

STUDI PENGGUNAAN PENYEARAH 18 PULSA DENGAN TRANSFORMATOR 3 FASA KE 9 FASA HUBUNGAN SEGIENAM

Ahmad Saudi Samosir

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
Gedung H-FT Jalan Prof Sumatri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung 35245
Telepon: (0721) 701609 Ext.219, Fax: (0721) 704947
e-mail: ahmadsaudi@yahoo.com

Abstract

The 18-pulse converter, using Y or Δ -connected differential autotransformer, is very interesting since it allows natural high power factor correction. The lowest input current harmonic components are the 17th and 19th. The Transformer is designed to feed three six-pulse bridge rectifiers displaced in phase by 20° . This paper present a high power factor three-phase rectifier bases on 3-phase to 9-phase transformer and 18-pulse rectifier. The 9-phase polygon-connected transformer followed by 18-pulse diode rectifiers ensures the fundamental concept of natural power factor correction. Simulation results to verify the proposed concept are shown in this paper.

Keywords: 18-pulse rectifier, 3-phase to 9-phase transformer, power factor correction

Abstrak

Konverter 18 pulsa menggunakan autotransformer diferensial terkoneksi Y atau Δ adalah sangat disenangi, karena memungkinkan koreksi faktor daya tinggi alamiah. Komponen harmonisa arus input paling rendah adalah orde 17 dan 19. Transformer ini dirancang untuk mengumpukan 3-penyearah jembatan 6-pulsa yang berbeda fasa 20° . Paper ini menyajikan penyearah 3-fasa faktor daya tinggi berbasis transformer 3-fasa ke 9-fasa dan penyearah 18-pulsa. Transformer 9-fasa terkoneksi segienam mengikuti penyearah 18-pulsa yang diusulkan dan dijelaskan pada paper ini, telah memberikan konsep fundamental untuk koreksi faktor daya alamiah. Hasil simulasi menunjukkan verifikasi atas konsep yang diusulkan.

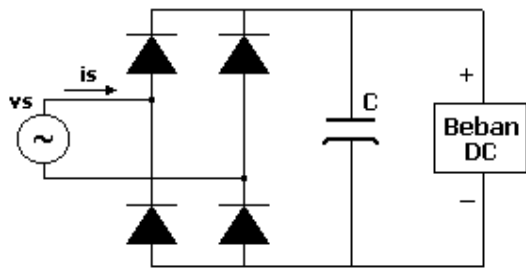
Kata Kunci: koreksi faktor daya, penyearah 18-pulsa, transformer 3 fas ke 9 fasa

1. PENDAHULUAN

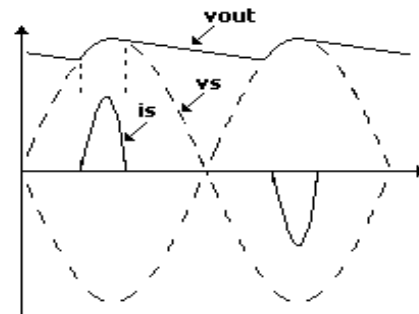
Penyearah dioda atau penyearah thyristor merupakan rangkaian utama dari peralatan catu daya dc yang ada saat ini. Catu daya dc untuk beban beban kecil umumnya menggunakan penyearah dioda satu fasa gelombang penuh jenis jembatan yang dilengkapi dengan filter kapasitor sebagai perata tegangan keluaran seperti pada Gambar 1. Tegangan keluaran penyearah satu fasa gelombang penuh membentuk 2 buah gelombang (pulsa) pada setiap perioda tegangan sumber nya.

Pada pengoperasiannya, arus masukan penyearah di sisi jala jala sistem distribusi akan mengalir pada saat terjadinya pengisian kapasitor filter, sehingga bentuk arus input ini menjadi non sinusoidal atau terdistorsi dari bentuk sinusoidalnya, seperti terlihat pada Gambar 2.

Dengan analisa deret Forier didapatkan bahwa bentuk gelombang arus periodik non sinusoidal seperti ini akan terdiri dari satu komponen arus fundamental yang mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi sistem dan sejumlah komponen arus harmonisa yang mempunyai frekuensi kelipatan dari frekuensi sistem. Pada kasus penyearah satu fasa gelombang penuh, arus input didominasi oleh komponen arus harmonisa orde ganjil kelipatan tiga (harmonisa orde 3,9,15,21,... dan seterusnya) [1].

