

# Perbandingan Unjuk Kerja Model AC-DG Boost Converter, Half Bridge Converter, dan Voltage Source Converter Satu Phasa pada Rangkaian Penyearah Jembatan Berbeban Resistif (Comparative Performance of Single Phase AC-DC Boost Converter, Half Bridge Converter and Voltage Source Converter Model on Bridge Rectifier Circuit using Resistive Load)

*By Amirullah Amirullah*

# Perbandingan Unjuk Kerja Model AC-DC Boost Converter, Half Bridge Converter, dan Voltage Source Converter Satu Phasa pada Rangkaian Penyearah Jembatan Berbeban Resistif

(Comparative Performance of Single Phase AC-DC Boost Converter, Half Bridge Converter and Voltage Source Converter Model on Bridge Rectifier Circuit using Resistive Load)

**Amirullah**

Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya  
Jl. Ahmad Yani 114 Surabaya,  
E-mail: am9520012003@yahoo.com

## ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah membandingkan unjuk kerja tiga model rangkaian ac-dc boost converter pada rangkaian penyearah jembatan berbeban resistif. Tiga model rangkaian adalah ac-dc boost converter, half bridge converter, dan voltage source converter (VSC). Setiap rangkaian dimodelkan secara matematis dengan teknik kendali arus menggunakan pulse width modulation (PWM). Manfaat penelitian adalah memberikan kontribusi mengenai model rangkaian ac-dc boost converter satu phasa yang mampu menghasilkan unjuk kerja terbaik. Parameternya adalah; nilai perbaikan faktor daya, THD arus sumber, dan efisiensi jumlah peralatan semikonduktor sebelum dan sesudah dipasang rangkaian ac-dc boost converter satu phasa. Hasil penelitian adalah; (1) Pada perhitungan sampai dengan harmonika ke-11 diperoleh bahwa model rangkaian boost converter satu phasa menghasilkan THD arus input 0%. Nilai THD arus input hingga harmonika ganjil ke-11 pada model half bridge converter dan VSC converter masih relatif tinggi yaitu 44,306% dan 71,653%. Standar batas THD arus input sampai dengan deret harmonika tersebut nilainya antara 4% sampai dengan 15%. Dengan demikian di antara tiga jenis rangkaian, model rangkaian boost converter satu phasa sudah memenuhi persyaratan batas THD arus input sesuai Standar IEEE 519; (2) Model rangkaian boost converter menghasilkan faktor daya paling besar ( $pf = 1$ ) dan menghasilkan harmonika arus input paling kecil (THD = 0%). Sedangkan faktor daya paling kecil ( $pf = 0,779$ ) dan harmonika arus input paling besar (THD = 71,653%) dihasilkan rangkaian VSC converter; (3) Penggunaan model rangkaian penyearah jembatan menghasilkan faktor daya input rendah (0,442). Sedangkan penggunaan rangkaian boost converter satu phasa mampu menaikkan nilai faktor daya input menjadi 1,0. Dengan demikian penggunaan rangkaian ac-dc boost converter mampu memperbaiki faktor daya sistem. Penelitian menggunakan rangkaian simulasi dengan perangkat lunak Power Simulator (PSim) versi 4.1.

**Kata kunci:** AC-DC Boost Converter, Half Converter, Voltage Source Converter, Total Harmonic Distortion, Power Factor Correction, Pulse Width Modulation, Standar IEEE 519

## ABSTRACT

Objective of research is to compare the performance of the three model series ac-dc boost converter on bridge rectifier circuit using resistive load. Three models of the circuit is ac-dc boost converter, half bridge converter, and voltage source converter (VSC). Each series is modeled mathematically with current control technique using a pulse width modulation (PWM). Benefits of the research is to contribute on a model series ac-dc boost converter capable of generating a phase best performance. Parameters are: the improvement of power factor, the source current THD, and efficiency of semiconductor equipment installed a series of before and after the ac-dc boost converter single phase. The results are: (1) In the calculation up to the 11th harmonic to obtain the circuit model of boost converter input current THD phase equal as 0%. Rated input current THD odd harmonics up to 11th on the model of half-bridge converter and the VSC converter is still relatively high at 44.306% and 71.653%. Standard limits the input current THD harmonics up to the series is worth between 4% to 15%. Thus among the three types of circuit, the circuit model of one phase boost converter is compliant with the input current THD limit corresponding IEEE Standard 519, (2) Model circuit boost converter produces the greatest power factor ( $pf = 1$ ) and produces the smallest input current harmonics (THD = 0%). While most small power factor ( $pf = 0.779$ ) and the largest input current harmonics (THD = 71.653%) generated a series VSC converter, (3) The use of models of the bridge rectifier circuit produces a low input power factor (0.442). While the use of a series of single phase boost converter capable of increasing the value of the input power factor to 1.0. Thus the use of a series of ac-dc boost converter capable of improving system power factor value. This research using a series simulated with the software Power Simulator (PSIM) version 4.1.

**Key words:** AC-DC Boost Converter, Half Converter, Voltage Source Converter, Total Harmonic Distortion, Power Factor Correction, Pulse Width Modulation, Standar IEEE 519

## PENDAHULUAN

Beberapa konverter *switch mode* ac-dc satu phasa banyak digunakan sebagai rangkaian muka-belakang penyearah pada berbagai aplikasi karena sejumlah keuntungan yaitu mempunyai nilai efisiensi dan kerapatan daya tinggi. Tetapi konverter klasik tersebut, dapat menghasilkan arus masukan ac non-sinusoida mendahului, mempunyai faktor daya masukan rendah dan dapat menginjeksikan harmonika ke dalam sistem [1]. Penelitian berkaitan dengan peningkatan kualitas daya peralatan antarmuka listrik saat ini mulai dikembangkan terutama berkaitan dengan ketatnya regulasi kualitas daya listrik dan batasan *total harmonic distortion* (THD) arus masukan [15] yang dikehendaki seperti telah ditentukan oleh Standar IEC 61000-3-2 dan IEEE 519-1992 [2]. Langkah ini mendorong penelitian lebih lanjut tentang beberapa teknik untuk meningkatkan kualitas daya listrik.

