

Design of three phase half wave rectifier with minimum THD and Power Factor close to unity using PI Fuzzy switching control in Boost Converter

Ainur Rofiq N¹, Irianto², Cahyo Fahma S³

¹ Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

² Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³ Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: cahyofahma@gmail.com

Abstract

Three phase Half wave rectifier is ones of technical changing the AC voltage into the DC voltage. In the rectification process which conducted by diode will arise harmonics on input current, so the current input source will be distorted and the phase shift so the power factor will low. With using the boost converter, beside increasing the output voltage, the rectification source also can decreasing that low frequency harmonics and increasing power factor. However, new harmonic will appear with high frequency from the result of switching process on boost converter. Therefore, This circuit is using the PI Fuzzy controller as switching in boost converter that expected to reduce the harmonics so input current is undistorted and overall power factor of rectifier circuits can be close to one.

Keyword : Three phase Half wave rectifier, Harmonics, Boost Converter, Power Faktor

I. PENDAHULUAN

Pertimbangan harmonisa dan distorsi gelombang yang terjadi akibat pemasangan penyearah setengah gelombang memegang peranan yang penting. Terutama yang berhubungan pergeseran arus input dan tegangan input Ac to Dc Half Wave Rectifier yang mengakibatkan faktor daya rendah. Perbaikan kualitas sumber Ac to Dc Half Wave Rectifier satu fasa dan tiga fasa dengan power faktor mendekati satu telah menjadi objek yang mendapat perhatian secara khusus, terutama Ac to Dc Half Wave Rectifier tiga fasa.

Untuk perbaikan harmonisa frekuensi rendah akibat penggunaan Ac to Dc Half Wave Rectifier tiga fasa dan pergeseran fasa, dimungkinkan menggunakan elemen pasif dengan frekuensi rendah dan penggunaan penyaklaran tunggal tanpa kontrol aktif arus.

Dengan menggunakan boost konverter sebagai penyaklaran tunggal, power faktor menjadi lebih baik. Selain digunakan untuk menaikkan tegangan DC, boost konverter juga digunakan untuk memperbaiki power faktor. Serta filter input digunakan untuk mengurangi harmonisa frekuensi tinggi yang diakibatkan oleh penggunaan boost konverter menjadi sekitar dibawah 3%.

Pengontrolan switching MOSFET tersebut dilakukan oleh PWM dengan metode PI Fuzzy yang menggunakan mikrokontroler AVR untuk pemrogramannya dengan memanfaatkan PWM internal pada mikrokontroler tersebut, sehingga outputnya bisa konstan.

Kontroler PI juga merupakan salah satu metode pengontrolan yang digunakan untuk menghasilkan output yang konstan. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing – masing kontroler P dan I dapat saling menutupi dengan menggabungkan keduanya secara paralel menjadi kontroler

proporsional plus integral (kontroler PI). Elemen-elemen kontroler P dan I masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Keluaran kontroler PI merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional dan, integral. Penyetelan konstanta K_p dan K_i akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Salah satu dari konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang akan memberi kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

II. DASAR TEORI

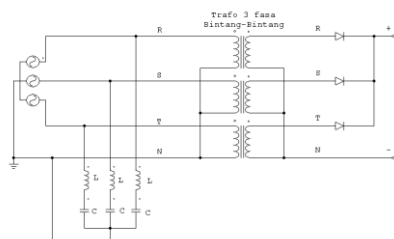
A. Half Wave Rectifier 3 Fasa

Rangkaian Half Wave Rectifier 3 Fasa merupakan rangkaian dasar pada sebagian besar rangkaian rectifier fasa banyak (*Polyphase rectifier*), meskipun pemakainanya terbatas. Pemberian supply tegangan pada rangkaian ini membutuhkan Supply Transformer (Trafo) yang dihubungkan secara bintang-bintang (Y-Y) untuk mensupply beban DC yang berupa beban resistif dan induktif, misalnya motor DC.