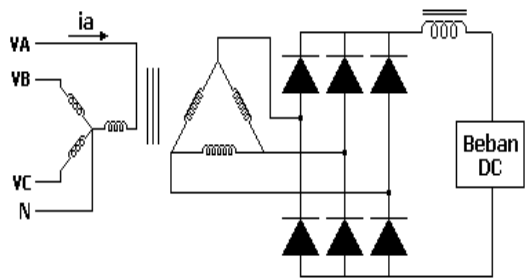


Gambar 1. Penyearah satu fasa gelombang penuh dengan Filter Kapasitor

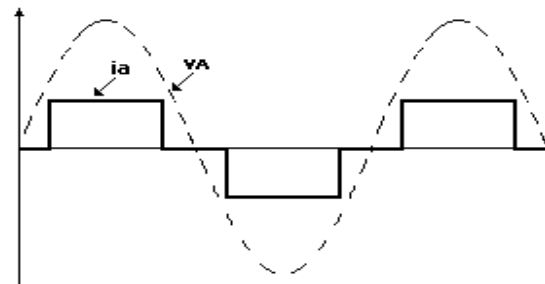


Gambar 2. Gelombang Arus dan tegangan Penyearah satu fasa gelombang penuh dengan Filter Kapasitor

Pada beban dengan kebutuhan daya yang lebih besar biasanya digunakan penyearah dioda tiga fasa gelombang penuh jenis jembatan seperti pada Gambar 3. Dengan menggunakan penyearah dioda tiga fasa gelombang penuh akan dihasilkan daya keluaran yang lebih besar. Tegangan keluaran penyearah tiga fasa gelombang penuh membentuk 6 buah gelombang (pulsa) pada setiap perioda tegangan sumber nya. Arus masukan penyearah di sisi jala jala sistem distribusi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Penyearah tiga fasa gelombang penuh



Gambar 4. Gelombang Arus dan tegangan penyearah tiga fasa gelombang penuh

Analisa deret Forier menunjukkan bahwa bentuk gelombang arus masukan penyearah tiga fasa gelombang penuh di sisi jala jala sistem distribusi terdiri dari satu komponen arus fundamental yang mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi sistem dan sejumlah komponen arus harmonisa yang terdiri dari harmonisa orde 5,7,11,13,17,19, dan seterusnya.

Komponen arus harmonisa ini mengalir melalui konduktor netral sistem, sehingga menyebabkan arus netral sistem menjadi besar. Selain itu, adanya arus harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik dapat menyebabkan faktor daya sistem menjadi menurun dan meningkatkan rugi rugi sistem terutama rugi rugi pada transformator dan jaringan.

Guna mengatasi hal ini banyak dilakukan penelitian untuk menemukan teknik teknik untuk mengurangi harmonisa pada arus masukan penyearah. Salah satu teknik untuk mengurangi harmonisa pada arus masukan penyearah adalah dengan cara menggunakan penyearah pulsa banyak.

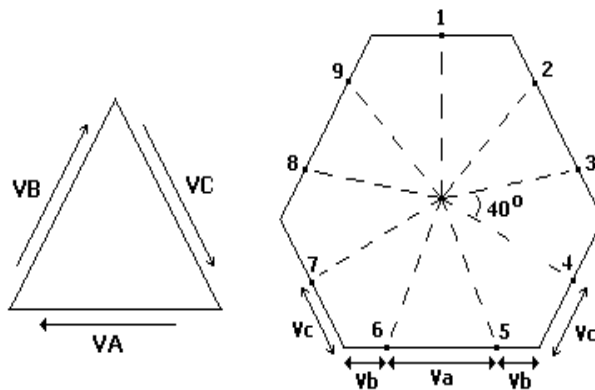
Penyearah dengan keluaran multi pulsa merupakan salah satu cara perbaikan performansi penyearah. Keuntungan penyearah multi pulsa adalah ukuran induktor filter harmonisa menjadi kecil, karena harmonisa yang timbul adalah harmonisa frekwensi tinggi [1].

Penyearah multi pulsa terdiri dari sebuah transformator dan penyearah dioda. Transformator merubah listrik arus bolak balik 3 fasa menjadi listrik arus bolak balik fasa banyak. Untuk memperoleh fasa banyak dipergunakan transformator tiga fasa yang mempunyai banyak belitan (multi winding transformer). Jumlah lilitan masing masing belitan dan hubungan belitan dari transformator menentukan besar tegangan, beda fasa tegangan serta jumlah fasa yang dihasilkan [2].