Berbagai penelitian menggunakan teknik aktif dan pasif untuk bentuk gelombang arus masukan sudah menjadi sesuatu hal penting yang tidak bisa dipisahkan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Filter pasif mempunyai sejumlah kekurangan yaitu; kompensasi tetap, ukuran besar dan masalah resonansi, sehingga menyebabkan penggunaan filter aktif dibatasi akibat penambahan biaya dan teknik pengendalian yang relatif lebih kompleks [3]. Penelitian mengenai koreksi faktor daya konverter *switch mode* ac-dc telah dibagi menjadi dua jenis topologi, yaitu *boost* dan *buck* [1]. Keuntungan penggunaan topologi jenis *buck* adalah konverter dapat menyediakan tegangan keluaran variabel yang lebih rendah dibandingkan tegangan masukan. Tetapi ketika tegangan masukan sesaat di bawah tegangan keluaran, arus turun menjadi nol dan menghasilkan peningkatan THD arus masukan yang signifikan [4].

Perancangan beberapa filter masukan untuk peningkatan faktor daya pada *buck converter* sangat kompleks dan hanya menyediakan peningkatan kualitas arus masukan yang terbatas. Di sisi lain, jenis *boost converter* menghasilkan tegangan dc yang lebih tinggi dibanding tegangan masukan ac. Tetapi, arus masukan pada konverter tersebut mengalir melalui induktor dan oleh karena itu dapat dengan mudah dibentuk gelombang aktif dengan kendali mode arus yang sesuai. Di samping itu, *boost converter* mampu menyediakan pengaturan tegangan keluaran dc pada faktor daya masukan satu (*unity*) dan mereduksi THD arus masukan ac. Beberapa konverter tersebut telah ditemukan dan digunakan pada aplikasi yang tersebar luas karena mempunyai sejumlah keuntungan, yaitu; efisiensi tinggi, kerapatan daya tinggi, dan mampu meningkatkan kualitas daya pada masukan ac dan keluaran dc.

Konfigurasi rangkaian daya yang dikehendaki dari *boost converter* satu phasa yang adalah konverter *power factor correction* (PFC) yang dikenal paling ekonomis karena hanya terdiri dari penyearah jembatan

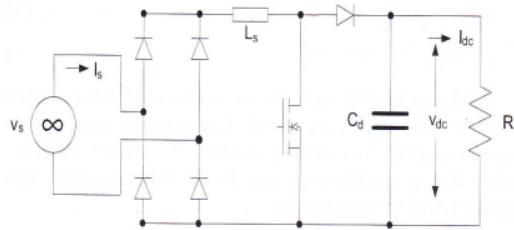
dioda dengan *step up dc-dc converter (chopper)* [5,6]. Beberapa permasalahan seperti nilai efisiensi rendah dan berkurangnya keandalan rangkaian tersebut telah didiskusikan pada penelitian-penelitian sebelumnya [7,8]. Beberapa topologi *semi-boost converter* menawarkan sejumlah keuntungan lebih dibanding topologi *boost* dasar, khususnya berkaitan dengan persyaratan pengurangan THD arus masukan, efisiensi, dan keandalan yang lebih tinggi. Topologi *half bridge converter* [9,10] memberikan sejumlah keuntungan dari segi efisiensi dan unjuk kerja pada beberapa aplikasi khusus. Selain itu, topologi *voltage source converter* (VSC) dengan kemampuan aliran daya dua arah [11,12], mampu diaplikasikan pada sejumlah penggerak menggunakan pengereman regeneratif, uninterruptible power supply (UPS), static VAR kompensator dan sistem penyimpanan energi pada batere.

Tujuan penelitian adalah membandingkan unjuk kerja tiga model rangkaian *ac-dc boost converter* pada rangkaian penyearah jembatan berbeban resistif. Model *ac-dc boost converter* satu phasa diperlukan untuk memperbaiki faktor daya atau *power factor corection (PFC)*, reduksi harmonika sekaligus menurunkan nilai THD sistem, dan meningkatkan efisiensi jumlah peralatan semikonduktor. Tiga model rangkaian adalah *ac-dc boost converter*, *half bridge converter*, dan *VSC converter*. Setiap rangkaian dimodelkan secara matematis dengan teknik kendali arus menggunakan *pulse width modulation (PWM)*. Aspek yang akan dikaji meliputi; nilai perbaikan faktor daya, THD arus sumber, dan efisiensi jumlah peralatan semikonduktor sebelum dan sesudah dipasang tiga rangkaian *ac-dc boost converter* satu phasa. Setiap rangkaian *ac-dc boost converter* satu phasa akan dimodelkan menggunakan rangkaian simulasi dengan bantuan perangkat lunak Power Simulator (PSim) versi 4.1. Hasil simulasi dari setiap rangkaian ac-dc boost converter akan digunakan sebagai landasan evaluasi unjuk kerja penggunaan tiga model *ac-dc boost converter* satu phasa. Parameternya antara lain: PFC, efisiensi jumlah penggunaan peralatan semikonduktor, THD arus sumber berdasarkan Standar IEEE 519.

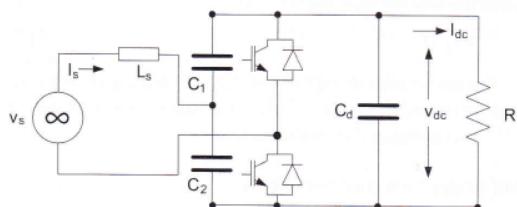
## MATERI

### Konfigurasi Rangkaian

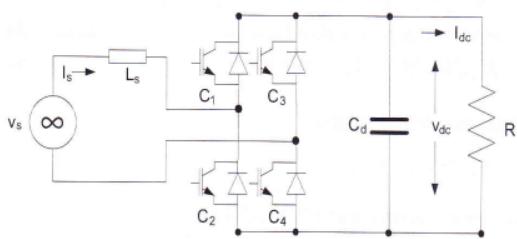
Tiga topologi PFC converter yang direkomendasikan pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 sampai dengan 3. *Boost converter* satu phasa menggunakan aliran daya satu arah ditunjukkan pada Gambar 1, diwujudkan melalui penyearah jembatan dioda satu phasa bertingkat menggunakan topologi *boost chopper*. Gambar 2 dan 3 berturut-turut menunjukkan *half bridge converter* dan *voltage source converter* berdasarkan pada topologi setengah jembatan dan jembatan penuh. Dua topologi PFC terakhir menggunakan aliran daya dua arah.



