

PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN *CUK CONVERTER* BERBASIS PID PADA MOTOR *BRUSHLESS DC*

¹Jimmy Nilda Gregorius F. Saunoah, ²Iradiratu D.P.K, ³Belly Yan Dewantara

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah, Surabaya

¹jimmynilda96@gmail.com, ²iradiratu@hangtuah.ac.id, ³bellyyandewantara@yahoo.com

Abstrak—Penggunaan motor *brushless DC* telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti peralatan rumah tangga maupun industri dikarenakan motor ini memiliki struktur yang sederhana, efisiensi dan torsi yang tinggi, serta menggunakan konsep komutasi listrik yang berbeda dari motor DC lainnya. Dalam pengoperasian BLDC menggunakan sumber AC, *rectifier* dan menghubungkan kapasitor umumnya digunakan dimana motor BLDC juga perlu gelombang saat persegi untuk bekerja, penggunaan inverter diperlukan. Inverter juga digunakan untuk tujuan kontrol kecepatan di kontrol kecepatan BLDC konvensional. Kontrol kecepatan konvensional yang hanya menggunakan DBR dan inverter menghasilkan harmonik yang besar yang berarti mengurangi faktor daya juga. Pada penelitian ini akan dikaji lagi mengenai proses *power factor correction* yang mereduksi harmonisa arus (THD) sumber AC dengan menggunakan *cuk converter* dalam pengaplikasian motor *brushless DC*, sehingga berpengaruh pada kecepatan yang mengakibatkan turunnya nilai faktor daya yang telah ditetapkan oleh standar PLN 0,8. Maka dengan penelitian ini akan membahas cara untuk memperbaiki faktor daya pada motor *brushless DC* dengan menggunakan *Cuk Converter* yang menggunakan metode kontrol PID.

Kata Kunci — Motor Brushless DC, *Cuk Converter*, *Power Factor Correction*, Kontrol PID.

Abstract – The use of DC brushless motor has been widely used in various fields such as household appliances as well as industry because this motor has a simple structure, high efficiency and torque, and uses the concept of electrical commutation that is different from other DC motors. In BLDC operation using AC source, rectifier and connect capacitor are generally used where BLDC motor also need wave when square to work, inverter usage is required. Inverters are also used for speed control purposes in the conventional BLDC speed control. Conventional speed controls that use only DBR and inverters produce large harmonics which means reducing the power factor as well. In this research will be studied again about power factor correction process that reduces current harmonics (THD) AC source by using *cuk converter* in applying brushless DC motor, so it affect the speed which resulted in the decrease of power factor value which has been set by PLN 0 standard, 8. So with this research will discuss how to improve the power factor in DC brushless motor by using *Cuk Converter* which uses PID control method.

Keywords - Brushless DC Motor, *Cuk Converter*, *Power Factor Correction*, PID Control.

I. PENDAHULUAN

Motor *Brushless DC* sangat populer untuk digunakan pada daya rendah dan menengah. Motor jenis ini memiliki banyak kelebihan, seperti tingkat efisiensinya yang tinggi, biaya pemeliharaan yang rendah, torsi tinggi dibandingkan dengan rasio berat, ranah kerja kecepatan yang luas, sangat handal, tidak bising dalam operasinya, serta usia yang lebih tahan lama. Kelebihan tersebut dijadikan alasan banyaknya aplikasi motor *brushless DC*, seperti pada mesin cuci, pendingin ruangan, kulkas, kendaraan listrik, *actuator*, dan lain-lain.

Motor BLDC sejatinya adalah motor sinkron 3 (tiga) fasa yang terdiri dari stator dengan belitan tiga fasa dan magnet permanen pada rotornya. Dengan tidak adanya sikat mekanis dan komutator, kerusakan sikat akibat pengoperasian dan masalah percikan yang kerap ditemui pada motor DC konvensional tidak ditemukan di motor *brushless DC*. [1]

Faktor daya didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (*watt*) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam rangkaian arus bolak balik atau beda sudut fasa antara V dan I. Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 sampai 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu. Jika kualitas faktor daya suatu sistem rendah maka akan terjadi *losses* (kerugian) baik dari segi kualitas tegangan dan arus listrik maupun dari segi ekonomi.