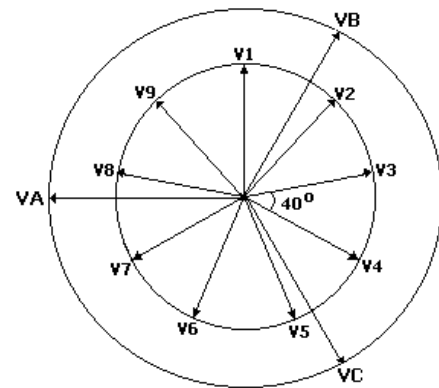
Dilihat dari gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan, ada dua jenis penyearah yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Pada penyearah setengah gelombang jumlah pulsa keluaran penyearah sama dengan jumlah fasa tegangan masukan penyearah, sedangkan pada penyearah gelombang penuh jumlah pulsa keluaran penyearah sama dengan dua kali jumlah fasa tegangan masukan penyearah [3, 4].

Untuk merealisasikan penyearah 18 pulsa, pada penelitian ini dipergunakan transformator yang dapat merubah listrik arus bolak balik 3 fasa menjadi listrik arus bolak balik 9 fasa.

Transformator yang digunakan adalah sebuah transformator 3 fasa yang mempunyai satu buah belitan primer dan empat buah belitan sekunder pada masing masing fasanya. Belitan primer transformator dihubungkan membentuk hubungan delta dan belitan sekunder transformator dihubungkan membentuk segienam seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Transformator 3 Fasa ke 9 Fasa Hubungan Segienam



Gambar 6. Vektor Diagram tegangan masukan dan keluaran transformator 3 Fasa ke 9 Fasa Hubungan Segienam

Transformator di suplai dari sistem tegangan 3ϕ yang seimbang. Keluaran dari belitan sekunder membentuk sistem tegangan 9ϕ yang masing masing berbeda fasa sebesar 40° . Vektor diagram dari tegangan masukan dan keluaran transformator diperlihatkan pada Gambar 6.

Pada penelitian ini dilakukan studi tentang penggunaan penyearah 18 pulsa dengan transformator 3 fasa ke 9 fasa hubungan segi enam pada catu daya dc sebagai upaya mengurangi harmonisa pada arus masukan penyearah dan meningkatkan faktor daya.

2. METODE PENELITIAN

Analisa Penyearah 18 Pulsa Hubungan Segienam

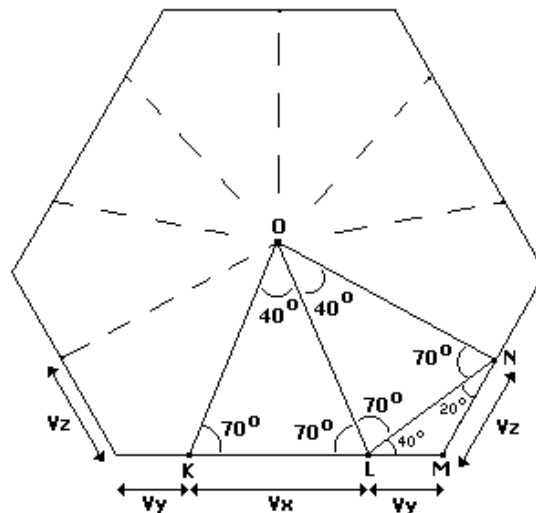
Sistem penyearah 18 pulsa terdiri rangkaian transformer 3 fasa ke 9 fasa dan penyearah jembatan penuh 9 fasa.

a. Transformator 3 Fasa ke 9 Fasa

Belitan primer transformator terdiri dari belitan LA, LB dan LC yang dirangkai secara delta dan dihubungkan ke sumber tegangan 3 ϕ seimbang.

Belitan sekunder didesain sedemikian rupa untuk menghasilkan keluaran tegangan 9 ϕ , yang masing masing fasanya berbeda fasa sebesar 40°. Selanjutnya tegangan 9 ϕ ini akan diumpankan ke penyearah dioda. Belitan sekunder terdiri dari 15 belitan yang dihubungkan membentuk segienam, yaitu: Belitan Lx, 1 belitan di setiap fasa, Belitan Ly, 2 belitan di setiap fasa, dan Belitan Lz, 2 belitan di setiap fasa.

Magnitudo tegangan pada masing masing belitan sekunder dapat ditentukan dengan menggambarkan kembali hubungan belitan sekunder transformator seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan belitan sekunder transformator

Dari segitiga KOL didapat hubungan:

$$\frac{V_x}{\sin 40^\circ} = \frac{V_s}{\sin 70^\circ}$$

$$V_x = \frac{\sin 40^\circ}{\sin 70^\circ} \times V_s$$

$$V_x = 0,684 V_s \quad (1)$$

dari segitiga LNM didapat hubungan:

$$\frac{V_x}{\sin 120^\circ} = \frac{V_y}{\sin 20^\circ} = \frac{V_z}{\sin 40^\circ}$$

$$V_y = \frac{\sin 20^\circ}{\sin 120^\circ} \times V_x$$

$$V_y = 0,395 \times 0,684 \text{ Vs}$$

$$V_y = 0,270 \text{ Vs} \quad (2)$$

$$V_z = \frac{\sin 40^\circ}{\sin 120^\circ} \times V_x$$

$$V_z = 0,742 \times 0,684 \text{ Vs}$$

$$V_z = 0,508 \text{ Vs} \quad (3)$$

dengan: V_x = tegangan efektif pada belitan x
 V_y = tegangan efektif pada belitan y
 V_z = tegangan efektif pada belitan z
 V_s = tegangan efektif pada setiap fasa keluaran transformator.