**Gambar 1.** Rangkaian *boost converter* satu phasa



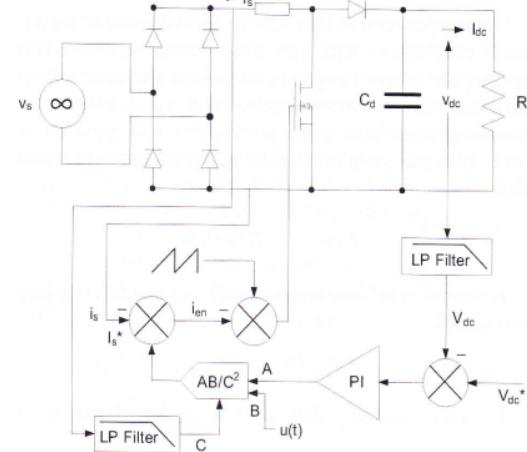
**Gambar 2.** Rangkaian *half bridge converter* satu phasa



**Gambar 3.** Rangkaian *VSC converter* satu phasa

### Skema Kendali

Tujuan skema rangkaian kendali *boost converter* adalah mengatur aliran daya dengan memastikan regulasi tegangan keluaran yang ketat sehingga diperoleh faktor daya masukan satu (*unity*). Struktur kendali bertingkat yang ditunjukkan dalam Gambar 6 paling banyak digunakan sebagai skema kendali konverter dan pada dasarnya filosofi kendali serupa digunakan pada semua topologi *boost converter* lainnya. Pada skema ini, pengatur tegangan keluaran, dibatasi pada suatu nilai aman, membentuk amplitudo arus referensi masukan. Amplitudo referensi ini kemudian dikalikan tegangan referensi masukan untuk mensinkronkan referensi dengan tegangan masukan, seperti yang diperlukan untuk pengoperasian faktor daya satu. Arus induktor dipaksa untuk mengikuti arus referensinya menggunakan pengendali arus, yang menghasilkan signal gate yang sesuai untuk peralatan-peralatan aktif.



**Gambar 4.** Rangkaian kendali *boost converter* satu phasa

Pemodelan Matematis *PFC Converter*

Usulan sistem PFC converter pada penelitian ini terdiri dari; sumber ac satu phasa, rangkaian konverter daya, dan skema rangkaian kendali. Pada bagian ini pemodelan persamaan dari beberapa komponen sistem konverter dirumuskan secara terpisah untuk mengembangkan model lengkap pada simulasi unjuk kerja setiap *converter*.

## Sistem Sumber

Pada kondisi-kondisi operasi normal sistem sumber dapat dimodelkan sebagai sebuah sumber tegangan sinusoidal dengan amplitudo  $V_m$  dan frekuensi  $f_s$ . Tegangan sesaat tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

Di mana:  $\omega = 2\pi f_s t$  rad/s listrik dan t adalah waktu sesaat.

Berdasarkan deteksi tegangan sumber, suatu tegangan referensi sinusoidal masukan  $u(t)$  diestimasikan untuk sejumlah topologi converter menggunakan induktor di sisi ac.

Nilai  $u(t)$  untuk sejumlah topologi konverter dengan induktor sisi dc diperoleh dari persamaan:

$$u(t) = |v_e(t)| / V_m \dots \quad (3)$$

### Pengendali Tegangan DC

Tujuan pengendali tegangan dc diuraikan sebelumnya. Suatu pengendali tegangan proportional integral (PI) dipilih pada loop tegangan untuk pengaturan secara ketat pada tegangan keluaran. Tegangan dc  $v_{dc}$  dideteksi dan dibandingkan dengan tegangan referensi  $v_{dc}^*$  yang tetap. Error tegangan yang dihasilkan  $v_{e(n)}$  pada sampling ke- $n$  adalah:

$$v_{e(n)} = v_{dc}^* - v_{dc(n)} \quad (4)$$

Keluaran pengatur tegangan PI  $v_{0(n)}$  pada sampling ke- $n$  adalah:

$$v_{0(n)} = v_{0(n-1)} + K_p(v_{e(n)} - v_{e(n-1)}) + K_i v_{e(n)} \quad (5)$$

Dengan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  adalah konstanta gain proporsional dan integral.  $v_{e(n-1)}$  adalah error pada sampling ke-(n-1). Keluaran dari pengendali  $v_{0(n)}$  setelah dibatasi pada nilai aman yang dikehendaki, diambil sebagai amplitudo arus sumber referensi A.

### Pengatur Arus PWM

Loop pengaturan arus diperlukan untuk pembentukan gelombang aktif arus masukan untuk mencapai faktor daya masukan satu dan mengurangi harmoni.

### Pembangkitan Sumber Arus Referensi

Tegangan referensi sinusoidal masukan B diperoleh dari sumber tegangan yang disensor dikalikan dengan amplitudo arus sumber referensi A dalam rangkaian multiplier untuk meningkatkan respons dinamis sistem konverter (Gambar 6). Hasil signalnya membentuk referensi arus masukan. Nilai sesaat arus referensi ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

$$i_s^* = AB/C^2 \quad (6)$$

### Pembentuk Gelombang Aktif Arus Masukan

Error arus induktor adalah selisih arus sumber referensi dan arus induktor ( $i_{en} = i_s^* - i_L$ ). Sinyal error ini diperbesar dan dibandingkan terhadap gelombang pembawa dengan frekuensi tetap untuk menghasilkan signal pemicu pada peralatan elektronika daya dari konverter. Algoritma switching PWM dipilih tergantung pada topologi masing-masing konverter.

### Pemodelan PFC Converter

Sejumlah konverter dimodelkan menggunakan dua persamaan deferensial non-linier orde pertama. Nilai dari persamaan-persamaan adalah sama dengan nilai komponen penyimpanan energi pada sistem.

### Boost Converter Satu Phasa

Boost converter dimodelkan menggunakan dua persamaan diferensial untuk arus induktor  $i_L$  dan tegangan kapasitor dc link  $v_{dc}$ .

$$p_{iL} = (v_d - v_p / L - r(i_L/L)) \dots \quad (7)$$

$$p_{vC} = (i_p - v_d / R) / C_d \dots \quad (8)$$

dengan  $p$  adalah operator deferensial ( $d/dt$ );  $r$  adalah tahanan induktor  $L$ ;  $v_d$  adalah tegangan saluran searah pada keluaran penyebar dioda;  $R$  adalah tahanan beban dan  $v_p$  adalah tegangan PWM melalui saklar dan didefinisikan sebagai berikut:

$$v_p = v_d(1 - S) \dots \quad (9)$$

$i_p$  adalah arus yang melalui dioda boost dan didefinisikan sebagai berikut:

$$i_p = i_L(1 - S) \dots \quad (10)$$

dengan  $S$  adalah signal switching yang diperoleh dari loop pengendalian arus. Nilainya adalah 1 (ON) dan 0 (OFF) tergantung dari status saklar.