Dalam pengoperasian dengan menggunakan sumber tegangan AC satu fasa, umumnya motor *brushless DC* membutuhkan *full-wave rectifier*,

kapasitor DC *link*, serta inverter dimana control dilakukan melalui *switching* pada inverter menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Pengoperasian ini dapat menghasilkan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) dari arus sumber dan mengurangi factor daya dari sumber AC karena pengaturan kecepatan menggunakan *switching* PWM pada inverter menyebabkan *losses* yang diakibatkan oleh frekuensi dari *switching* tersebut. [1]

Kontroler PID merupakan hasil penjumlahan dari output kontroler P, output kontroler I, dan output kontroler D. Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar ketiga parameter dari P, I dan D yaitu nilai K_p , K_i , dan K_d . Penyetelan konstanta K_p , K_i , dan K_d akan mengakibatkan reaksi dari respon yang berbeda-beda. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Parameter-parameter tersebut tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan.

Untuk mendapatkan hasil perbaikan faktor daya yang sempurna diperlukan suatu metode, dalam penelitian ini metode yang akan digunakan adalah perbaikan faktor daya yang akan dilakukan dengan menggunakan konverter, ada beberapa jenis konverter yang sering digunakan untuk PFC (*Power Factor Correction*) yaitu *Boost Converter*, *Buck-Boost Converter*, *Multilevel*, dan masih banyak lagi. Dalam Penelitian sebelumnya yang dilakukan Hadyan Pradana Putra, dkk, konveter yang digunakan adalah *Cuk Converter* dalam kemampuannya untuk memperbaiki faktor daya sekaligus kontrol kecepatan motor *brushless* DC, [1]. Namun dalam penelitian ini yang menjadi fokusnya adalah untuk memperbaiki faktor daya dan konveter yang akan digunakan adalah menggunakan *Cuk Conveter* dengan metode PID sebagai kontrol arus dan tegangan sehingga *losses* dan perbaikan faktor daya bisa di realisasikan.

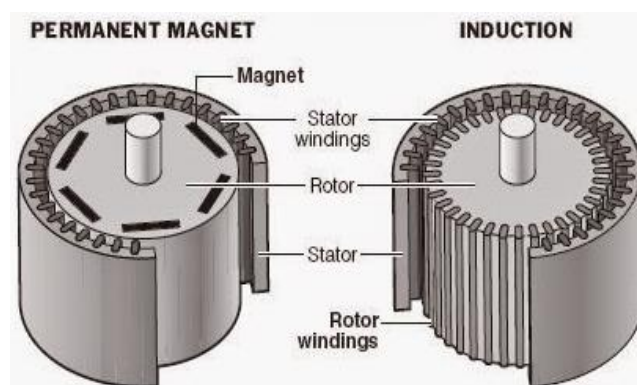
Dihasilkan pada penelitian ini akan didapatkan nilai Faktor Daya yang baik (mendekati 1), sehingga hasil dari penelitian ini dapat diterapkan pada pengguna motor *Brushless DC* untuk mendapatkan

kualitas daya yang lebih baik dan efisiensi kerja motor yang maksimal.

II. METODELOGI PENELITIAN

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 elektrik seperti motor DC. [1]



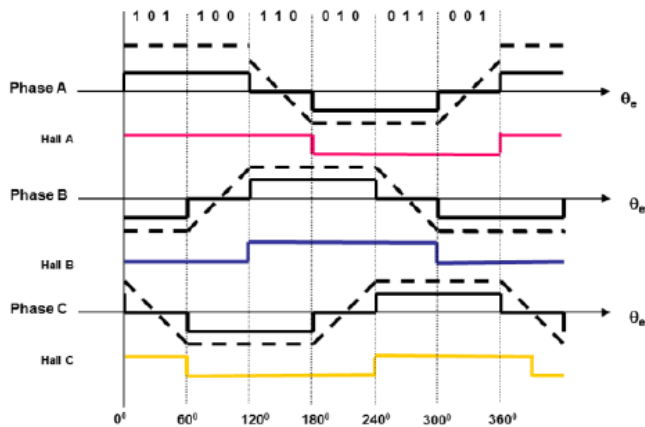
Gambar 1. Kontruksi Motor BLDC

B. Prinsip Kerja dan Komutasi Motor *Brushless* DC

Pada motor *brushless* DC, interaksi magnet terjadi antara kumparan pada stator, magnet permanen pada rotor, dan struktur besi pada keduanya. Adapun gaya Lorentz yang disebabkan medan magnet:

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (1)$$

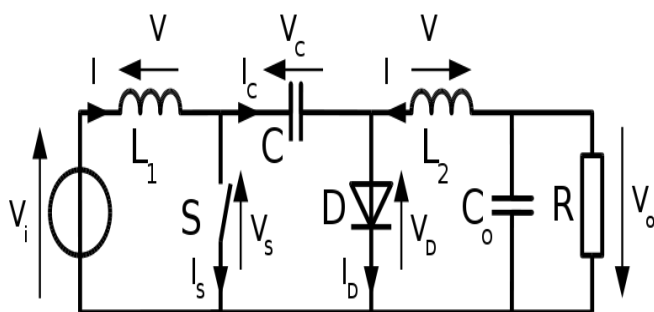
Dimana, I adalah arus vektor sepanjang kumparan, L adalah panjang konduktor, dan B adalah medan magnet vektor. Sedangkan F adalah gaya Lorentz yang dihasilkan [7].



