

Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC (*Direct Current*) Menggunakan *Cuk Converter*

Naufal Miftaahul A. S.
Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Indonesia
naufalaldhis@gmail.com

Defa Mulyana
Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Indonesia
defamulyana97@gmail.com

Ilham Yusuf A.
Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah Surabaya,
Indonesia
ihamyusuf6212@gmail.com

Abstract— Keuntungan seperti efisiensi tinggi, rasio inersia/torsi tinggi, jangkauan pengaturan kecepatan yang besar dan rendahnya *electro magnetic interference* (EMI) menjadi alasan motor *brushless Direct Current* (BLDC) menjadi pilihan yang tepat dalam banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari. Motor BLDC terdiri dari belitan 3 fasa pada stator dan magnet permanen pada rotornya. Dalam operasi BLDC memerlukan gelombang untuk bekerja, maka penggunaan inverter diperlukan. Inverter juga digunakan untuk tujuan kontrol kecepatan dikontrol kecepatan BLDC konvensional. Pada makalah ini dilakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan *cuk converter* untuk mengatur kecepatan pada motor BLDC. *Cuk converter* sendiri memiliki sifat tegangan keluaran yang dihasilkan dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan, *Cuk converter* dipilih karena dapat dioperasikan dalam berbagai jangkauan kontrol kecepatan.

Kata Kunci— Kontrol Kecepatan, Motor *Brushless DC* (BLDC), *Cuk Converter* (*key words*)

I. PENDAHULUAN (*HEADING 1*)

Keuntungan seperti efisiensi tinggi, rasio inersia/torsi tinggi, jangkauan pengaturan kecepatan yang besar dan rendahnya *electro-magnetic interference* (EMI) menjadi alasan motor *brushless DC* (BLDC) menjadi pilihan yang tepat dalam banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari seperti pada peralatan rumah tangga, industri dan kesehatan[1]. Motor BLDC terdiri dari belitan 3 fasa pada stator dan magnet permanen pada rotornya. Dalam operasi BLDC memerlukan gelombang untuk bekerja, maka penggunaan inverter diperlukan. Inverter juga digunakan untuk tujuan kontrol kecepatan dikontrol kecepatan BLDC konvensional[2].

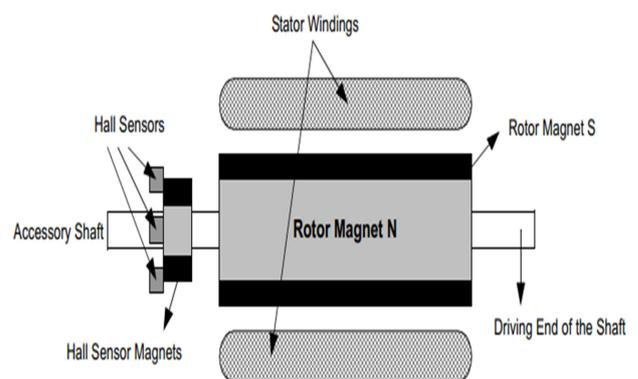
Cuk Converter merupakan konverter dc-dc dengan besarnya tegangan luaran dari konverter ini dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan, tetapi tegangan luaran dari konverter ini memiliki polaritas yang terbalik dari tegangan masukannya. Atas pertimbangan dasar biaya dan kontrol yang kompleks, dilakukan penelitian terhadap *Cuk Converter* dalam kemampuannya untuk kontrol kecepatan motor *brushless DC*. *Cuk Converter* dipilih karena dapat dioperasikan dalam berbagai mode dan juga dapat berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan output. Pada penelitian ini, *cuk converter* akan dikombinasikan dengan beberapa sistem kontrol berbasis PI sehingga dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan motor.

II. BAHAN DAN METODE

A. Motor *Brushless DC*

Motor *brushless DC* (BLDC) adalah jenis motor DC yang tidak memiliki sikat. Dengan dihilangkannya bagian sikat dan komutator, motor ini memiliki kelebihan antara lain adalah peningkatan pada efisiensi, pengurangan kebisingan yang ditimbulkan saat berputar, perawatan yang lebih murah, serta dapat berputar dengan kecepatan tinggi karena berkurangnya gesekan dengan sikat. Sedangkan kekurangan dari motor ini adalah lebih rumit dalam kontrolnya serta harga yang lebih mahal.