Dengan mendefinisikan Rasio tegangan masukan dan keluaran transformator 9 fasa hubungan segienam sebagai :

$$N = \frac{V_A}{V_s} \quad (4)$$

dengan: N = Rasio tegangan masukan dan keluaran transformator.
 V_A = Nilai efektif tegangan masukan.
 V_s = Nilai efektif tegangan keluaran.

Perbandingan belitan primer dan sekunder dapat ditentukan sebagai berikut:

$$N_x = \frac{V_A}{V_x} = \frac{N V_s}{0,684 V_s}$$

$$N_x = 1,462 N \quad (5)$$

$$N_y = \frac{V_A}{V_y} = \frac{N V_s}{0,270 V_s}$$

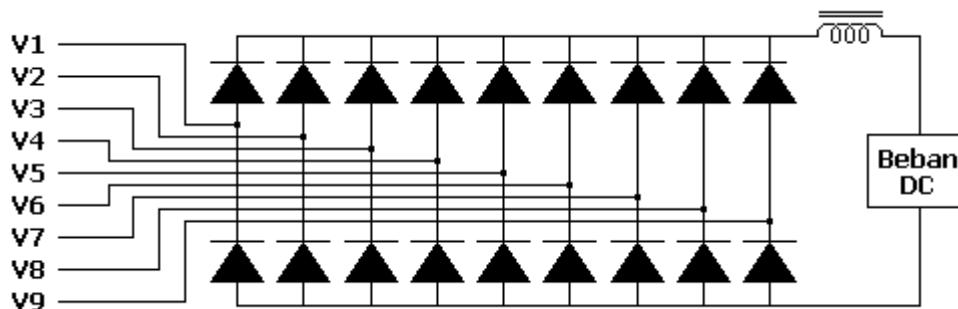
$$N_y = 3,704 \text{ N} \quad (6)$$

$$N_z = \frac{V_A}{V_z} = \frac{N V_s}{0,508 V_s}$$

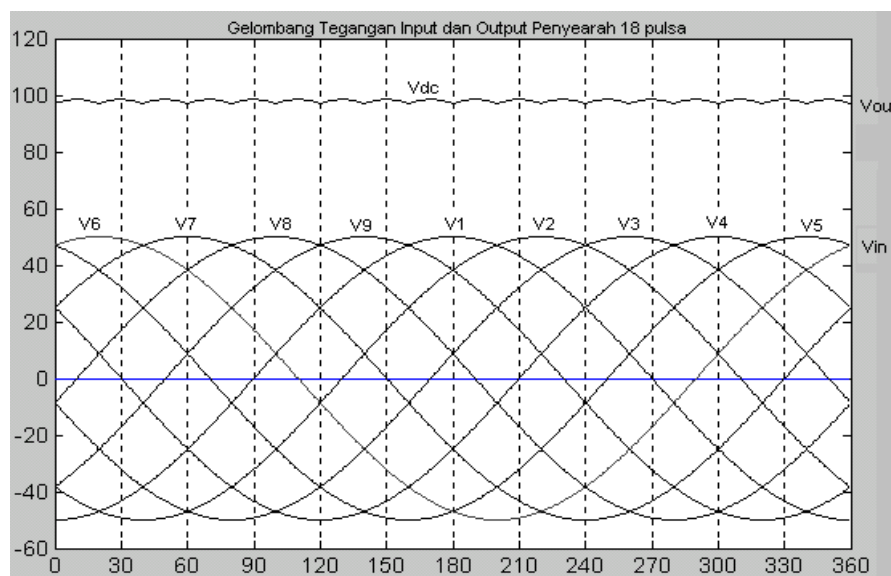
$$N_z = 1,969 \text{ N} \quad (7)$$

b. Penyearah Jembatan 9 fasa gelombang penuh

Tegangan keluaran dari belitan sekunder transformator, masing masing dihubungkan ke sebuah penyearah dioda. Penyearah yang digunakan adalah penyearah dioda 9 fasa gelombang penuh. Rangkaian penyearah 9 fasa gelombang penuh diperlihatkan pada Gambar 8. Penyearah terdiri dari 18 buah dioda yang disusun secara jembatan. Penyearah dapat dilihat sebagai 3 buah penyearah 3 fasa gelombang penuh yang sisi keluaran nya dihubungkan secara paralel.