Gambar 2. Bentuk sinyal Hall dan tegangan motor [8]

C. Cuk Converter

Cuk Converter adalah jenis *converter* yang merupakan penyempurnaan dari *buck-boost converter*. Seperti *buck-boost converter*, *cuk converter* dapat menaikkan dan menurunkan tegangan serta memiliki keluaran dengan polaritas negatif. Kelebihan dari *converter* ini adalah arus kontinu yang pada sisi input dan outputnya, sedangkan kelemahannya adalah besarnya nilai reaktif pada komponen serta besarnya arus pada *switch*, dioda, dan kapasitor C_i .



Gambar 3. Rangkaian *Cuk Converter* [1]

Pada keadaan *switch on*, *switch* tertutup sehingga dilewati arus, dioda tidak bekerja, dan kapasitor C_i *discharge* oleh arus dari inductor L_o . Ketika *switch off*, *switch* terbuka sehingga dioda mengalirkan arus dari

induktor L_i dan L_o . Pada keadaan *switch off* pula kapasitor C_i diisi oleh arus dari inductor L_o .

D. Power Factor Correction

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan satuan untuk mendefinisikan *distortion factor* dari arus maupun tegangan. Untuk *power factor* dibagi menjadi tiga, yaitu *displacement PF* yang merupakan perbedaan sudut fasa gelombang tegangan dan arus ($\cos(\delta_1 - \theta_1)$), *distortion PF* yang berhubungan dengan harmonisa, dan *true PF* yang merupakan rasio total daya input [6].

Untuk persamaan THD dan PF didapat persamaan sebagai berikut:

$$TDH_1 = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1+(THD\%)^2}} \quad (3)$$

Sehingga untuk mencari nilai *true PF* menggunakan perkalian antara *displacement PF* dengan *distortion PF* [4]:

$$PF_{true} = PF_{disp} \cdot PF_{dist} = \frac{P_{avg}}{V_{1rms} I_{1rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(THD/100)^2}}$$

E. Sistem Kontrol PID

Sistem kontrol otomatis diperlukan untuk menjaga kontinuitas dan kestabilan kecepatan motor dan untuk memperbaiki sinyal *error* dan respon suatu sistem. Terdapat dua kontroler, yang pertama kontroler proporsional yang memiliki fungsi untuk mengubah respon pada saat transien agar sesuai dengan *set point* nya pada kondisi saat *settling time*. Kedua adalah Kontroler integrator yang digunakan untuk menghilangkan *error* pada saat *steady state* dengan menggunakan prinsip pengintegralan. Konstanta pada kontroler integrator ini berpengaruh pada cepat atau lambatnya respon sistem dan dalam menghilangkan *offset* sistem [5].

Pengendali PID terdiri dari tiga komponen yaitu *proportional*, *integral*, dan *derivative* yang dapat dipakai secara bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang diinginkan pada suatu sistem/*plant*. Penjelasan dari masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

Respon dari pengendali proporsional dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{out} = K_c E(t) \quad (4)$$

Pengendali proporsional yang digunakan pada skripsi ini adalah dalam bentuk digital, sehingga rumus pengendalinya berubah menjadi:

$$P_{out} = K_c E_N \quad (5)$$

Respon dari pengendali integral dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$I_{out} = K_i \int_0^t E(\tau) d\tau \quad (6)$$

Dalam bentuk digital dari pengendali integral adalah sebagai berikut:

$$I_{out} = \frac{K_c \Delta t}{T_I} \sum_{i=1}^n E_i \quad (7)$$

Respon pengendali derivative dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} E(t) \quad (8)$$

Dalam bentuk digital pengendali derivative dinyatakan sebagai berikut:

$$D_{out} = \frac{K_c T_d}{\Delta t} (E_n - E_{n-1}) \quad (9)$$

Oleh karena itu, perubahan error pada derivative ini diubah menjadi perubahan *controlled variable* (CV) dimana $E_N = SP_N - CV_N$ sehingga:

$$D_{out} = \frac{K_c T_d}{\Delta t} (CV_n - CV_{n-1}) \quad (10)$$

Nilai output dari pengendali PID didapatkan berdasarkan penjumlahan dari masing-masing komponennya sebagai berikut:

$$MV(t) = K_d e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_c \frac{d}{dt} E(t) \quad (11)$$