Secara konstruksi, motor *brushless DC* kurang lebih seperti motor AC sinkron magnet permanen, dimana belitan jangkar terletak pada stator dan rotor yang terdiri dari satu atau lebih magnet permanen, namun memiliki perbedaan pada *back-EMF*. *Back-EMF* motor AC sinkron magnet permanen berbentuk sinusoidal sedangkan motor *brushless DC* berbentuk trapezoidal. Dengan *Back-EMF* yang berbentuk trapezoidal tersebut, motor *brushless DC* dapat dikatakan memiliki karakteristik elektris seperti motor DC [3].



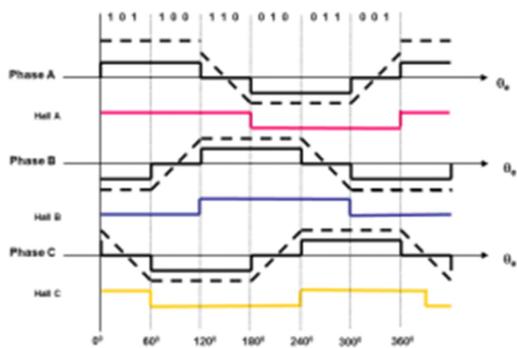
Gambar 1. Bagian Melintang Motor BLDC [2]

B. Metode Pendeteksian Perubahan Komutasi

Dalam pendeteksian perubahan komutasi terdapat dua metode, yaitu metode *sensorless* dan sensor. Metode

sensorless tidak membutuhkan sensor untuk mendeteksi posisi rotor, tetapi metode *sensorless* mendeteksi aktivitas listrik dari tiap belitan yang hasilnya akan digunakan sebagai dasar perubahan komutasi. Metode *sensorless* dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti metode back-EMF yang terintegrasi dari terminal motor tegangan netral ke rangkaian penggeser yang tepat [3]. Dan dapat diperoleh dengan metode *Zero Crossing Point*.

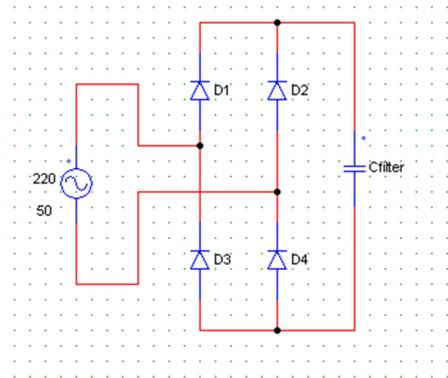
Metode yang lainnya yaitu menggunakan sensor. Metode ini menggunakan sensor yang mendeteksi gerakan mekanis dari rotor yang hasilnya nantinya digunakan untuk perubahan komutasi. Sensor yang biasa digunakan yaitu sensor *hall-effect*. Metode ini lebih sering digunakan karena lebih mudah pengaplikasiannya dan banyak motor yang dibuat dengan sensor *hall-effect* didalamnya. Sensor *hall-effect* adalah sensor medan magnet yang dapat mengetahui posisi rotor berdasarkan medan magnet yang dideteksi. Dengan menggunakan sensor *hall-effect* ini dapat diperoleh komutasi sebesar 120° antar fasa.