Pada rangkaian fasa banyak, interfal waktu (periode) pada gelombang beban DC lebih pendek daripada gelombang beban DC pada rangkaian satu fasa, dan juga pada praktiknya rangkaian rectifier fasa banyak bisa mensupply beban-beban induktif yang lebih besar. Hasilnya adalah untuk ripple pada arus beban menjadi berkurang. Oleh karena itu, pada pembentukan gelombang arus untuk rangkaian fasa banyak ini memiliki ripple yang sangat kecil.

Hubungan dari rangkaian Half Wave Rectifier 3 fasa dapat dilihat dari gambar 1.1 dibawah ini. Tiap-tiap fasa dihubungkan pada beban melalui dioda dan pada semua hubungan Half Wave Rectifier

arah arus beban dihubungkan pada titik netral pada supply.



Gambar 1. Rangkaian Half Wave Rectifier 3 fasa

Nilai tegangan rata-rata dari beban (V_L Average) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{ave} = 0,827 V_m$$

Nilai tegangan RMS dari beban (V_L rms) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{rms} = 0,84 V_m$$

Dengan melihat arus beban yang ditunjukkan pada gambar 1.2 kita dapat menghitung nilai rata-rata dari arus beban (I_{ave}) dengan rumus :

$$I_{ave} = \frac{I_m \sqrt{3}}{2\pi} = 0,2756 I_m$$

Nilai arus RMS dari beban (I_L rms) dapat dihitung dengan rumus :

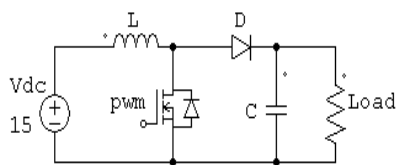
$$I_{rms} = I_m \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi}} = 0,485 I_m$$

Perhitungan THD

$$THD = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{I_{rms1}^2} - 1}$$

B. Prinsip Kerja Boost Converter

Gambar dibawah ini menunjukkan gambar rangkaian dasar Boost Converter.

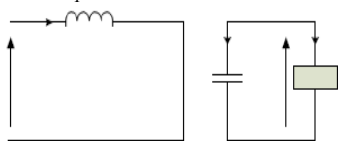


Gambar 2. Rangkaian dasar Boost Converter

Prinsip kerja dari boost konverter ini terbagi menjadi 2 mode yaitu :

□ Mode 1

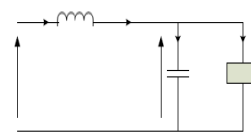
Mode 1 dimulai ketika M_1 di on-kan pada $t = 0$. Arus masukan yang meningkat mengalir melalui induktor L dan Sw. Karena tegangan pada kapasitor masih 0 sehingga beban tidak mendapat suplai tegangan saat M_1 pertama kali di on-kan.



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Mode 1

□ Mode 2

Mode 2 dimulai pada saat M_1 di off-kan pada $t = t_1$. Arus yang mengalir melalui Sw akan mengalir melalui L, C, beban, dan diode D_m . Arus induktor akan turun sampai transistor di on-kan kembali pada siklus lebih lanjut. Energi yang tersimpan pada induktor L dipindahkan ke beban.



Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Mode 2

Dan ketika Sw di on-kan kembali maka arus pada induktor L akan meningkat dan energi yang tersimpan pada kapasitor C akan mengalir ke beban, sehingga aliran tegangan yang mengalir ke beban tidak akan pernah terputus / kontinu. Sehingga tegangan rata-rata dari Boost Konverter dapat dirumuskan seperti dibawah ini:

$$V_o = \frac{V_s}{1-k}$$

$$k = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

dimana:

V_o = Tegangan Output, V

V_s = Tegangan Input, V

k = Duty Cycle

t_1 = waktu untuk mode 1, detik

t_2 = waktu untuk mode 2, detik

Boost Converter dapat menaikkan tegangan keluaran tanpa memerlukan trafo. Karena memiliki 1 buah transistor. Arus masukan kontinu namun arus puncak yang tinggi mengalir melalui transistor. Tegangan keluaran sangat sensitif terhadap perubahan duty cycle k dan sangat sulit untuk menstabilkan regulator.