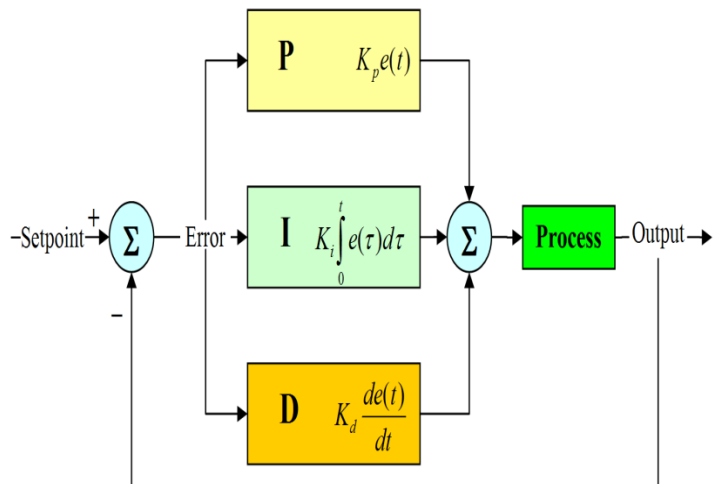
Bentuk pengendali PID digital dari rumus diatas adalah sebagai berikut:

$$MV_n = K_c [E_n + \frac{\Delta t}{T_I} \sum_{i=1}^n E_i + \frac{T_d}{\Delta t} (E_n - E_{n-1})] \quad (12)$$

Untuk meminimalisasi error pada saat terjadi perubahan *setpoint* maka digunakan rumus pengendali PID sebagai berikut:

$$MV_n = K_c [E_n + \frac{\Delta t}{T_I} \sum_{i=1}^n E_i + \frac{T_d}{\Delta t} (CV_n - CV_{n-1})] \quad (13)$$

Gambar blok diagram dari pengendali PID diatas adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Blok Diagram PID

Fungsi alih $H(s)$ pada sistem kontrol PID merupakan besaran yang nilainya tergantung pada nilai konstanta dari sistem P, I dan D.

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s^3 + K_D s^2 + K_P s + K_I} \quad (14)$$

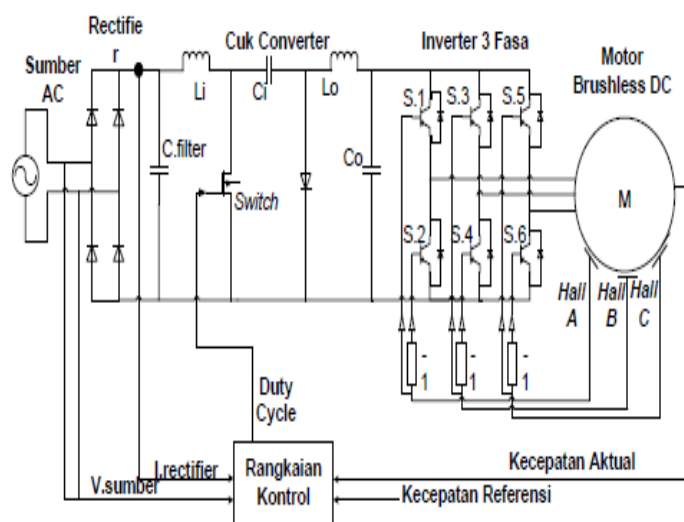
Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

III. Perancangan Sistem

A. Konfigurasi Sistem

Sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini secara umum dengan menggunakan sumber AC satu fasa, *rectifier* satu fasa, *cuk converter*, inverter tiga fasa, motor BLDC yang mengopel beban, serta

rangkaian kontrol. Sistem keseluruhan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Sistem dengan rangkaian *Cuk Converter* [1]

Pada Gambar 5. dapat dilihat sistem dengan rangkaian *Cuk Converter*, dimana *Cuk Converter* diletakan antara *rectifier* dan *inverter* yang berfungsi sebagai regulator arus dan tegangan ununtuk mendapatkan faktor daya yang baik, input dari *Cuk Converter* diperoleh dari rangkaian PID yaitu berupa *duty cycle* yang nantinya berpengaruh pada *switching*.

B. Permodelan Motor *Brushless DC*

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

Tabel 1. Parameter Motor MOOG Seri BN42-53IP-03.

