fasa ini, digunakan empat buah dioda. Dioda yang digunakan yaitu dioda 6A100.



Gambar 4.4 Full Wave Rectifier 1 Fasa

Penggunaan kapasitor yang dipasang secara parallel bertujuan sebagai filter tapis pada gelombang tegangan keluaran *rectifier* 1 fasa sehingga gelombang tegangan keluaran menjadi lebih rata. Perhitungan untuk besar kapasitor yang digunakan yaitu

$$C = \frac{1}{2fR \left(\frac{\Delta V_o}{V_m} \right)}$$

Dengan parameter yang telah ditentukan sebagai berikut:

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$R = 100 \text{ Ohm}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_m} = 5 \%$$

maka, nilai kapasitor filter untuk *full wave rectifier* 1 fasa didapat sebesar:

$$C = \frac{1}{2 \times 50 \times 100 \times 0,05}$$

$$C = 2000 \text{ uF}$$

4.1.5 Perancangan Buck-Boost Converter

Parameter awal yang diketahui yaitu:

$$V_{IN} = 198,17 \text{ Volt}$$

$$V_{OUT \text{ MIN}} = 100 \text{ Volt}$$

$$V_{OUT \text{ MAX}} = 300 \text{ Volt}$$

$$I_{OUT} = 3 \text{ Ampere}$$

$$\text{Frekuensi} = 22,5 \text{ KHz}$$

$$\text{Ripple tegangan} = 0,05$$

$$\text{Ripple arus} = 0,25$$

Penentuan *duty cycle* dan beban R adalah sebagai berikut.

$$D_{\text{min}} = \frac{V_{OUT \text{ MIN}}}{(V_{IN} + V_{OUT \text{ MIN}})} = 0,335$$

$$D_{\text{max}} = \frac{V_{OUT \text{ MAX}}}{(V_{IN} + V_{OUT \text{ MAX}})}$$



$$\begin{aligned}
 R_{min} &= 0,602 \\
 &= \frac{V_{OUT\ MIN}}{I_{OUT}} \\
 &= 33,33\ \text{Ohm} \\
 R_{max} &= \frac{V_{OUT\ MAX}}{I_{OUT}} \\
 &= 100\ \text{Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan besar nilai induktor yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 L_{min} &= \frac{(1-D_{min})^2 R_{min}}{2f} \\
 &= 0,0003272 \\
 L_{max} &= \frac{(1-D_{max})^2 R_{max}}{2f} \\
 &= 0,0003516
 \end{aligned}$$

Pada mode diskontinyu (DCM), nilai induktor L harus memenuhi syarat yaitu $0,25 \times L_{max}$. Sehingga didapatkan nilai L *buck-boost converter* yaitu:

$$\begin{aligned}
 L &= 0,25 \times 0,0003516 \\
 &= 81,8\ \mu\text{H}
 \end{aligned}$$

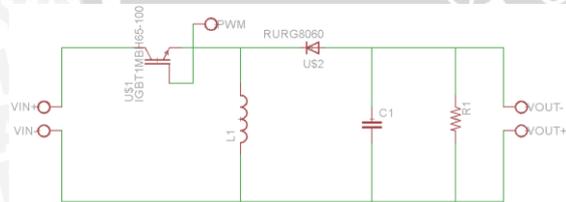
Perhitungan besar nilai kapasitor yaitu

$$C = \frac{V_{oD}}{\Delta V_{oR} f}$$

Dimana

$$\Delta V = V_o \times \text{ripple tegangan}$$

Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai kapasitor minimal dan kapasitor maksimal yaitu sebesar 5,3529 μF dan 8,943 μF . Dalam perancangan ini, digunakan nilai kapasitor maksimal karena dengan menggunakan nilai kapasitor maksimal maka nilai ripple tegangan pada tegangan keluaran akan semakin kecil. IGBT yang digunakan yaitu IGBT 1MBH65-100. Sedangkan dioda yang digunakan pada perancangan ini yaitu dioda *fast switching* RURG8060.