### Half Bridge Converter Satu Phasa

Ada tiga model persamaan untuk menggambarkan model dari konverter ini yaitu:

$$p_{iL} = (v_s + v_{p1} - v_{p2} - r_L/L) \dots \quad (11)$$

$$p_{vC1} = \{i_{p1} + v_{dc}/R\} / C_1 \dots \quad (12)$$

$$p_{vC2} = -\{i_{p2} - (v_{dc}/R)\} / C_2 \dots \quad (13)$$

Tegangan dc link adalah:

$$v_{dc} = (v_{C1} + v_{C2}) \dots \quad (14)$$

dan tegangan dan arus PWM adalah:

$$i_{p1} = S1i_L \dots \quad (15)$$

$$i_{p2} = S2i_L \dots \quad (16)$$

$$v_{p1} = S1v_{C1} \dots \quad (17)$$

$$v_{p2} = S2v_{C2} \dots \quad (18)$$

dengan S1 dan S2 berturut-turut adalah status switching dari switch S1 dan S2.

### Voltage Source Converter Satu Phasa

Konverter ini dinyatakan dalam dua persamaan deferensial untuk arus induktor  $i_L$  dan tegangan dc link melalui kapasitor  $v_{dc}$ .

$$p_{iL} = (v_s + v_p - r_L/L) \dots \quad (19)$$

$$p_{vdc} = (i_p + v_d / R) / C_d \dots \quad (20)$$

Dengan tegangan dan arus PWM berturut-turut adalah:

$$v_p = v_d(S_a - S_b) \dots \quad (21)$$

$$i_p = i_L(S_a - S_b) \dots \quad (22)$$

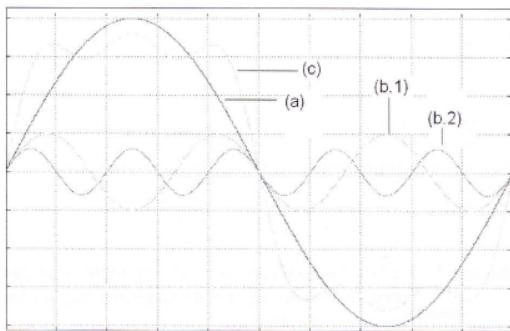
dengan:

$S_a = 1$  jika switch S1 dan S4 ON, selain itu  $S_a = 0$

$S_b = 1$  jika switch S2 dan S3 ON, selain itu  $S_b = 0$

### Konsep Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang sinusoida yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari frekuensi utama. Gelombang sinusoida dengan frekuensi utama merupakan komponen fundamental dan menghasilkan harmonisa ke-1, sedangkan gelombang sinusoida dengan frekuensi 2 kali frekuensi utama menghasilkan harmonisa ke-2, demikian seterusnya. Harmonisa terjadi akibat pengoperasian beban non-linier sehingga menimbulkan sumber gelombang frekuensi tinggi dan merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya, yaitu 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz, dan seterusnya. Kondisi ini dapat mengganggu sistem kelistrikan pada frekuensi fundamentalnya yaitu 50 atau 60 Hz. Untuk sistem tenaga dengan frekuensi 50 Hz, maka dapat dikatakan bahwa harmonisa pertama atau frekuensi fundamental dari sistem tenaga tersebut adalah 50 Hz, harmonisa kedua (100 Hz) merupakan kelipatan kedua dari harmonisa pertama, harmonisa ketiga (150 Hz) merupakan kelipatan ketiga dari harmonisa pertama, maka harmonisa ke-n merupakan kelipatan n dari frekuensi fundamental. Harmonisa menyebabkan terjadinya distorsi pada gelombang tegangan maupun arus, yang sebelumnya berbentuk sinusoida murni menjadi cacat. Gambar 5 menunjukkan konsep dan analisis terjadinya harmonisa pada arus [13].



Gambar 5. Konsep Harmonisa

Keterangan: a = Gelombang pada frekuensi fundamental; b.1 = Gelombang harmonisa ke-3; b.2 = Gelombang harmonisa ke-5; c = Gelombang Terdistorsi

Tabel 1. Batas Distorsi Harmonisa Arus menurut Standar IEEE 519

Batas Distorsi Harmonisa Arus (in % dari Nilai Fundamental)  
Level Harmonisa Arus (Harmonisa Ganjil)

$I_{sc}/I_L$ < 20*	< 11	11 < h < 17	17 < h < 23	23 < h < 35	> 35	THD
20 s/d 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 s/d 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 s/d 1000	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

### Total Harmonik Distortion

Salah satu metode yang dipakai untuk menentukan kandungan harmonisa pada suatu gelombang sinus adalah **Total Harmonic Distortion (THD)**. Analisis penentuan harmonisa gelombang arus dan tegangan dilakukan menggunakan **Metode Deret Fourier**. Setiap bentuk gelombang periodik yang tidak berbentuk sinusoidal dapat dinyatakan dalam deret harmonisa frekuensi dasar dan dinyatakan dalam analisis persamaan menggunakan deret fourier [14].

Nilai THD dirumuskan sebagai fungsi rms suatu tegangan atau arus. Persamaan untuk menentukan nilai THD arus pada harmonisa ganjil ke-n adalah [15]:

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=3}^{\infty} I_h^2}{I_1}} \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

Dengan nilai:

$$\sum_{h=3}^{\infty} I_h^2 = I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + \dots \dots$$

Dengan cara yang sama, maka persamaan nilai THD tegangan adalah [15]:

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=3}^{\infty} V_h^2}{V_1}} \quad \dots \dots \dots \quad (24)$$

Dengan nilai:

$$\sum_{h=3}^{\infty} V_h^2 = V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + \dots \dots$$

### Standar Batas Distorsi Harmonisa

Standar kualitas daya listrik dinyatakan dalam kualitas harmonisa arus dan tegangan. Standar **batas** harmonisa arus dan tegangan ditetapkan berdasarkan Standar IEEE 519 yang ditetapkan pada Tahun 1992. Tabel 1 (Lampiran) menunjukkan standar batas harmonisa arus [15].