No.	Parameter	Nilai
1.	Rated Power	874 Watt
2.	Rated Speed	2820 rpm
3.	Rated Torque	2.9588 Nm
4.	Resistance (phase-phase)	0.408
5.	Inductance (phase-phase)	1.71 mH
6.	Speed Constant (krpm/V)	29.239
7.	Torque Constant (Nm/A)	0.3269
8.	No. Of Poles	8
9.	Mpoment of inertia	$0.4939 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$
10.	No Load Speed	2920 rpm
11.	No Load Current	0.7 A

C. Perancangan *Cuk Converter* dan Filter

Perancangan *cuk converter* dan filter ini bertujuan untuk menyesuaikan nilai dari tiap komponen agar sesuai dengan kebutuhan penelitian. Nilai komponen dirancang berdasarkan sumber listrik dan motor yang digunakan. *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.

Tabel 2. Parameter rangkaian *Cuk Converter*

No.	Komponen	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Input	220	Volt
2.	Tegangan Output	100	Volt
3.	Daya Output	875	Watt
4.	Frekuensi <i>Switching</i>	50	kHz
5.	<i>Ripple</i> Arus Masukan	1	%
6.	<i>Ripple</i> Arus Luaran	1	%
7.	<i>Ripple</i> Tegangan	1	%
8.	Induktor (L1)	0.01375	mH
9.	Induktor (L2)	0.006875	mH
10.	Kapasitor (C1)	0.0000170906	μF

11.	Kapasitor (C2)	0.00005	μF
12.	Beban	11.428	Ω

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

$$V_o = V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (15)$$

$$V_o - V_o \cdot D = V_{in} \cdot D$$

$$V_o = V_{in} \cdot D + V_o \cdot D$$

$$D = \frac{V_o}{V_{in} + V_o \cdot D} \quad (16)$$

Duty cycle yang ditentukan pada desain rangkaian cuk konverter sebesar 0.3125 dengan frekuensi pensaklaran sebesar 50 kHz. Kedua parameter tersebut digunakan untuk membuat program pada psim yang akan menghasilkan bentuk gelombang persegi (*on-off*).

Ada 5 komponen yang harus dicari nilainya, yaitu L_i , L_o , C_i , C_o , dan Cfilter.

Rumus Cuk Konverter:

$$L_i = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{li}} = \frac{220 \times 0.3125}{50000 \times 0.1} = \frac{68.75}{5000} = 0.01375 \quad (17)$$

$$L_o = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta I_{lo}} = \frac{220 \times 0.3125}{50000 \times 0.2} = \frac{68.75}{10000} = 0.006875 \quad (18)$$

$$C_i = \frac{V_o \cdot D}{f \cdot \Delta V_{ci} \cdot R} = \frac{100 \times 0.3125}{50000 \times 3.2 \times 11.428} = \frac{31.25}{1.828.480} = 0.0000170906 \quad (19)$$

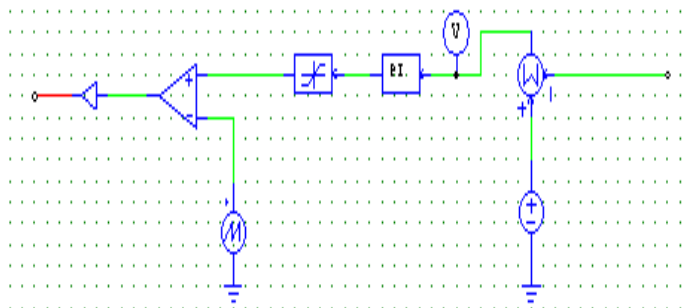
$$C_o = \frac{1-D}{f^2 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \cdot 8 \cdot L_2} = \frac{1-0.3125}{(50000)^2 \times \left(\frac{1}{100}\right) \cdot 8 \times 0.006875} = \frac{0.6875}{(2.500.000.000) \cdot (0.01) \cdot (0.055)} = \frac{0.6875}{1.375.000} = 0.00005 \quad (20)$$

Dengan menggunakan parameter pada Tabel 2, diperoleh nilai komponen sebesar 0.01375 mH untuk L_i , 0.006875 Mh untuk L_o , 0.0000170906 μF untuk C_i , 0.00005 mF untuk C_o , dan 3 μF untuk Cfilter.

D. Metode Kontrol dengan Inputan Tegangan

Pada metode ini akan digunakan tegangan sebagai referensi dari kontrol atau biasa disebut *set point*. Selanjutnya melalui operasi pengurangan, dicari *error* dari kecepatan referensi. Kecepatan referensi tersebut

dikurangi oleh nilai kecepatan aktual yang dideteksi oleh sensor kecepatan, atau dapat dikatakan, kecepatan aktual adalah umpan balik negatif. Selanjutnya, nilai *error* yang telah diperoleh akan diproses oleh kontroler PI. Hasil dari kontroler PI kemudian dikalikan oleh hasil sensor tegangan sumber yang telah diabsolutkan dan dibagi oleh 311, yang bertujuan agar sinyal berbentuk sinusoidal yang disearahkan. Gelombang tersebut kemudian masuk ke komparator dimana akan dibandingkan dengan gelombang arus *rectifier* dan hasil komparator kemudian dijadikan acuan untuk *switching* pada *cuk converter*.