Gambar 4.5 Rangkaian *buck-boost converter*

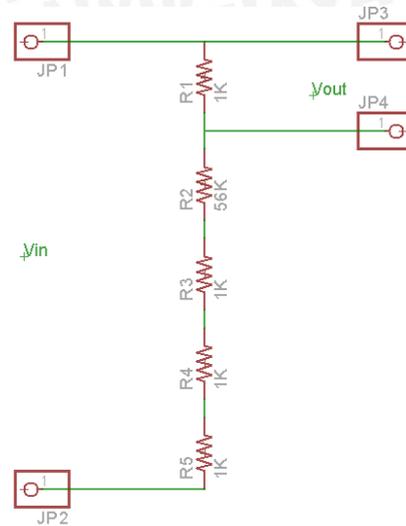
4.1.6 Perancangan Sensor tegangan

Sensor tegangan digunakan yaitu berupa rangkaian pembagi tegangan. Untuk merancang rangkaian pembagi tegangan ini, digunakan persamaan pembagi tegangan. Berikut adalah persamaan pembagi tegangan

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Nilai tegangan masukan (V_{in}) yaitu sebesar 300 volt. Sedangkan nilai tegangan keluaran (V_{out}) sebesar 5 volt. Nilai R_1 ditentukan sebesar 1 Kohm. Dari persamaan pembagi tegangan di atas, maka didapatkan

$$\begin{aligned}
 5 &= \frac{1000}{1000 + R_2} \times 300 \\
 R_2 &= \left(\frac{1000}{5} \times 300 \right) - 1000 \\
 R_2 &= 59000
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6 Rangkaian sensor tegangan

Resistor yang digunakan harus tahan terhadap efek panas dari arus yang melewati resistor tersebut. Oleh karena itu diperlukan perhitungan arus yang mengalir melewati resistor tersebut.

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{V}{R_1 + R_2} \\
 &= 0,005\ \text{A}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan arus di atas, maka dapat diketahui besar daya resistor yang dibutuhkan

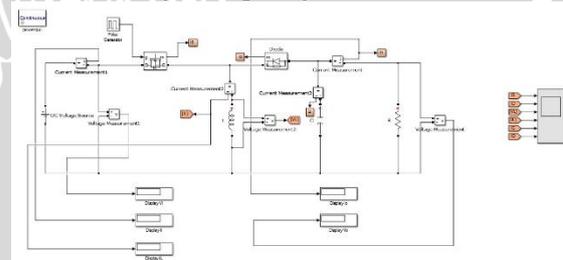
$$\begin{aligned}
 P &= i^2 \times R \\
 &= 1,5\ \text{Watt}
 \end{aligned}$$

Nilai daya pada resistor R_1 dan R_2 harus lebih besar dari 1,5 Watt.

4.2 Simulasi

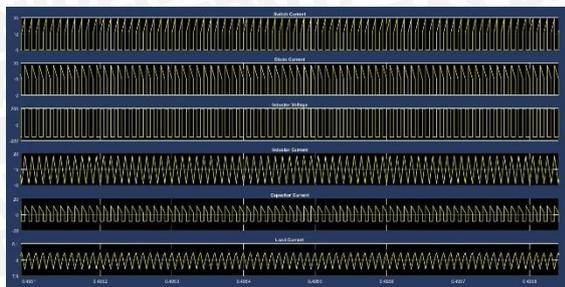
4.2.1 Simulasi Buck-Boost Converter

Simulasi ini dilakukan dengan cara memberi tegangan sumber DC konstan 198 V dan resistansi beban konstan 100 Ω . Selanjutnya *duty cycle* diubah dengan berbagai macam nilai mulai dari 30 % - 60 %. Rangkaian simulasi *buck-boost converter* pada *software* simulink Matlab R2015a ditunjukkan pada gambar 4.7. Sedangkan gambar gelombang hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.7 Rangkaian simulasi *buck-boost converter*





Gambar 4.8 Gelombang hasil simulasi buck-boost converter

Hasil simulasi dengan berbagai perubahan *dutycycle* ditunjukkan pada tabel 4.1. Sedangkan perbandingan tegangan *buck-boost converter* hasil simulasi dengan tegangan keluaran *buck-boost converter* secara teori ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Buck-Boost Converter

D	li	IL	Io	Vo
30	0,0028	4,022	0,8161	81,61
35	0,00299	5,06	1,011	101,1
40	0,00323	5,603	1,247	124,7
45	0,00355	6,226	1,57	157
50	0,004	9,336	2,022	202,2
55	0,00459	19,26	2,607	260,7
60	0,00509	20,1	3,101	310,1