Gambar 8. Rangkaian Penyearah dioda 9 Fasa Gelombang Penuh



Gambar 9. Tegangan Masukan dan Keluaran penyearah 18 pulsa (ideal).

Tegangan perfasa pada belitan sekunder transformator dan tegangan keluaran penyearah 9 fasa gelombang penuh (ideal) diperlihatkan pada Gambar 9. Dari gambar terlihat bahwa tegangan keluaran penyearah terdiri dari 18 pulsa dalam satu periode tegangan sumber.

Tegangan keluaran rata rata dari penyearah 18 pulsa dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^{20^\circ} (V_6 - V_1) dwt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi/9} \int_0^{\pi/9} [V_m \sin(wt - 29\pi/18) - V_m \sin(wt - \pi/2)] dwt$$

$$V_{dc} = \frac{9V_m}{\pi} [-\cos(wt - 29\pi/18) + \cos(wt - \pi/2)]_0^{\pi/9}$$

$$V_{dc} = 1.96 V_m \tag{8}$$

Urutan konduksi dioda diperlihatkan pada Gambar 10. Dari gambar terlihat setiap dioda konduksi selama 1/9 siklus.

	V ₁	V ₁	V ₂	V ₂	V ₃	V ₃	V ₄	V ₄	V ₅	V ₅	V ₆	V ₆	V ₇	V ₇	V ₈	V ₈	V ₉	V ₉
	-V ₅	-V ₆	-V ₆	-V ₇	-V ₇	-V ₈	-V ₈	-V ₉	-V ₉	-V ₁	-V ₁	-V ₂	-V ₂	-V ₃	-V ₃	-V ₄	-V ₄	-V ₅
D ₁	■	■																
D ₂			■	■														
D ₃					■	■												
D ₄							■	■										
D ₅									■	■								
D ₆											■	■						
D ₇													■	■				
D ₈															■	■		
D ₉																	■	■
D ₁₀										■	■							
D ₁₁												■	■					
D ₁₂														■	■			
D ₁₃																■	■	
D ₁₄	■																	■
D ₁₅		■	■															
D ₁₆				■	■													
D ₁₇						■	■											
D ₁₈								■	■									

Gambar 10. Urutan konduksi dioda pada Penyearah 9 Fasa Gelombang Penuh

Realisasi Penyearah 18 Pulsa Hubungan Segienam

Pada penelitian ini dirancang sebuah penyearah 18 pulsa hubungan segienam dengan tegangan keluaran 48 V DC dan arus beban 20 A DC. Tegangan masukan didapat dari sumber listrik arus bolak balik 3 fasa dengan tegangan 380 Volt (line-line).

Untuk mendapatkan tegangan keluaran penyearah sebesar 48 V DC, maka tegangan keluaran setiap fasa transformator 9 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{dc} = 1,96 V_m$$

$$48 = 1,96 V_m$$

$$V_m = 48 / 1,96$$

$$V_m = 24,49 \text{ Volt}$$

Tegangan efektif keluaran setiap fasa:

$$V_s = \frac{24,49}{\sqrt{2}}$$

$$V_s = 17,317 \text{ Volt}$$

Tegangan pada belitan Lx dapat di hitung berdasarkan persamaan 1.

$$V_x = 0,684 \times 17,317$$

$$V_x = 11,2214 \text{ Volt}$$

Tegangan pada belitan Ly dapat di hitung berdasarkan persamaan 2.

$$V_y = 0,270 \times 17,317$$

$$V_y = 4,6756 \text{ Volt}$$

Tegangan pada belitan Lz dapat di hitung berdasarkan persamaan 3.

$$V_z = 0,508 \times 17,317$$

$$V_z = 8,7970 \text{ Volt}$$

Rancangan simulasi sistem

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab Simulink. Rangkaian penyearah 18 Pulsa disimulasikan menggunakan komponen penyearah jembatan pada Library Power System. Transformator 3 fasa dibentuk dari 3 buah transformator 1 fasa yang memiliki satu belitan primer dan empat buah belitan sekunder yang terpisah. Belitan primer dari ketiga transformator 1 fasa dihubungkan membentuk hubungan delta dan belitan sekunder transformator dihubungkan membentuk hubungan segienam.