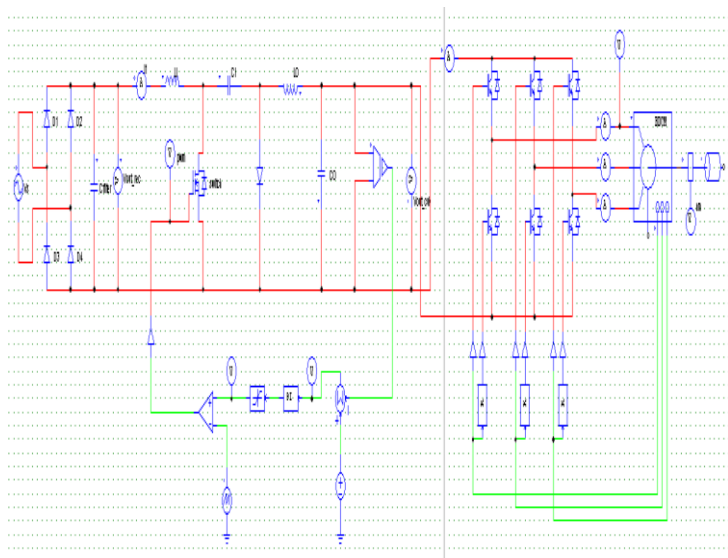
Gambar 6. Rangkaian Kontrol PI dengan Input Tegangan

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

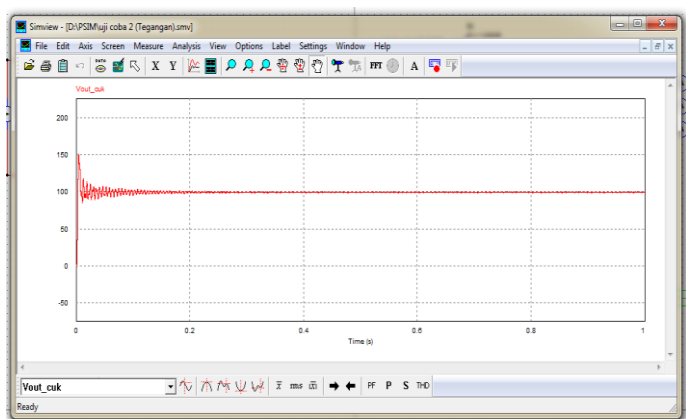
A. Pengoperasian Motor *Brushless* DC dengan Inputan Tegangan pada kontrol PID

Sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini secara umum dengan menggunakan sumber AC satu fasa, *rectifier* satu fasa, *cuk converter*, inverter tiga fasa, motor BLDC yang mengopel beban, disertai dengan rangkaian kontrol PID. Dimana sumber satu fasa AC disearahkan dengan *rectifier*, kemudian hasil penyearahan masuk ke VSI dengan berbasis kontrol dari sinyal sensor *hall-effect* sehingga switch dapat *open* dan *close*. Hasil Kontrol tegangan yang diperoleh dari skema ini hampir sesuai dengan referensi yang diinginkan yaitu 99.72537 V dari nilai referensi yaitu 100 V, Untuk memperbaiki nilai tegangan yaitu dengan cara mengatur nilai dari tiap kapasitor yang ada di *cuk converter*. *Cuk converter* disini akan bekerja sebagai instrumen untuk menjaga nilai faktor daya tetap di nilai normal serta mengurangi harmonisa hasil dari penyearahan dan *switching* pada VSI, dapat

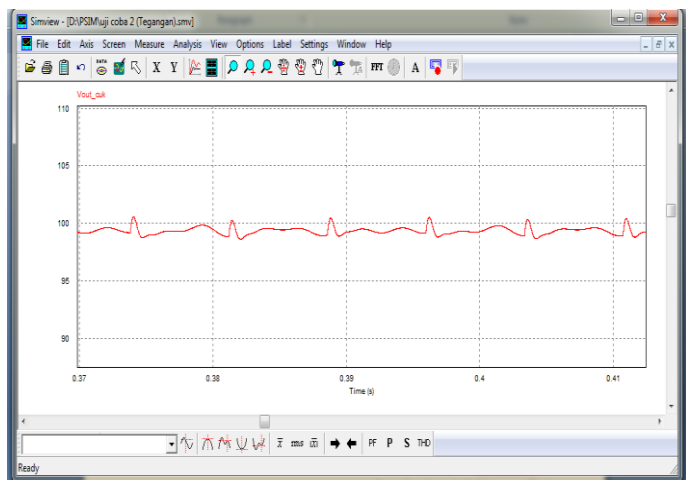
dikatakan fungsi *cuk converter* mirip seperti *regulator* tegangan dan arus.