Gambar 2. Proses Komutasi berdasarkan sensor *Hall-Effect* [3]

C. Rectifier

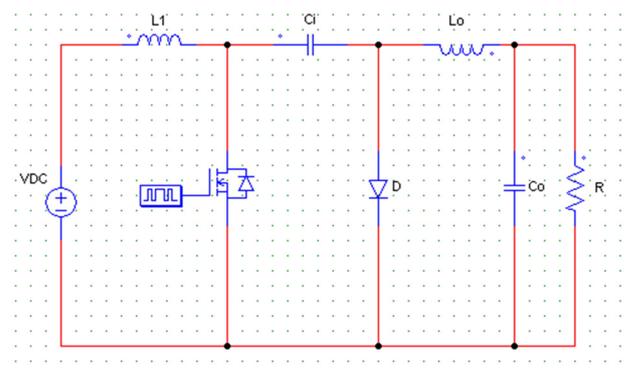
Penyearah tegangan atau yang biasa disebut dengan *rectifier* merupakan suatu bagian dari rangkaian catu daya atau *power supply* yang berfungsi sebagai pengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Rangkaian *rectifier* atau penyearah tegangan ini pada umumnya menggunakan dioda sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan fungsi dioda sebagai penyearah dan karakteristik utamanya yaitu melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus dari arah sebaliknya. Rangkaian dioda sendiri jika dialiri tegangan AC maka akan melewatkan setengah gelombang dan setengahnya lagi di blokir.



Gambar 3. Rangkaian *Rectifier*

D. Cuk Converter

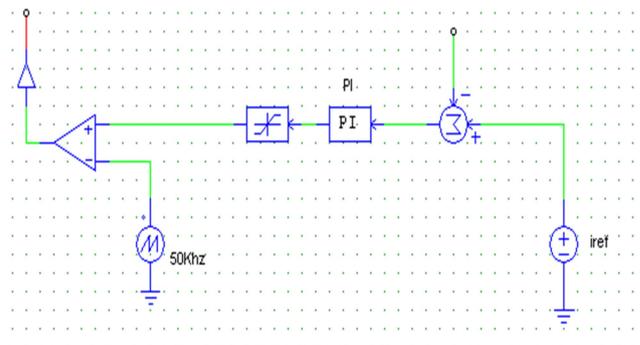
Cuk converter adalah jenis konverter yang merupakan penyempurnaan dari *buck-boost converter* [3]. *Cuk converter* berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Rangkaian *cuk converter* terdiri dari induktor input (L_i), *switch*, kapasitor pentransfer tegangan (C_i), dioda (D), induktor filter (L_o), dan kapasitor filter (C_o) [3].



Gambar 4. Rangkaian *Cuk Converter*

E. Kontrol PI (*Proportional Integral*)

Sistem kontrol PI adalah kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi yang menimbulkan karakteristik umpan balik pada sistem tersebut. Kontrol PI terdiri dari dua cara pengaturan yaitu kontrol P (*proportional*), dan kontrol I (*Integral*). Kontroler mencoba untuk meminimalkan kesalahan nilai waktu dengan melakukan penyetelan pada variabel kontrol.

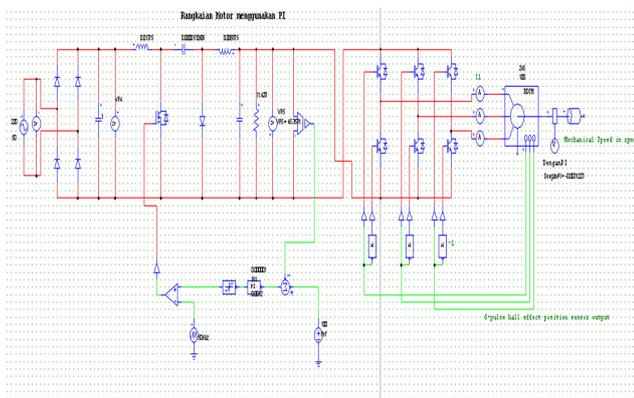


Gambar 5. Rangkaian Kontrol PI.

F. Konfigurasi Sistem

Secara garis besar skema permodelan sistem pada penulisan ini direpresentasikan oleh gambar 1. Sistem tersebut terdiri dari sebuah sumber tegangan AC satu fasa, rangkaian DC-DC *Cuk converter* dan Motor BLDC . Pemasangan DC-DC *cuk converter* sebagai pengganti DC-DC *Converter* konvensional bertujuan untuk mengontrol kecepatan pada motor *Brushless DC (BLDC) Drive*.