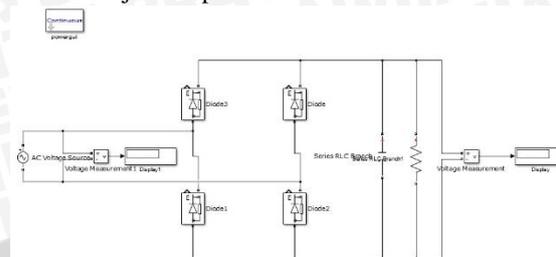
Tabel 4.2 Perbandingan Tegangan Buck-Boost Converter Hasil Simulasi dengan Tegangan Keluaran Buck-Boost Converter Secara Teori

D	Vo Teori	Vo Simulasi	Error
30	84,85714	81,61	0,038266
35	106,6154	101,1	0,051732
40	132	124,7	0,055303
45	162	157	0,030864
50	198	202,2	4,2
55	242	260,7	18,7
60	297	310,1	13,1
Error rata-rata			5,168024

4.2.2 Simulasi Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

Simulasi rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dari rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa yang telah dirancang sebelumnya. Gambar rangkaian simulasi penyearah gelombang penuh 1 fasa ditunjukkan pada gambar 4.9. sedangkan hasil perbandingan antara tegangan keluaran penyearah

gelombang penuh 1 fasa pada simulasi dan secara teori ditunjukkan pada tabel 4.3.



Gambar 4.9 Rangkaian simulasi penyearah gelombang penuh 1 fasa

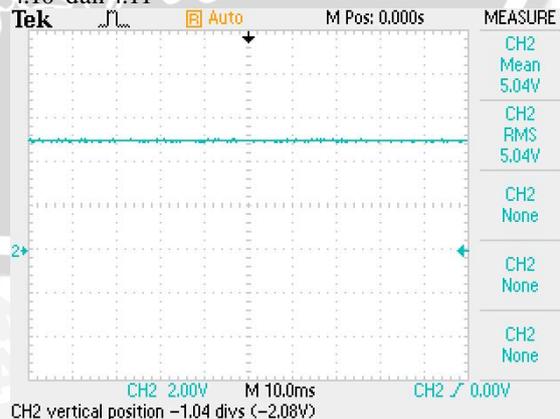
Tabel 4.3 Perbandingan Tegangan Keluaran Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa Hasil Simulasi dan secara teori

Vin (V)	Vo Teori (V)	Vo Simulasi (V)	Error (%)
150	135,1159454	132,4	0,020101
160	144,1236751	139,3	0,033469
170	153,1314048	148	0,03351
180	162,1391345	157,3	0,029846
190	171,1468642	167,8	0,019556
200	180,1545939	177,2	0,0164
210	189,1623236	186,9	0,01196
220	198,1700533	196	0,01095
Error rata-rata			0,035083

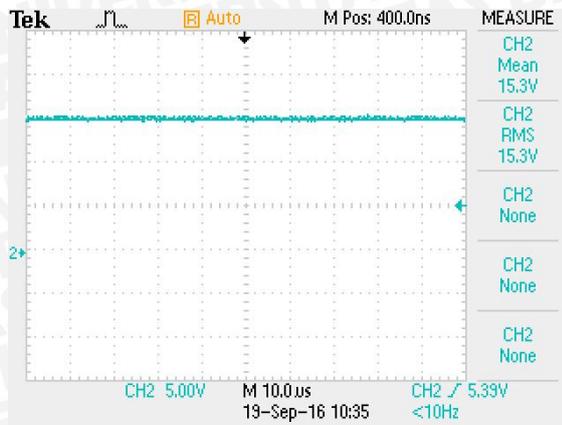
4.3 Pengujian Alat

4.3.1 Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan yang dihasilkan dari rangkaian catu daya. Hasil gelombang keluaran catu daya 5 volt dan 10 volt ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11



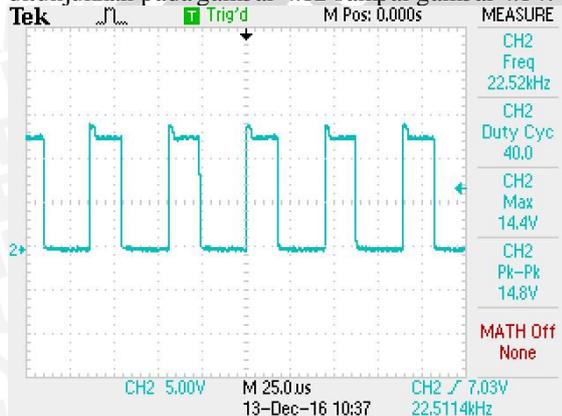
Gambar 4.10 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 5 Volt