Tegangan pada belitan primer:

$$V_p = 380 \text{ Volt}$$

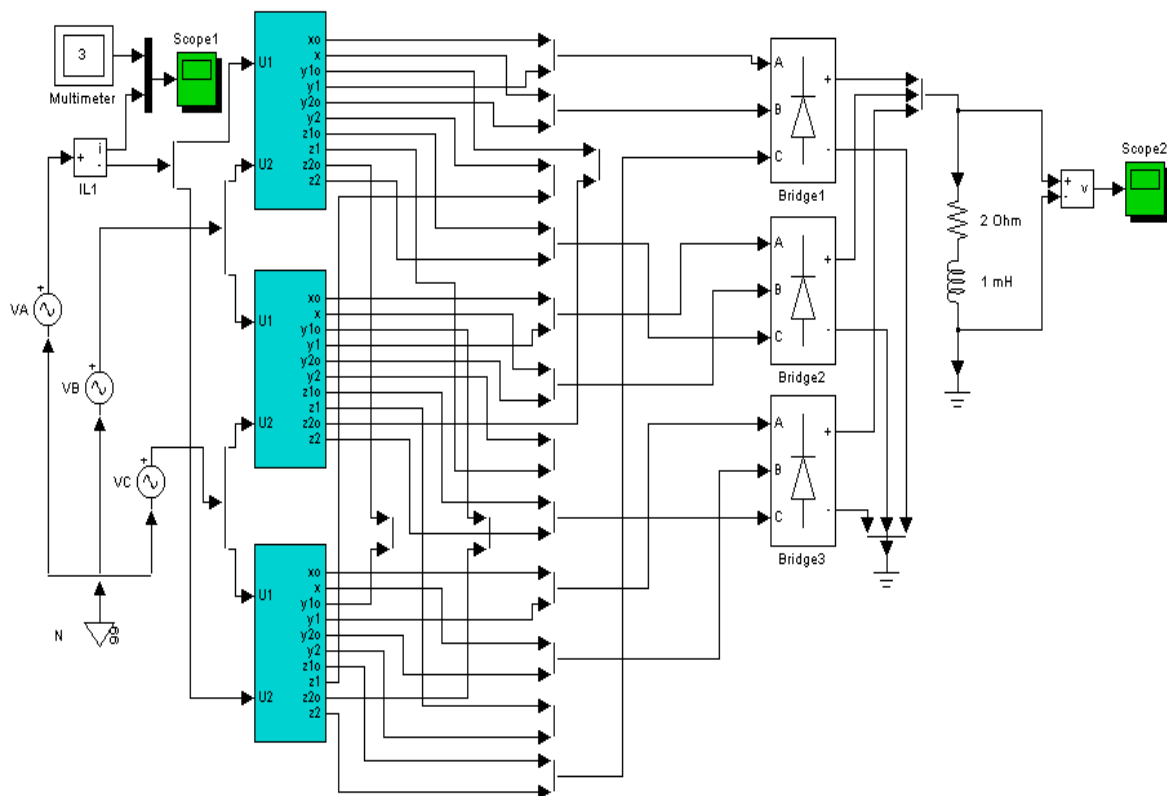
Tegangan pada belitan sekunder:

$$V_x = 11,22 \text{ Volt}$$

$$V_y = 4,68 \text{ Volt}$$

$$V_z = 8,80 \text{ Volt}$$

Sebagai beban dipilih dari jenis resistif induktif dengan nilai 2Ω , 5mH . Rancangan Simulasi penyearah 18 pulsa diperlihatkan pada Gambar 11.



Sistem Penyearah 18 Pulsa dengan transformator 3 fasa ke 9 fasa hubungan Segienam

Gambar 11. Rancangan Simulasi Sistem Penyearah 18 Pulsa.

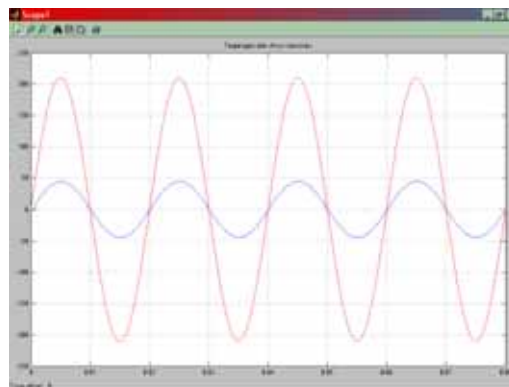
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperlihatkan hasil simulasi, pada rancangan simulasi dipasang sebuah osiloskop yang digunakan untuk melihat gelombang tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran dan arus keluaran penyearah. Gelombang tegangan masukan dan arus masukan penyearah 18 pulsa diperlihatkan pada Gambar 12, dan gelombang tegangan keluaran dan arus keluaran penyearah diperlihatkan Gambar 16.