## METODE PENELITIAN

11

Metode penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan sebagai berikut:

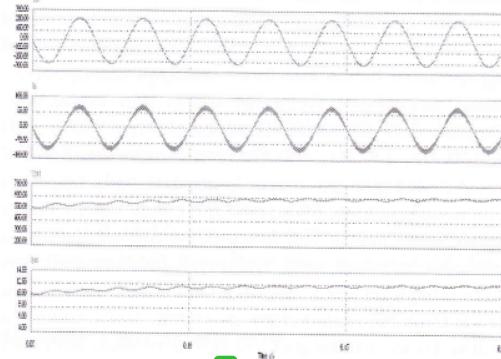
1. Studi pustaka melalui jurnal IEEE dan IEC di perpustakaan atau internet berkaitan dengan topik antara lain; ac-dc boost converter, PFC, THD, reduksi harmonika, rangkaian PWM, dan unjuk kerja peralatan semi-konduktor seperti dioda, SCR, IGBT, dsb.
2. Menentukan model matematis rangkaian ac-dc boost converter satu phasa antara-lain; boost converter, half bridge converter, dan VSC converter.
3. Menentukan model rangkaian ac-dc boost converter satu phasa antara-lain; boost converter, half bridge converter, dan VSC converter menggunakan bantuan perangkat lunak Power Simulator (PSIM) versi 4.1.
4. Menentukan model rangkaian kendali arus dan tegangan pada rangkaian ac-dc boost converter satu phasa.
5. Menentukan dan membandingkan nilai faktor daya dan THD arus sumber yang dihasilkan rangkaian ac-dc boost converter satu phasa antara-lain; boost converter, half bridge converter, dan VSC converter, pada kondisi 12.
  - a. Sebelum ac-dc boost converter dipasang.
  - b. Sesudah ac-dc boost converter dipasang.
6. Menentukan dan membandingkan efisiensi jumlah peralatan semikonduktor yang digunakan pada rangkaian ac-dc boost converter satu phasa antara-lain; boost converter, half bridge converter, dan VSC converter.
7. Menentukan dan membandingkan nilai perbaikan faktor daya input (PFC) akibat penggunaan rangkaian boost converter pada penyebarluasan jembatan satu phasa, pada kondisi:
  - a. Sebelum rangkaian boost converter dipasang.
  - b. Sesudah rangkaian boost converter dipasang.
8. Menentukan model ac-dc boost converter satu phasa yang menghasilkan unjuk kerja paling baik. Adapun parameternya antara-lain: PFC, efisiensi jumlah penggunaan peralatan semikonduktor, dan THD arus sumber berdasarkan Standar IEEE 519.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi unjuk kerja semua topologi ac-dc boost converter satu phasa dimodelkan menggunakan software atau perangkat lunak PSIM versi 4.1. Nilai THD arus masukan, faktor daya ( $pf$ ) dan efisiensi dari ketiga topologi ac-dc boost converter satu phasa dibandingkan antara satu dengan topologi lainnya. Nilai-nilai parameter yang digunakan untuk simulasi adalah sebagai berikut; Tegangan sumber 220 volt, tegangan referensi output 350 volt, induktor  $L = 0,6 \text{ mH}$ , kapasitor  $C = 2 \text{ mF}$ , beban  $R = 50 \Omega$ , dan frekuensi switching 20 kHz.

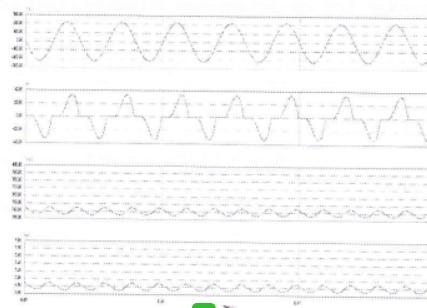
1

Hasil simulasi tegangan input, arus input, tegangan output dan arus output tiga model rangkaian ac-dc boost converter satu phasa ditunjukkan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.



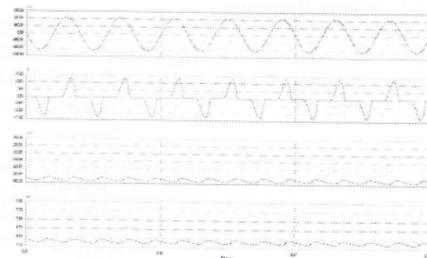
5

Gambar 6. Kurva simulasi tegangan input, arus input, tegangan output dan arus output pada rangkaian boost converter satu phasa



5

Gambar 7. Kurva simulasi tegangan, input, arus input, tegangan output, dan arus output pada rangkaian half bridge converter satu phasa



Gambar 8. Kurva simulasi tegangan input, arus input, tegangan output dan arus output pada rangkaian VSC converter satu phasa

1

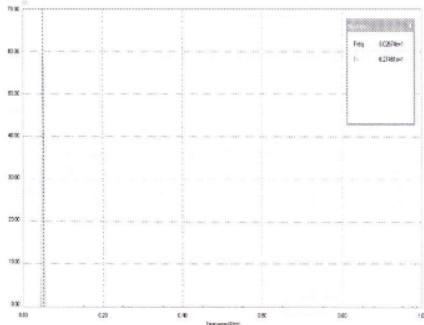
Tabel 2 (Lampiran) menunjukkan nilai tegangan input, arus input, tegangan output, dan arus output tiga model rangkaian ac-dc boost converter satu phasa. Berdasarkan

**Tabel 2.** Nilai Tegangan Input, Tegangan Output, dan Arus Output Tiga Model Rangkaian ac-dc Boost Converter Satu Phasa

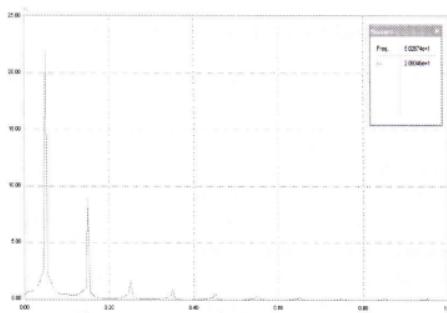
Model Rangkaian Converter	V <sub>in</sub> RMS (Volt)	I <sub>in</sub> RMS (Ampere)	V <sub>out</sub> DC (Volt)	I <sub>out</sub> DC (Ampere)
Boost	155,565	63,223	600	12,0
Half bridge	155,565	33,342	340	6,8
VSC	155,565	12,960	180	4,0

Tabel 2, diperoleh bahwa dengan tegangan input (RMS) yang sama, model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan tegangan dan arus output (DC) tertinggi (600 V dan 12,0 A). Sedangkan model rangkaian *VSC converter* menghasilkan tegangan dan arus output (DC) terendah (180 V dan 4,0 A).