C. Perancangan kontroller PI Fuzzy

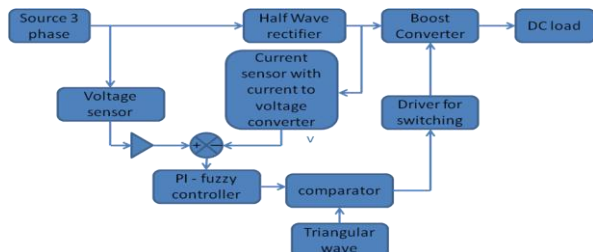
Langkah peyusunan PI Fuzzy adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai K_p , dan K_i yang digunakan pada kontrol PI dengan metode try and error. Kontroler Proportional – Integral (PI) memiliki persamaan fungsi alih sebagai penjumlahan dari gain proportional, dan gain integral atau $G_{pi} = G_p + G_i$, Fungsi alihnya adalah sebagai berikut : $U(t) = K_p * e(t) + K_i \int e(t) dt$
- Menentukan fuzzyfikasi– proses memetakan nilai masukan sistem kedalam fungsi keanggotaan untuk menentukan resultan nilai kebenaran untuk setiap label (fungsi keanggotaan), hasilnya adalah masukan fuzzy.
- Menentukan evaluasi Rule Perhitungan relatif yang dapat digunakan, atau “nilai kebenaran” tiap rule. Dalam inferen MIN-MAX, hal ini sama dengan nilai minimum antecedent (masukan

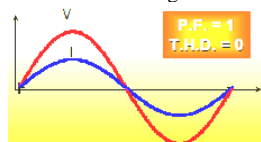
fuzzy) untuk rule tersebut. Keluaran fuzzy dihitung dengan menentukan nilai maksimum rule strength untuk tiap label keluaran.

- Menentukan proses defuzzyfikasi – Proses penghitungan center of gravity (COG) seluruh keluaran fuzzy untuk variabel keluaran yang diberikan untuk menentukan nilai output yang diberikan. Output dari COG digunakan sebagai nilai Kp dari controller PI.

III. METODE PENGONTROLAN



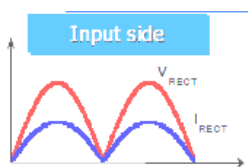
Gambar 5. Blok diagram sistem



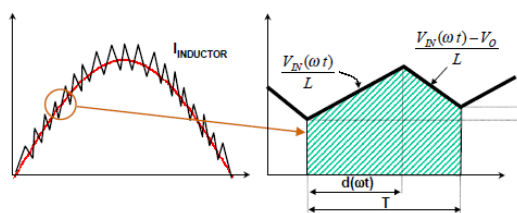
Gambar 6. Bentuk gelombang input

Gambar 5 diatas menunjukkan konfigurasi dasar dari konverter AC to DC 3 fasa dengan metode arus rata-rata pada boost converter. Sehingga perlu dilakukan pengaturan yang lebih baik pada controller agar hasilnya diharapkan tampak pada gambar 6.

Dari gambar 7 menunjukkan arus dan tegangan yang disensing setelah disearahkan dimana ini nantinya dijadikan referensi pembandingan yang akan diinputkan ke controller. Kemudian controller ini yang akan bertugas untuk mengatur seberapa besar switching untuk mengatur aliran arus induktor pada boost converter seperti tampak pada gambar 8 dimana T adalah periode switching d(wt) adalah lamanya charging pada induktor.



Gambar 7. Perbandingan bentuk arus dan tegangan



Gambar 8. Proses switching pada induktor

Dengan melihat blok gambar 8 diatas tampak bahwa sensor tegangan dan sensor arus menyensor pada posisi input yang kemudian disearahkan untuk mendapat nilai error yang dihasilkan. Sebelum dibandingkan dengan nilai arus maka dipasang multification dengan tegangan referensi untuk mengatur arus input yang dibutuhkan.