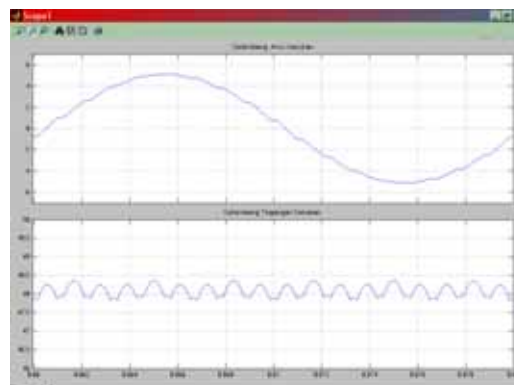
Gambar 14 memperlihatkan Spektrum Harmonisa dari tegangan masukan, terlihat bahwa tegangan masukan adalah sebuah tegangan sinusoidal dengan frekwensi 50 Hz. Gambar 15 memperlihatkan Spektrum Harmonisa dari Arus pada sisi masukan penyearah 18 pulsa. Terlihat bahwa bentuk gelombang arus masukan sudah mendekati sinusoidal dengan frekwensi yang sama dengan tegangan masukan. Harmonisa yang dominan pada arus masukan adalah harmonisa orde 17 dan 19. Karena frekwensi masukan adalah frekwensi 50 hz maka harmonisa yang muncul adalah harmonisa frekwensi 850 Hz dan 950 Hz dengan amplitudo sebesar 0,185 dan 0,12 A.

Gambar 17 memperlihatkan Spektrum Harmonisa dari tegangan keluaran penyearah 18 pulsa. Terlihat bahwa tegangan keluaran adalah sebuah tegangan arus searah yang mengandung riak. Tegangan keluaran penyearah berfluktuasi dari 49,6 V sampai 50,6 V. Persentase riak pada tegangan keluaran sebesar $0,9/50 \times 100\% = 2\%$. Harmonisa yang dominan pada riak tegangan keluaran penyearah terdiri dari harmonisa orde 18 (frekwensi 900 Hz) dengan amplitudo sebesar 0,35 Volt.

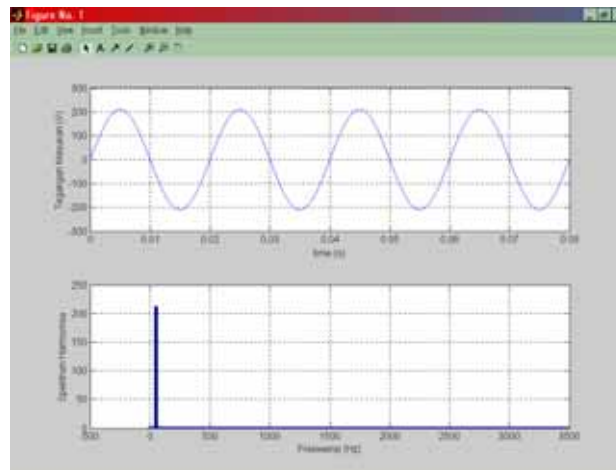
Gambar 18 memperlihatkan Spektrum Harmonisa dari arus keluaran penyearah 12 pulsa. Arus keluaran penyearah berfluktuasi dari 24,97 A sampai 25,22 A. Persentase riak pada arus keluaran sebesar $0,25/25 \times 100\% = 1\%$. Harmonisa yang dominan pada riak arus keluaran penyearah adalah harmonisa orde 18 (frekwensi 900 Hz) dengan amplitudo sebesar 0,12 A.



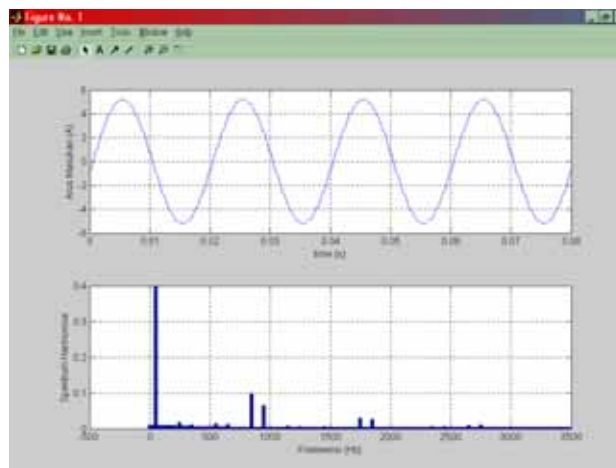
Gambar 12. Gelombang Tegangan dan Arus di sisi Masukan