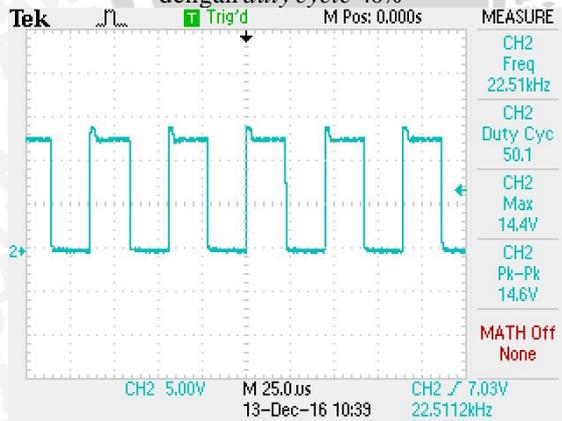
Gambar 4.11 Gelombang keluaran rangkaian catu daya 15 Volt

4.3.2 Pengujian Rangkaian Driver

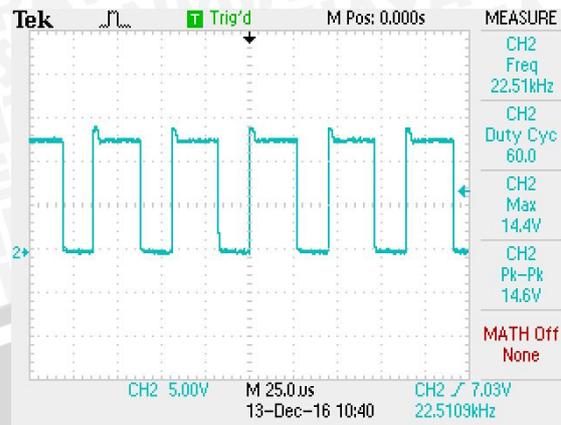
Pengujian rangkaian *driver* ini bertujuan untuk melihat gelombang keluaran yang dihasilkan dari IC *driver* TLP250. Hasil gelombang keluaran dari *driver* TLP250 dengan berbagai variasi *duty cycle* ditunjukkan pada gambar 4.12 sampai gambar 4.14.



Gambar 4.12 Gelombang keluaran *driver* TLP250 dengan *duty cycle* 40%



Gambar 4.13 Gelombang keluaran *driver* TLP250 dengan *duty cycle* 50%



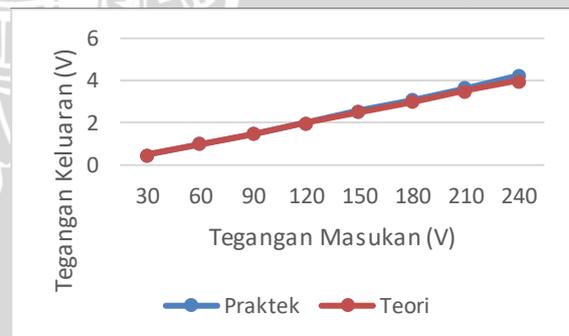
Gambar 4.14 Gelombang keluaran *driver* TLP250 dengan *duty cycle* 60%

4.3.3 Pengujian Sensor Tegangan

Tujuan dari pengujian sensor tegangan adalah untuk mengetahui performansi dan kemampuan dari sensor tegangan yang telah dibuat. Hasil pengujian dari sensor tegangan ditunjukkan dari tabel 4.4 dan gambar grafik 4.15.