Konfigurasi sistem dari sistem pengaturan kecepatan motor *brushless DC* yang awal dan masih belum dikontrol dengan rangkaian PI (*Propotional Integral Derivative*) yang menjadi fokus adalah rangkaian dari *cuk converter* untuk mengatur kecepatan dari motor BLDC. *Cuk converter* diletakkan antara *rectifier* dan *inverter* yang berfungsi sebagai regulator arus dan tegangan agar kecepatan motor BLDC konstan dengan mempertahankan tegangan.



Gambar 6. Sistem Kontrol BLDC secara Keseluruhan

G. Permodelan BLDC

Motor yang digunakan adalah motor *brushless DC* keluaran MOOG, seri BN42-53IP-03. Motor ini memiliki daya sebesar 874 Watt.

TABLE 1. TABEL PARAMETER MOTOR.

Parameter	Nilai
<i>R ated Power</i>	874 Watt
<i>Rated Speed</i>	2820 rpm
<i>Rated Torque</i>	2.9588 Nm
<i>Resistance</i>	0,408 Ohm
<i>Inductance</i>	1.71 mH
<i>Speed Constant (krpm/V)</i>	29.239
<i>Torque Constant (Nm/A)</i>	0,3269
<i>No. Of Poles</i>	8
<i>Momen Of Inersia</i>	$0,4939 \times 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$
<i>No load Speed</i>	2920 rpm
<i>No Load Current</i>	0,7 A

H. Perancangan Cuk Converter

Cuk converter menggunakan sumber satu fasa 220V yang disearahkan oleh *diode bridge rectifier (DBR)* yang setelahnya diberi kapasitor sebagai filter tegangan. Karena tegangan dan arus hasil penyearahan dan filter tidak berbentuk DC murni, maka digunakan nilai rata-rata. Pada penelitian ini, dibatasi tegangan input pada tegangan rms sumber minimal adalah 200V dengan nilai maksimalnya adalah 240V.

TABLE 2. RATING CUK CONVERTER

Tegangan Input	200 V
Tegangan Output	100 V
Daya Output	875 W
Frekuensi	50 KHz
<i>Ripple Arus Masukan</i>	1%
<i>Ripple Arus Luaran</i>	1%
<i>Ripple Tegangan</i>	1%
Induktor (L1)	0.01375 Mh
Induktor (L2)	0.006875 mH
Kapasitor (C1)	0.0000170906 uF
Kapasitor (C2)	0.00005 uF
Beban	11.428 Ohm

I. Mencari Nilai Duty Cycle

Berdasarkan tegangan input dan tegangan output yang telah ditentukan, maka *duty cycle* yang digunakan pada rangkaian *cuk converter* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$D = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} \dots\dots\dots (1)$$

Perhitungan *Duty Cycle* :

$$100 = 220 \cdot \frac{D}{1-D}$$

$$100 - 100 \cdot D = 220 \cdot D$$

$$100 = 220 \cdot D + 100 \cdot D$$

$$100 = 320 \cdot D$$

$$D = \frac{100}{320} = 0,3125$$

J. Mencari Nilai Resistor (Hambatan)

Selanjutnya akan ditentukan nilai beban yang digunakan pada rangkaian *cuk converter*, berdasarkan tegangan output dan daya output yang diharapkan, maka beban yang

digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_o = V_o \cdot I_o \quad \dots\dots\dots (2)$$

Perhitungan Resistansi :

$$875 = 100 \cdot I_o$$

$$I_o = \frac{875}{100} = 8.75$$

$$R = \frac{100}{8.75} = 11.428 \text{ A}$$

K. Mencari Nilai Induktor dan Kapasitor

Setelah mengetahui nilai parameter dari rumus daya, tegangan, arus, dan beban. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari kapasitor (C1 dan C2) dan induktor (L1 dan L2).