Spektrum harmonika arus input tiga model rangkaian ac-dc *boost converter* satu phasa ditunjukkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 11.

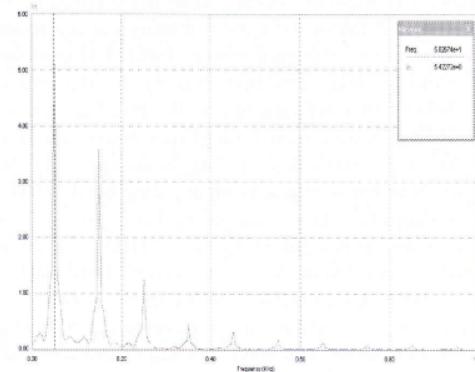


Gambar 9. Spektrum harmonika arus input pada rangkaian *boost converter*



Gambar 10. Spektrum harmonika arus input pada rangkaian *half bridge converter*

Berdasarkan spektrum harmonika arus input rangkaian *boost converter* yang ditunjukkan pada Gambar 9 diperoleh bahwa  $I_{\text{input}}$  (RMS) = 63,223 A,  $I_1 = 59,780$  A,  $I_3 = 0$  A,  $I_5 = 0$  A,  $I_7 = 0$  A,  $I_9 = 0$  A, dan  $I_{11} = 0$



Gambar 11. Spektrum harmonika arus input pada rangkaian *VSC converter*

A. Nilai arus fundamental dan harmonika sampai dengan harmonika ke-11 selanjutnya dimasukkan ke persamaan 23, sehingga diperoleh nilai  $I_{\text{THD}} = 0\%$ .

Dengan cara yang sama selanjutnya nilai THD arus empat model rangkaian *boost converter* yang lain dapat ditentukan. Hasil THD arus tiga model rangkaian *boost converter* satu phasa selanjutnya disajikan pada Tabel 3 (Lampiran). Berdasarkan Tabel 2, diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan THD arus input paling kecil ( $I_{\text{THD}} = 0\%$ ). Sedangkan model rangkaian *VSC converter* menghasilkan THD arus input paling besar ( $I_{\text{THD}} = 71,653\%$ ).

Pada perhitungan sampai dengan harmonika ke-11 diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan THD arus input 0%. Sedangkan batas THD arus input sampai dengan deret harmonika tersebut nilainya antara 4% sampai dengan 15%. Dengan demikian berdasarkan Tabel 1 tentang batas distorsi harmonika arus, diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa masih berada di bawah persyaratan batas THD arus sesuai Standar IEEE 519. Nilai THD arus input hingga harmonika ganjil ke-11 pada model *half bridge converter* dan *VSC converter* masih relatif tinggi yaitu 44,306% dan 71,653%. Nilai ini sudah melampaui batas distorsi arus input mengacu pada Standar IEEE 519. Dengan demikian parameter pada dua model rangkaian di atas harus ditentukan atau di-setting kembali, supaya memenuhi persyaratan batas THD arus input sesuai Standar IEEE 519.

**Tabel 3.** Perbandingan Nilai THD Arus dan Faktor Daya Input Tiga Model ac-dc Boost Converter Satu Phasa

Rangkaian Converter	THD Arus (%)	Faktor Daya Input (pf)
Boost	0	1,0
Half bridge	44,306	0,792
VSC	71,653	0,779

Tabel 3 (Lampiran) menunjukkan perbandingan nilai THD arus dan faktor daya input masing-masing model ac-dc boost converter satu phasa. Tabel 4 (Lampiran) menunjukkan nilai efisiensi masing-masing model ac-dc boost converter satu phasa. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa model rangkaian *boost converter* menghasilkan faktor daya paling besar ( $pf = 1$ ) dan menghasilkan harmonisa arus input paling kecil (THD = 0%). Sedangkan faktor daya paling kecil ( $pf = 0,779$ ) dan harmonisa arus input paling besar (THD = 71,653%) dihasilkan rangkaian *VSC converter*. Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa rangkaian *boost converter* memiliki efisiensi jumlah *switch* daya paling baik atau paling sedikit, sedangkan rangkaian *half bridge converter* mempunyai efisiensi jumlah dioda dan jumlah tegangan jatuh pada peralatan semi-konduktor paling baik atau paling sedikit.

**Tabel 4.** Perbandingan Nilai Efisiensi Tiga Model ac-dc Boost Converter Satu Phasa

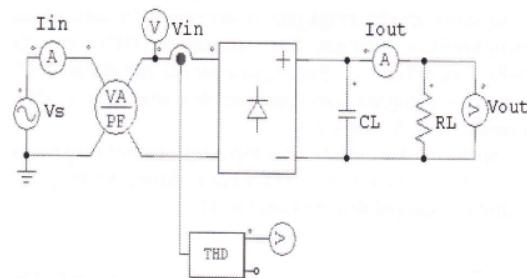
Model Rangkaian Converter	Jumlah Saklar Daya	Jumlah Dioda	Jumlah tegangan jatuh pada peralatan semi-konduktor	Aliran Daya
Boost	1	5	3	1 arah
Half bridge	2	2	1	2 arah
bridge	4	4	2	2 arah
VSC				

**Tabel 5.** Perbandingan Nilai THD Arus dan Faktor Daya Input Model Rangkaian Penyearah Jembatan dan *Boost Converter* Satu Phasa

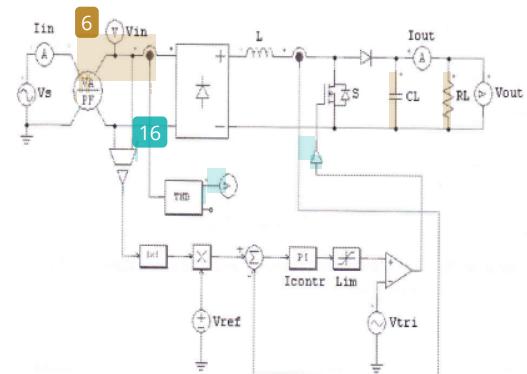
Model Rangkaian Converter	THD Arus (%)	Faktor Daya Input
Penyearah Jembatan	184,770	0,442
Boost converter	0	1