Tabel 4.4 Hasil pengujian sensor tegangan

Vin (V)	Vout (V)		Error (%)
	Pengujian	Teori	
30	0,494	0,5	0,012
60	0,991	1	0,009
90	1,499	1,5	0,000667
120	2,008	2	0,004
150	2,543	2,5	0,0172
180	3,087	3	0,029
210	3,653	3,5	0,043714
240	4,23	4	0,0575
Error rata-rata			0,021635



Gambar 4.15 Grafik hasil pengujian sensor tegangan

4.3.4 Pengujian Full Wave Rectifier 1 Fasa

Pengujian *full wave rectifier* 1 fasa ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan keluaran yang didapat dari proses penyearahan gelombang tegangan AC. Hasil pengujian dari rangkaian *full wave rectifier* 1 fasa ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian *full wave rectifier* 1 fasa

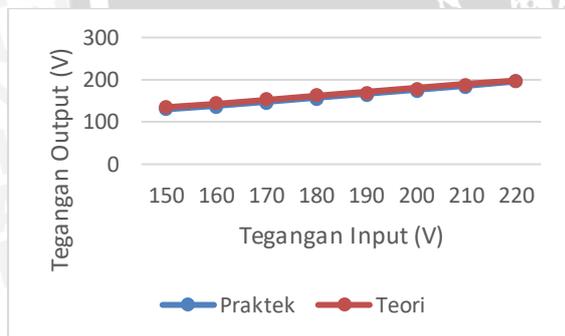
Vin (V)	Vo AV (V)	Vo RMS (V)
---------	-----------	------------

150	130	143
160	137	154
170	146	165
180	155	175
190	165	185
200	175	195
210	184	205
220	196	216

Perbandingan antara tegangan keluaran *full wave rectifier* 1 fasa secara teori dan praktek ditunjukkan pada tabel 4.6 dan gambar grafik 4.16 berikut ini.

Tabel 4.6 Perbandingan tegangan keluaran *full wave rectifier* 1 fasa secara teori dan praktek

Vin	VoAV Praktek	VoAV Teori	Error (%)
150	130	135,1159454	0,037863
160	137	144,1236751	0,049428
170	146	153,1314048	0,04657
180	155	162,1391345	0,044031
190	165	171,1468642	0,035916
200	175	180,1545939	0,028612
210	184	189,1623236	0,02729
220	196	198,1700533	0,01095
Error rata-rata			0,035083



Gambar 4.16 Grafik perbandingan tegangan keluaran *full wave rectifier* 1 fasa secara teori dan praktek

4.3.5 Pengujian Buck-Boost Converter

Pengujian *buck-boost converter* ini bertujuan untuk mengetahui performansi dan kemampuan dari rangkaian *buck-boost converter* yang telah dirancang dan dibuat. Hasil pengujian dari rangkaian *buck-boost converter* ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 Hasil pengujian *buck-boost converter*

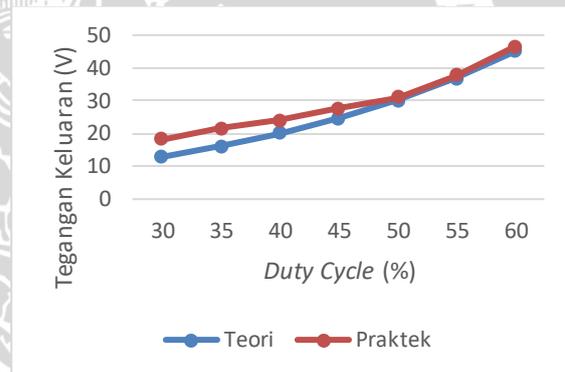
D (%)	Ii (A)	Vo (V)	Io (A)
30	0,38	18,1	0,33
35	0,5	21,5	0,39
40	0,65	24	0,44

45	0,84	27,5	0,5
50	1,1	31	0,56
55	1,3	37,5	0,63
60	1,7	46,5	0,73

Perbandingan antara tegangan keluaran *buck-boost converter* secara teori dan praktek ditunjukkan pada tabel 4.8 serta gambar 4.17.

Tabel 4.8 Perbandingan tegangan keluaran *buck-boost converter* secara teori dan praktek

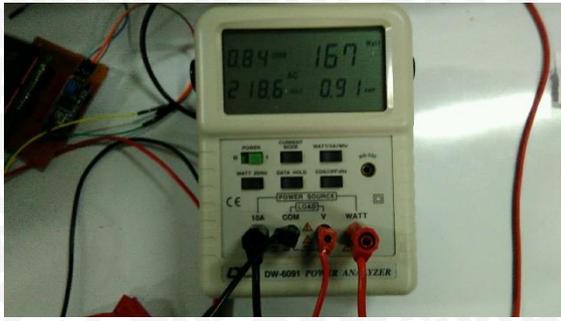
D (%)	Vo (V)	Vo Praktek (V)	Error (%)
30	12,85714	18,1	0,406
35	16,15385	21,5	0,330
40	20	24	0,200
45	24,54545	27,5	0,120
50	30	31	0,033
55	36,66667	37,5	0,022
60	45	46,5	0,033
Error			0,128452



Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan keluaran *buck-boost converter* secara teori dan praktek

4.3.6 Pengujian Sistem keseluruhan Tanpa Rangkaian Buck-Boost Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar daya nyata, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya pada sumber tegangan PLN 220 V. Hasil pengujian sistem tanpa penggunaan rangkaian *buck-boost converter* ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hasil pengujian sistem tanpa buck-boost converter

Dari hasil tersebut, didapatkan besar daya nyata P sebesar 167 Watt dan besar faktor daya $\cos \phi$ sebesar 0,84. Dari hasil tersebut, akan didapatkan nilai daya semu S sebesar:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$0,84 = \frac{167}{S}$$

$$S = 167 \times 0,84$$

$$S = 140,28 \text{ VA}$$

Setelah diketahui nilai daya semu sebesar 140,28 VA, maka akan diketahui nilai daya reaktif Q yang berpengaruh pada besar faktor daya. Nilai daya reaktif Q yang diperoleh yaitu:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{198,8095^2 - 167^2}$$

$$= \sqrt{11636,2172}$$

$$= 107,8712 \text{ VAR}$$

Perhitungan secara teori dengan tegangan 220 V dan beban resistor 200 Ohm serta induktor 400 mH maka diperoleh impedansi sebesar:

$$Z = R + jX_L$$

$$= R + j(2 \pi f L)$$

$$= 200 + j(125,6)$$

$$= 236,168075 \angle 32,1288 \text{ Ohm}$$

Setelah diketahui impedansi beban, maka besar arus adalah:

$$I_z = V / Z$$

$$= 220 / (236,168075 \angle 32,1288)$$

$$= 0,9315 \text{ A}$$

Sedangkan besar daya nyata, daya reaktif, dan daya semu yaitu:

$$P = I^2 \times R$$

$$= 0,9315^2 \times 200$$

$$= 173,53845 \text{ Watt}$$

$$Q = I^2 \times X_L$$

$$= 0,9315^2 \times 125,6$$

$$= 108,9821 \text{ VAR}$$

$$S = I^2 \times Z$$

$$= 0,9315^2 \times 236,168075$$

$$= 204,9212 \text{ VA}$$

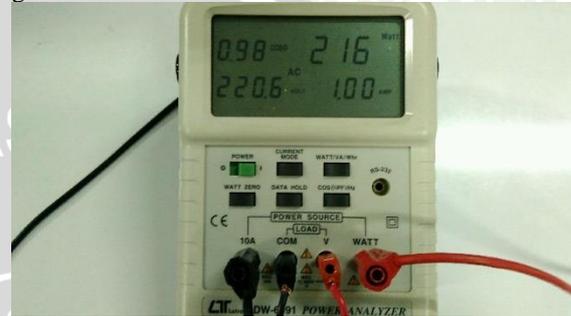
Sehingga faktor daya didapatkan:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$= 0,8468$$

4.3.7 Pengujian Sistem keseluruhan Tanpa Rangkaian Buck-Boost Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar daya nyata, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya pada sumber tegangan PLN 220 V setelah penggunaan rangkaian buck-boost converter. Setelah dilakukan pengujian, akan dibandingkan antara hasil pengujian tanpa penggunaan buck-boost converter dengan hasil pengujian menggunakan buck-boost converter. Hasil pengujian sistem tanpa penggunaan rangkaian buck-boost converter ditunjukkan pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Hasil pengujian sistem menggunakan buck-boost converter