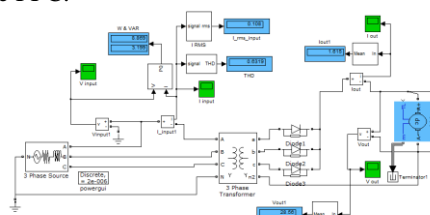
Kontrol PI-fuzzy ini bertindak untuk meminimalkan error yang dihasilkan. Output dari PI kontrol ini akan diatur tegangannya dengan limiter sesuai output yang dihasilkan controller. Nilai ini kemudian dikomparatorkan dengan gelombang gigi gerjaji untuk m

enghasilkan PWM pada gate MOSFET.

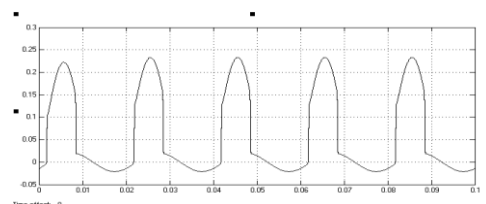
Tegangan ripple output yang dihasilkan oleh boost converter diminimalisir dengan memasang filter kapasitor.

IV. Hasil penelitian melalui simulasi

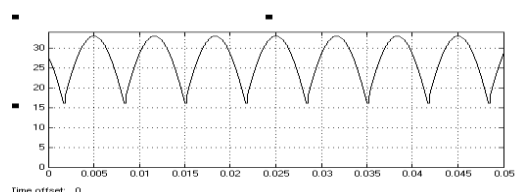
Sebagai bahan perbandingan dalam pengujian metode PFC ini, berikut adalah simulasi rangkaian penyearah biasa dengan Vin = 380V, filter kapasitor 10uF dan beban motor DC sebelum menggunakan metode PFC.



Gambar 9. Rangkaian Penyearah



Gambar 10. Bentuk arus input



Gambar 11. Bentuk tegangan output

Dan ketika disimulasikan dengan metode PFC dengan parameter sebagai berikut :

$$V_{in} = 220V$$

$$f = 50Hz$$

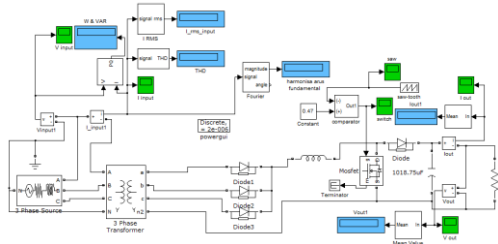
$$f_s = 40KHz$$

dengan menggunakan persamaan :

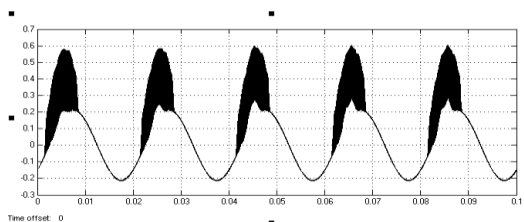
$$L = \frac{1}{f} * (V_{out} + V_f - V_{in}) * \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f} \right) * \left(\frac{1}{\Delta L_L} \right)$$

$$C_{out} = \frac{\Delta Q}{\Delta V_O} = \frac{I_{C.rms} * D * T}{\Delta V_O}$$

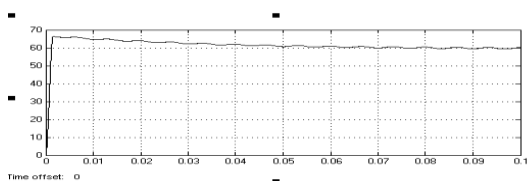
Maka didapat nilai $L=71.824 \mu\text{H}$ dan $C=1018.75 \mu\text{F}$
 Berikut adalah desain rangkaian penyearah dan boost converter.