Gambar 7. Rangkaian kontrol dengan Input Tegangan



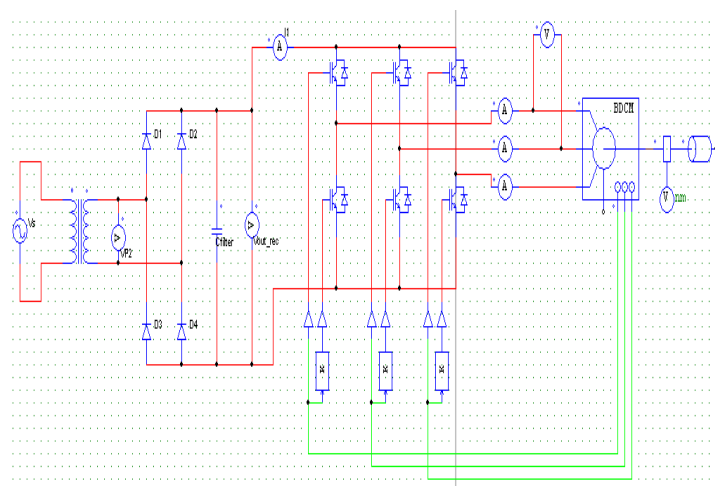
Gambar 8. Hasil Gelombang Tegangan (1)



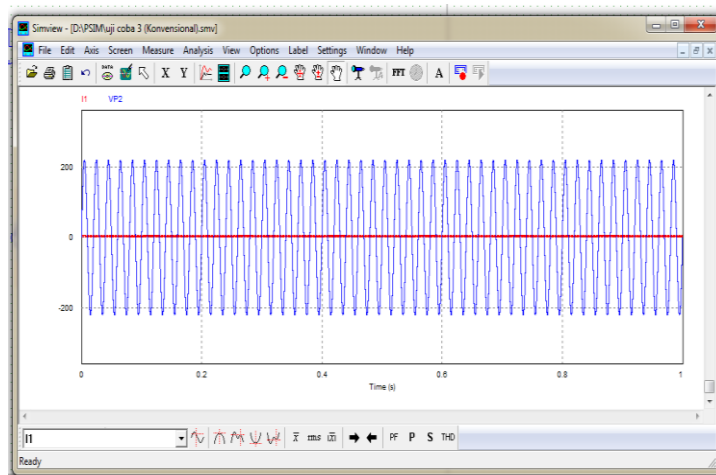
Gambar 9. Hasil Gelombang Tegangan (2)

B. Metode Konvensional

Sistem dengan metode konvensional ini menggunakan sumber AC dan penyearah untuk menyearahkan sumber listrik AC tersebut, akan tetapi setelah sumber disearahkan langsung masuk sebagai input dari *inverter*. Pada hasil simulasi metode konvensional ini, diamati tegangan dan arus pada sumber AC seperti yang ditunjukkan pada gambar



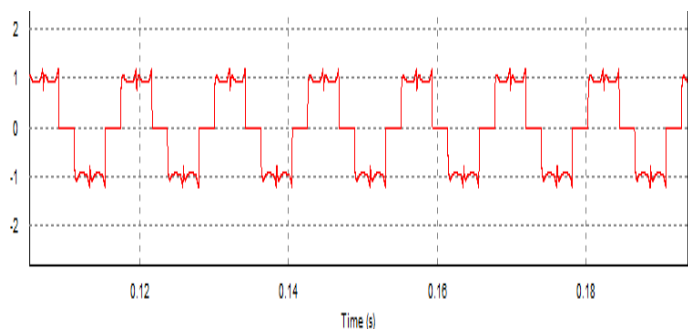
Gambar 10. Rangkaian dengan Metode Konvensional



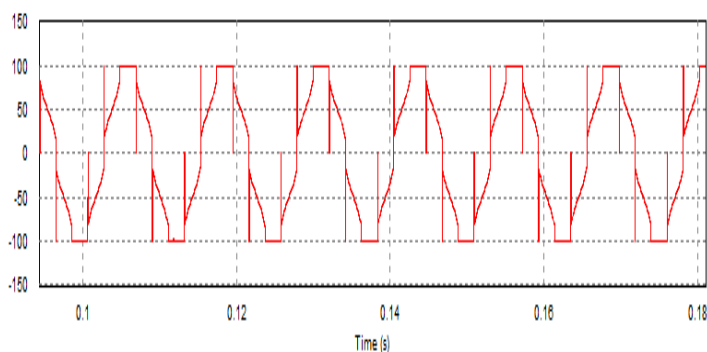
Gambar 11. Gelombang Tegangan dan Arus Sumber AC

Dalam melakukan analisa pada motor BLDC kali ini, kita fokuskan pada perbaikan faktor daya, hasil akan berupa THD (*Total Harmonic Distorion*) dan PF (*Power Factor*). Semua akan disimulasikan dalam software PSIM dengan variable perubahan beban dari tanpa beban, 0.25 Nm, 0.5 Nm, 0.75 Nm, dan 1 Nm.