Perhitungan *Ripple* :

$$I_{lo} = 20 \text{ A} = \Delta I_{lo} = \text{Ripple} \times I_{lo} = 0.01 \times 20 = 0.2 \text{ A}$$

$$I_{lo} = 10 \text{ A} = \Delta I_{lo} = \text{Ripple} \times I_{lo} = 0.01 \times 10 = 0.1 \text{ A}$$

$$V_{ci} = 320 = \Delta V_{ci} = \text{Ripple} \times V_{ci} = 0.01 \times 320 = 3.2 \text{ V}$$

$$V_{co} = 100 = \Delta V_{co} = \text{Ripple} \times V_{co} = 0.01 \times 100 = 1 \text{ V}$$

$$\frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{li}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Perhitungan L_i :

$$L_i = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{li}} = \frac{220 \times 0.315}{50000 \times 0.1} = \frac{68.75}{5000} = 0.01375$$

$$\frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{lo}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Perhitungan L_o :

$$L_o = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{lo}} = \frac{220 \times 0.3125}{50000 \times 0.2} = \frac{68.75}{10000} = 0.006875$$

$$\frac{V_o \cdot D}{f \cdot \Delta V_{ci} \cdot R} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Perhitungan C_i :

$$C_i = \frac{V_o \cdot D}{f \cdot \Delta V_{ci} \cdot R} = \frac{100 \times 0.3125}{50000 \times 3.2 \times 11.428} = \frac{31.25}{1.828.480} = 0.0000170906$$

$$\frac{1-D}{f^2 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)^2 \cdot 8 \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Perhitungan C_o :

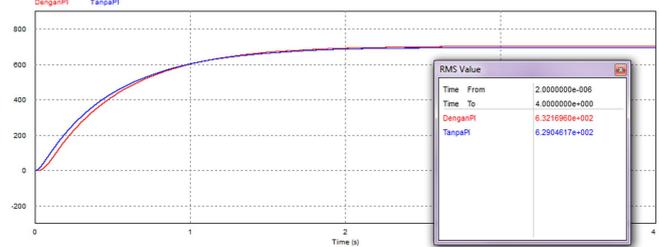
$$C_o = \frac{1-D}{f^2 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)^2 \cdot 8 \cdot L_2} = \frac{1-0.3125}{(50000)^2 \times \left(\frac{1}{100}\right)^2 \times 8 \times 0.006875} =$$

$$\frac{0.6875}{(2.500.000.000) \times (0.01) \times (0.055)} = \frac{0.6875}{1.375.000} = 0.00005.$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Power Simulator (PSIM)*. Dari hasil simulasi seluruh sistem dibuat analisa dan hasilnya berupa kecepatan dengan membandingkan hasil simulasi antara *Cuk Converter* tanpa kontrol dengan terkontrol dan kestabilan kecepatan jika pada saat tanpa beban dan berbeban. Simulasi dalam *software PSIM* dengan variabel perubahan tanpa beban sampai berbeban 0.055 Nm dan 0.075 Nm. Tegangan input 220 (V_i) dari sumber tegangan dan tegangan output 100 (V_o).

A. Analisa Respon Kecepatan Motor Tanpa Beban



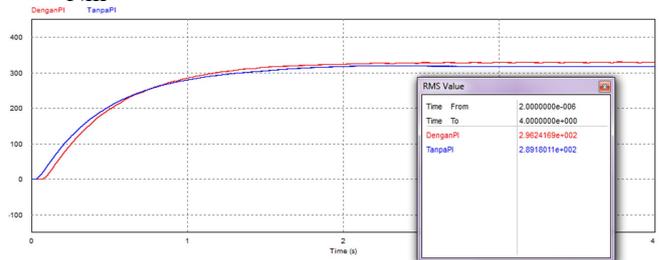
. Gambar 7. Grafik Respon Kecepatan Motor Tanpa Beban

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa grafik rangkaian motor terkontrol tanpa beban yang diset dengan *rest time* 4 detik menunjukkan kecepatan motor dengan kontrol kecepatan PI sebesar 703 Rpm dan rangkaian motor tanpa kontrol PI menunjukkan kecepatan sebesar 695 Rpm. Untuk rangkaian motor yang tidak terkontrol PI menghasilkan *overshoot* sebesar 6.967 Mp.