Gambar 12. Penyearah + Boost Converter

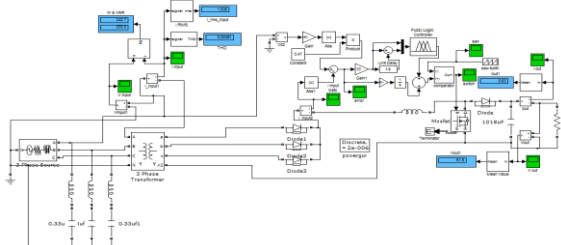


Gambar 13. Bentuk arus input

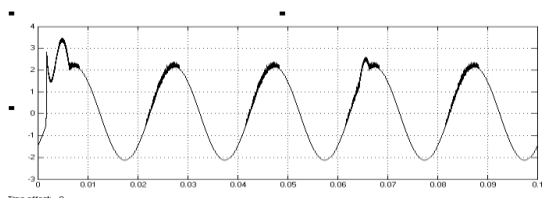


Gambar 14. Bentuk tegangan output

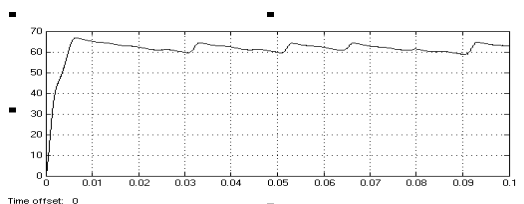
Dibawah ini adalah bentuk konfigurasi rangkaian yang telah dilengkapi dengan controller PI-fuzzy.



Gambar 15. Rangkaian Penyearah + Boost Converter + PFC



Gambar 16. Bentuk arus input



Gambar 17. Bentuk tegangan input

V. Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan simulasi maka berikut adalah data THD dan power factor (PF) yang dihasilkan konverter AC to DC sebelum dan sesudah PFC.

Tabel 1.
 Hasil simulasi rangkaian menggunakan Matlab

No	Rangkaian	PF	% THD
1.	Penyearah	0.92	55.9%
2.	Penyearah + Boost Converter	0.84	38%
3.	Penyearah + Boost Converter + PFC	0.99	5%

Hasil diatas (setelah PFC) akan semakin baik jika membership function ditambah jumlahnya sehingga meningkatkan ketelitian dalam proses agar output semakin baik. Dan pemasangan besar kapasitor akan mempengaruhi nilai harmonisa dan power factornya.

VI. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil percobaan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Tanpa menggunakan boost converter dan metode PFC converter, rangkaian penyearah AC to DC 3 fasa akan terlihat seperti sumber harmonisa dengan arus input tidak sinus lagi hal ini tampak pada gambar dan nilai THD yang besar (43%) serta power factor yang rendah (0,33).
- Dengan menggunakan boost converter tanpa metode PFC converter, rangkaian penyearah AC to DC 3 fasa terlihat adanya perbaikan power factor walaupun sedikit (0,43), namun justru harmonisanya lebih tinggi dengan nilai THD sebesar 62%.
- Menggunakan metode PFC dengan controller PI-fuzzy akan tampak sistem yang stabil untuk waktu pengoperasian lama dimana error dapat ditekan sekecil mungkin sehingga kualitas input dan output tetap terjaga walaupun pada beban berubah. Hal ini dapat dilihat pada nilai THD sebesar 2.78% dan power factor 0,98.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lander, Cyril W, "Power Electronics" third edition. London, McGRAW HILL International Edition, 1993.
- [2] Rashid, Muhammad H, "Power Electronics Handbook". Canada. ACADEMIC PRESS, 2001.
- [3] Rochim, Saiful, "Rancang bangun AC to DC semikonferter 3 fasa dengan frekwensi rendah dengan control switching PID fuzzy". Surabaya. PENS-ITS, 2006.
- [4] Ayub Windarko, Novie, "Aplikasi Boost Converter untuk Alat Bantu Sistem Penyimpan Energi pada Sistem Pembangkit Listrik Hibrid". presented at the 7nd IES Surabaya. PENS-ITS, 2005.
- [5] Salam, Dr.Zainal, "Capter 2 AC to DC Conversion (Rectifier).pdf", UTMJB Malaysia, 2003.
- [6] Prabowo, Gigih, "Rectifiers (AC to DC Converters).pdf", Surabaya. PENS-ITS, 2004.
- [7] Sunarno Epyk, Rofiq N. Ainur dan Wahjono Endro, "Desain Ac to Dc Semi Konveter Tiga Fasa dengan Harmonisa Rendah dan Faktor Daya Mendekati Unity Menggunakan Kontrol Switching PID Kontroler", Surabaya, PENS-ITS, 2006.