Tegangan awal rms 220 V dari sumber akan diturunkan menjadi 100 V di *buck boost* dan paramter ini juga yang menjadi input optimal dari motor BLDC.

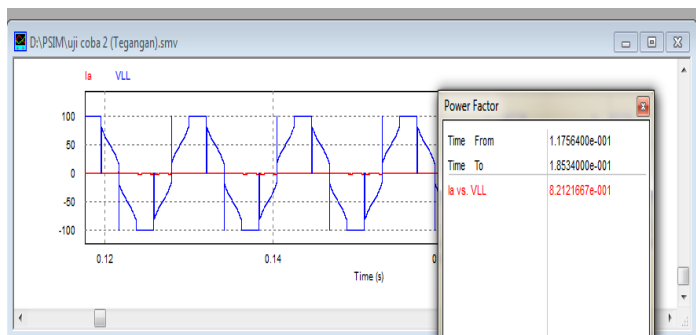


Gambar 12. Arus AC input motor BLDC (no load)



Gambar 13. Tegangan AC input motor BLDC (no load)

Gambar 12 dan gambar 13 menunjukkan arus dan tegangan no load pada sistem, besar arus adalah 2,32 A dan tegangan 100 V, untuk THD dari arus sendiri sebesar 1.872 atau sekitar 6% sedangkan untuk tegangan sendiri THD sebesar 2,48 atau sekitar 2%. Untuk Faktor daya sendiri atau PF dapat dilihat pada software PSIM dengan mengkondisikan sinyal tegangan dan arus dalam satu grafik,



Gambar 14. Sinyal Tegangan dan Arus

Setelah disimulasikan hasil nilai PF dari sistem ini didapatkan lah nilai sebesar 0,81. Dimana nilai ini sudah dianggap cukup baik. Selanjutnya akan kita

tambahkan beban untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai PF, untuk hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pembebanan

Beban	Speed	Power Factor
No load	2393 rpm	0,81
0,25 Nm	1918 rpm	0,81
0,5 Nm	1393 rpm	0,82
0,75 Nm	856 rpm	0,84
1 Nm	523 rpm	0,83

V. KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan:

1. Sistem pengaturan dengan menggunakan Kontrol Tegangan motor *brushless* DC dapat menghasilkan nilai referensi yang diinginkan yaitu 99.72537 V dari nilai referensi yaitu 100 V,
2. Faktor daya yang didapat dengan menambahkan *cuk converter* pada sistem sudah baik yaitu berkisar 0,8.
3. Semakin besar beban maka kecepatan menurun

Daftar Pustaka

- [1] Hadyan Perdana, Heri S, dan Sjamjul A. 2016. Perbaikan Faktor Daya Menggunakan *Cuk Converter* pada Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC. Vol. 5, No. 2. ISSN. 2337-3539
- [2] Rajne Milan “Generate your own commutation ta le Trapezoidal control 3-phase BLDC motors using hall sensors” November, 2013.
- [3] Adhika Prajna Nandiwardhana, Heri Suryoatmojo, dan Mochamad Ashari. 2016. Perancangan *Zeta Converter* yang dilengkapi *Power Factor Correction* pada Aplikasi Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless* DC. Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- [4] W Mack Grady dan Robert J. Gilleskie “*Harmonics and How They Relate to Power Factor*” Proc Of the EP I Power Quality Issues

- & Opportunities Conference (PQA'93), San Diego CA, November 1993.
- [5] Fahmi Ahmad Afif “*Sistem Pengereman Elektris Brushless DC Motor Menggunakan Bidirectional Inverter Untuk Aplikasi Kendaraan Listrik*” Laporan Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.
- [6] Singh B., Singh B.P., Dwivedi, S., “*AC-DC zeta converter for power quality improvement of direct torque controlled PMSM drive*” *Korean J. Power Electron.*, vol. 6, no. 2, pp. 146-162, April 2006.
- [7] Case Study “imple Analysis for Brushless DC Motors” Massachusetts Institute of echnology MIT .