TABLE 3. PERBANDINGAN KECEPATAN MOTOR

	Kecepatan	Overshot
Tanpa PI	695 Rpm	6.967 Mp
Dengan PI	703 Rpm	-

B. Analisa Respon Kecepatan Motor Dengan Beban 0.040 Nm



Gambar 8. Respon Kecepatan Motor Dengan Beban 0.040 Nm

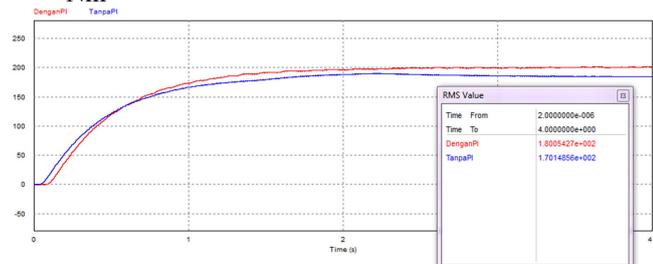
Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa grafik rangkaian motor terkontrol tanpa beban yang diset dengan *rest time* 4 detik menunjukkan kecepatan motor dengan kontrol kecepatan PI sebesar 328 Rpm dan rangkaian motor tanpa kontrol PI menunjukkan kecepatan sebesar 318 Rpm.

Untuk rangkaian motor yang tidak terkontrol PI menghasilkan overshoot sebesar 3.205 Mp.

TABLE 4. PERBANDINGAN KECEPATAN MOTOR

	Kecepatan	Overshoot
Tanpa PI	318 Rpm	3.205 Mp
Dengan PI	328 Rpm	-

C. Analisa respon kecepatan motor dengan beban 0.055 Nm



Gambar 9. Respon Kecepatan Motor Dengan Beban 0.055 Nm

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa grafik rangkaian motor terkontrol tanpa beban yang diset dengan rest time 4 detik menunjukkan kecepatan motor dengan kontrol kecepatan PI sebesar 198 Rpm dan rangkaian motor tanpa kontrol PI menunjukkan kecepatan sebesar 188 Rpm. Untuk rangkaian motor yang tidak terkontrol PI menghasilkan overshoot sebesar 1.905 Mp.

TABLE 5. PERBANDINGAN KECEPATAN MOTOR

	Kecepatan	Overshoot
Tanpa PI	188 rpm	1.905 Mp
Dengan PI	198 rpm	-

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil perancangan dan pengujian konverter CUK sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran berbanding terbalik dengan tegangan masukan.
2. Jika duty cycle < 50% maka konverter CUK bekerja secara buck sedangkan apabila duty cycle > 50% maka konverter CUK bekerja secara boost.

Semakin besar beban yang diberikan maka akan berpengaruh pada kecepatan motor yang semakin menurun..

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anoop Mathew Korula, Sudhanshu Tripathi , "Reduction of Harmonics to Improve Performance of Permanent Magnet Brushless DC Motor Drive Using Cuk Converter", ISSN ,vol-2, Issue-6, June 2013.

[2] Padmaraja Yedamale, "Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals" Microchip technology ,2003.

[3] Perdana Hadyan Putra, Suryoatmojo Heri, Anam Sjamsjul, "Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Cuk Converter pada Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC", ISSN, vol-5, no.2, july 2016

[4] J. Shao, D. Nolan , M. Teissier, and D. Swanson, "A Novel Microcontroller based sensorless brushless DC (BLDC) motor drive for automotive fuel pumps", IEEE Trans. Ind. Appl., vol 39, no. 6, pp. 1730-1740, Nov./Dec. 2003

[5] R. C. Becerra, T. M. Jahns, and M. ehsani, "four-quadrant sensorless brushless ECM drive,"in Proc. APEC'91, 1991, pp. 202-209

[6] D. W. Hart, "Power Electronics". New York, USA. McGraw-Hill, 2011

[7] Triandini annisa, Soeprpto, dan Mochammad RiFan, "Perancangan Battery Control Unit (BCU) Dengan Menggunakan Topologi Cuk Converter Pada Instalasi Tenaga Surya". Malang

[8] V. Bist and B. Singh, „PFC Cuk Converter-Fed BLDC Drive“, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 30 no.2, February 2015.