Untuk membuktikan bahwa rangkaian *boost converter* satu phasa dapat berfungsi sebagai *PFC converter* atau memperbaiki faktor daya sistem, dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan PSIM versi 4.1. Gambar 12 dan 13 menunjukkan rangkaian penyearah gelombang

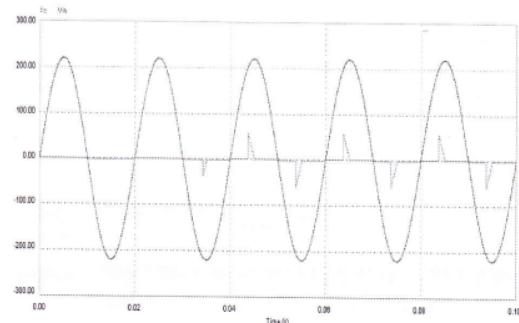
jembatan satu phasa dan *boost converter* satu phasa. Gambar 14 dan 15 menunjukkan kurva simulasi tegangan dan arus input pada kedua rangkaian diatas. Sedangkan Gambar 16 dan 17 menunjukkan kurva simulasi tegangan output rangkaian penyearah jembatan satu phasa dan *boost converter* satu phasa. Tabel 5 (Lampiran) menunjukkan nilai THD dan faktor daya input untuk rangkaian penyearah jembatan satu phasa dan *boost converter* satu phasa.



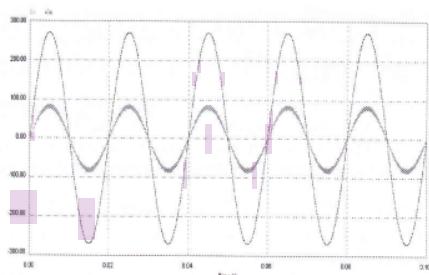
Gambar 12. Rangkaian penyearah jembatan satu phasa



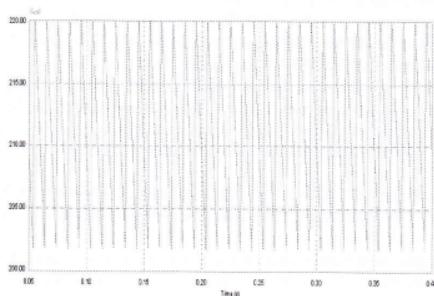
Gambar 13. Rangkaian *boost converter* satu phasa



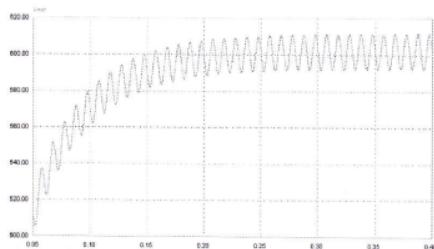
Gambar 14. Kurva simulasi tegangan dan arus input penyearah jembatan satu phasa



**Gambar 15.** Kurva simulasi tegangan dan arus input *boost converter* satu phasa



**Gambar 16.** Kurva simulasi tegangan output penyearah jembatan satu phasa



**Gambar 17.** Kurva simulasi tegangan output *boost converter* satu phasa

Tabel 6 menunjukkan perbandingan nilai THD dan faktor daya input rangkaian model penyearah jembatan dan *boost converter* satu phasa. Berdasarkan Tabel 6 diperoleh bahwa pada perhitungan sampai dengan harmonisa ke-11 diperoleh bahwa model rangkaian penyearah jembatan satu phasa menghasilkan THD arus input relatif tinggi (184,770%). Kondisi ini timbul akibat adanya distorsi arus terhadap tegangan (Gambar 14), yang disebabkan harmonisa arus berinteraksi dengan impedansi sumber, impedansi saluran, dan impedansi transformator. Pada kondisi yang sama model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan nilai THD arus sangat baik (0%). Standar IEEE 519 menunjukkan bahwa batas THD arus sampai dengan deret harmonisa

tersebut nilainya antara 4% sampai dengan 15%. Dengan demikian diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan nilai THD arus input jauh lebih rendah atau lebih baik dibandingkan model rangkaian penyearah jembatan mengacu pada Standar IEEE 519.

Berdasarkan Tabel 6 juga diperoleh bahwa model rangkaian penyearah jembatan mempunyai faktor daya input rendah (0,442). Sedangkan pada rangkaian *boost converter* satu phasa nilai faktor daya input meningkat menjadi 1. Artinya penggunaan rangkaian *boost converter* mampu meningkatkan atau memperbaiki nilai faktor daya sistem. Faktor-faktor yang memengaruhi nilai THD antara lain; sifat non-linier pada rangkaian pengali, impedansi sumber, deviasi tegangan input dari gelombang sinusoida yang dikehendaki, teloransi pada komponen pasif, keterbatasan bandwith, dan sifat non-linier dari rangkaian sensor. Untuk mengetahui faktor-faktor tersebut secara lebih detail maka diperlukan model matematis sebagai pelengkap analisis dan simulasi.

## 10 SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perhitungan sampai dengan harmonisa ke-11 diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan THD arus input 0%. Nilai THD arus input hingga harmonisa ganjil ke-11 pada model *half bridge converter* dan *VSC converter* masih relatif tinggi yaitu 44,306% dan 71,653%. Standar batas THD arus input sampai dengan deret harmonisa tersebut nilainya antara 4% sampai dengan 15%. Dengan demikian di antara tiga jenis rangkaian, model rangkaian *boost converter* satu phasa sudah memenuhi persyaratan batas THD arus input sesuai Standar IEEE 519.
2. Model rangkaian *boost converter* menghasilkan faktor daya paling besar ( $pf = 1$ ) dan menghasilkan harmonisa arus input paling kecil (THD = 0%). Sedangkan faktor daya paling kecil ( $pf = 0,779$ ) dan harmonisa arus input paling besar (THD = 71,653%) dihasilkan rangkaian *VSC converter*.
3. Pada perhitungan sampai dengan harmonisa ke-11 diperoleh bahwa model rangkaian penyearah jembatan satu phasa menghasilkan THD arus input relatif tinggi (184,770%). Pada kondisi yang sama model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan nilai THD arus sangat baik (0%). Dengan demikian diperoleh bahwa model rangkaian *boost converter* satu phasa menghasilkan nilai THD arus input jauh lebih rendah atau lebih baik dibandingkan model rangkaian penyearah jembatan mengacu pada Standar IEEE 519.