Dari hasil tersebut, didapatkan besar daya nyata P sebesar 216 Watt dan besar faktor daya $\cos \phi$ sebesar 0,98. Dari hasil tersebut, akan didapatkan nilai daya semu S sebesar:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$0,98 = \frac{216}{S}$$

$$S = \frac{216}{0,98}$$

$$S = 220,4081 \text{ VA}$$

Setelah diketahui nilai daya semu sebesar 140,28 VA, maka akan diketahui nilai daya reaktif Q yang berpengaruh pada besar faktor daya. Nilai daya reaktif Q yang diperoleh yaitu:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{220,4081^2 - 216^2}$$

$$= \sqrt{1923,73054}$$

$$= 43,8603 \text{ VAR}$$

Besar daya nyata, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya setelah penggunaan rangkaian buck-boost converter berturut-turut yaitu 216 Watt, 4,4081 VAR, 220,4081 VA, dan 0,98. Besar kompensasi daya reaktif setelah penggunaan rangkaian buck-boost converter pada sistem yaitu:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2$$

$$\Delta Q = 107,8712 - 43,8603$$

$$\Delta Q = 64,0109$$

Sedangkan perbaikan faktor daya setelah penggunaan rangkaian *buck-boost converter* pada sistem yaitu sebesar 0,14.

Tabel 4.9 daya nyata, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya antara sebelum penggunaan rangkaian *buck-boost converter* dan setelah penggunaan *buck-boost converter*

Parameter data	Tanpa <i>buck-boost converter</i>	Penggunaan <i>buck-boost converter</i>
Daya nyata (Watt)	167	216
Daya reaktif (VAR)	107,8712	43,8603
Daya semu (VA)	198,8095	220,4081
Faktor daya	0,84	0,98

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbaikan faktor daya Selain menggunakan kapasitor *bank* juga dapat dilakukan dengan menggunakan konverter elektronika daya. Salah satu konverter elektronika daya yang dapat digunakan untuk perbaikan faktor daya yaitu *buck-boost converter*,
2. Agar dapat digunakan sebagai konverter perbaikan faktor daya, maka *buck-boost converter* harus dioperasikan pada mode diskontinyu atau *Discontinuous Conduction Mode* (DCM). Hal yang harus diperhatikan pada *buck-boost converter* mode diskontinyu yaitu nilai induktor yang digunakan sebesar $0,25 \times L_{max}$.
3. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian perbaikan faktor daya menggunakan *buck-boost converter* dengan tegangan masukan sebesar 220 V dan beban R sebesar 200 Ohm dan beban L sebesar 400 mH. Dari hasil pengujian tersebut, didapatkan perbaikan faktor daya sebesar 0,14 dan kompensasi daya reaktif sebesar 27,4014 VAR.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

1. Pemilihan komponen pada *buck-boost converter*, *full wave rectifier* 1 fasa, dan sensor

tegangan diharapkan lebih memperhatikan nilai toleransi pada komponen agar error yang didapatkan bisa lebih kecil.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbandingan antara perbaikan faktor daya dengan menggunakan kapasitor *bank* dan penggunaan *buck-boost converter*.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang konverter jenis lain selain *buck-boost converter* dalam penggunaannya sebagai konverter perbaikan faktor daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anononim. (2016). *Arduino UNO & Genuino UNO*. <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>. (diakses 17 Februari 2016).
- Anononim. (2016). *Arduino UNO & Genuino UNO*. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>. (diakses 9 Maret 2016).
- Arifuz, Ahmad Z. (2014). Rancang Bangun Penyearah Satu Fasa Menggunakan Duple Series Buck-Boost Converter Untuk Perbaikan Faktor Daya. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Politeknik Negeri Surabaya.
- Hart, Daniel W. (2010). *Power Electronics*. India: Valparaiso University.
- Mismail, Budiono. (1995). *Rangkaian Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.
- Mahbub, Syed Tahmid (2013). *Using the TLP250 Isolated MOSFET Driver – Explanation and Example Circuits*. <http://tahmidmc.blogspot.co.id/>. (diakses 10 Oktober 2016).
- Pabla, AS. (1986). *Sistem Distribusi Daya Elektrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Pambudi, Singgih Anindita. (2015). Perbandingan Kinerja Rangkaian Perbaikan Faktor Daya Jenis Konverter BuckBoost Topologi Satu Tingkat dan Dua Tingkat dengan Beban Lampu Fluorescent. *TRANSMISI*, 17, (4), OKTOBER 2015, e-ISSN 2407–6422, 208.
- Ramdhani, Mohamad. (2008). *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Rashid, Muhammad H. (2001). *Power Electronics Handbook*. New Jersey: Prentice-Hall International.
- Rogers, Everett. (2002). *Understanding Buck-Boost Power Stages in Switch Mode Power Supplies*. United States of America: Texas Instrument.