## SARAN

Nilai THD arus input hingga harmonika ganjil ke-11 pada model rangkaian *half bridge converter dan VSC converter* masih relatif tinggi yaitu 44,306% dan 71,653%. Persyaratan batas THD arus input sampai dengan deret harmonika ganjil ke-11 nilainya antara 4% sampai dengan 15%. Artinya nilai tersebut sudah melampaui batas distorsi arus input mengacu pada Standar IEEE 519. Dengan demikian parameter pada empat model rangkaian di atas harus ditentukan atau disetting kembali, supaya memenuhi persyaratan batas THD arus input sesuai Standar IEEE 519.

## DAFTAR PUSTAKA

1. J.D. Van Wyk. 1993. Power Quality, Power Electronic and Control. Proceeding IEEE PESC, 93: 17–32.
2. Z. Yang and P.C. Sen. 1998. Recent Development in High Power Factor Switchmode Converters. IEEE Proceeding CCECE, 98 : 477–80.
3. H. Akagi. 1996. New Trends in Active Filters for Power Conditioning. IEEE Transactions Industry Applications, 32: 1312–22.
4. H. Endo, Yamashita, T. and Sugiura, T. 1992. A High Power Factor Buck Converter. Proceedings, IEEE PESC, 92: 1071–6.
5. A Pandey, Prof. B Singh, and Prof D P Kothari, 2004, Comparative Evaluation of Single-phase Unity Power Factor ac-dc Boost Converter Topologies, Centre for Energy Studies, Department of Electrical Engineering, IIT Delhi, Haus Khus, New Delhi 110016, India, IE (I) Journal.
6. SB. Monge, C Crebier, S Ragon, E Hertz, J Wei, J Zhang, D. Boroyevich, and Z. Gilrdal. 2001. Optimization Techniques Applied to the Design of a Boost Power Factor Correction Converter. Proceedings IEEE PESC, 01: 920–25.
7. D. Xu and F.C. Lee. 2001. Two Lower Switch PFC Converter with Active Snubber. Proceeding IEEE PESC, 01 : 942–6.
8. J.H. Youm, H.L. Do, and B.H. Kwon. 2000. A Single Electronic Ballast with High Power Factor. IEEE Transaction Industrial Electronic, 47: 716–8.
9. G.V. Covic, G.L. Peters and J.T. Boys. 1995. An Improved Single Phase to Three Phase Converter for Low Cost ac Motor Drives. In Proceedings IEEE PEDS 1995, pp. 549–54.
10. A.I. Takahashi and K. Utsumomiya. 1997. A Simple Sensorless Method for Sinusoidal PWM Converters. In Proceedings IEEE PCC-Nagoya, 1997, pp. 241–6.
11. M.Y. Chang, J.Y. Lin and Y.Y. Tzou. 1996. DSP Based Fully Digital Control for ac dc Converter with a Non-Digital Current Mode Control. In Proceedings IEEE PESC 1996, pp. 1702–8.
12. T. Shimizhu, Y. Lin and G. Kimura. 1999. DC Ripple Current Reduction on Single Phase PWM Voltage Source Rectifier. In Proceedings IEEE IAS 1999, pp. 810–17.
13. Tumiran, T. Haryono, and Zulkarnaini. 2007. Effect Of Harmonic Loads On Over Current Relay to Distribution System Protection. Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Indonesia. June 17–19, 2007.
14. Yusaf Tanoto, Limboto Tigantara, dan Christian Khandy Lestanto. 2005. Simulasi Aktif Filter dan Sistem Kerja Rangkaian Dalam Meredam Harmonika pada Vacuum Casting Induction Furnace Dengan Daya 9 kW 13,8 kVA 200 V 3 Fasa 50/60 Hz. Jurnal Teknik Elektro Vol. 5, No. 1, Maret 2005: 6–12. Universitas Kristen Petra Surabaya.
15. Juan Dixon. 2000. Three Phase Controlled Rectifiers. Department of Electrical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuna, Mackena 4860, Santiago, Chile.

# Perbandingan Unjuk Kerja Model AC-DG Boost Converter, Half Bridge Converter, dan Voltage Source Converter Satu Phasa pada Rangkaian Penyearah Jembatan Berbeban Resistif (Comparative Performance of Single Phase AC-DC Boost Converter, Half Bridge Converter and Voltage Source Converter Model on Bridge Rectifier Circuit using Resistive Load)

---

ORIGINALITY REPORT

---

7 %

SIMILARITY INDEX

---

PRIMARY SOURCES

---

- |   |   |                  |
|---|---|------------------|
| 1 | 123dok.com  | 61 words — 1 %   |
|   | Internet  |                  |
| 2 | docplayer.info  | 50 words — 1 %   |
|   | Internet  |                  |
| 3 | elib.pdii.lipi.go.id  | 39 words — 1 %   |
|   | Internet  |                  |
| 4 | id.123dok.com   | 29 words — 1 %   |
|   | Internet  |                  |
| 5 | Ainun Lina Huda Nur Syahadah. "Sistem Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Solar Panel 50 Wp Dan Pengukuran Batas Waktu Pemakaian Pada Renewable Energy Smart Trolley", Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 2021 | 20 words — < 1 % |
|   | Crossref  |                  |

- 6 Antonio Luiz Dias de Andrade. "Um estado completo que pode jamais ter existido", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 1993  
Crossref Posted Content 18 words – < 1 %
- 7 mafiadoc.com Internet 18 words – < 1 %
- 8 media.neliti.com Internet 18 words – < 1 %
- 9 Ubyrajara Gilioli. "Arquitetura e lugar: exercícios e experiências", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 1995  
Crossref Posted Content 14 words – < 1 %
- 10 doc.majapahit.ac.id Internet 11 words – < 1 %
- 11 core.ac.uk Internet 9 words – < 1 %
- 12 L. Ben-Brahim. "On the Compensation of Dead Time and Zero-Current Crossing for a PWM-Inverter-Controlled AC Servo Drive", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2004  
Crossref 8 words – < 1 %
- 13 jtiik.ub.ac.id Internet 8 words – < 1 %
- 14 repository.uin-suska.ac.id Internet 8 words – < 1 %
- 15 repository.usu.ac.id

Internet

8 words – < 1%

16

[www.ummto.dz](http://www.ummto.dz)

Internet

8 words – < 1%

EXCLUDE QUOTES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE MATCHES OFF