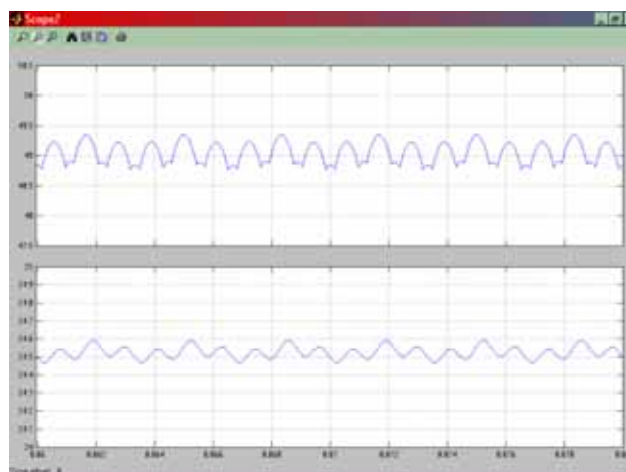
Gambar 13. Gelombang Arus di sisi Masukan dan Tegangan Keluaran



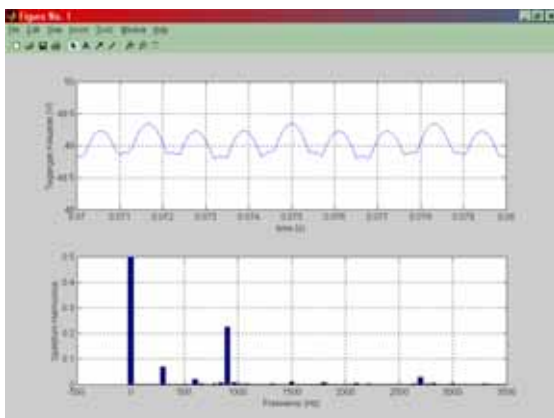
Gambar 14. Spektrum Harmonik Gelombang Tegangan Masukan Penyearah 18 Pulsa



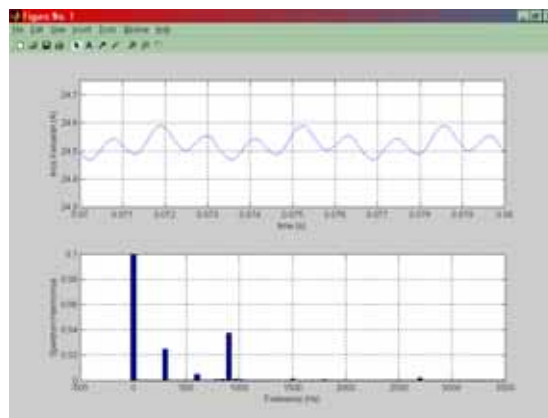
Gambar 15. Spektrum Harmonik Gelombang Arus Masukan Penyearah 18 Pulsa



Gambar 16. Gelombang Tegangan Keluaran dan Arus Keluaran Penyearah 18 Pulsa



Gambar 17. Spektrum Harmonik Gelombang Tegangan Keluaran Penyearah 18 Pulsa



Gambar 18. Spektrum Harmonik Gelombang Arus Keluaran Penyearah 18 Pulsa

4. SIMPULAN

Dari hasil simulasi sistem penyearah 18 pulsa dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Bentuk gelombang arus masukan pada sistem penyearah 18 pulsa sudah mendekati sinusoidal dengan frekwensi dan sudut fasa yang sama dengan tegangan masukan, sehingga faktor daya penyearah menjadi lebih baik (mendekati 1).
2. Harmonisa yang dominan pada arus masukan adalah harmonisa orde 17 dan 19. Karena frekwensi masukan adalah frekwensi 50 hz maka harmonisa yang muncul adalah harmonisa frekwensi 850 Hz dan 950 Hz dengan amplitudo sebesar 0,1 dan 0,065 A
3. Pada Sistem penyearah 18 pulsa yang disimulasikan, tanpa menggunakan filter di keluaran, persentase riak pada tegangan keluaran penyearah hanya 1,2%.
4. Harmonisa yang dominan pada riak tegangan dan arus keluaran penyearah adalah harmonisa orde 18.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Syafrudin, Sutanto, J. dan Haroen, Y. "Prediksi Pengaruh Beban Non Linier Terhadap Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Studi Kasus: Beban Penyearah Satu Fasa Tak Terkendali", WECE III Proceeding, 1999.
- [2]. Seixas, F.J.M. and Barbi, I., "A New 12kW Three-Phase 18-Pulse High Power Factor AC-DC Converter with Regulated Output Voltage for Rectifier Units", IEEE INTELEC Record, Section 14.2, Juni 1999.
- [3]. Seixas, F.J.M. and Barbi, I., "A New Three-Phase Low THD Power Supply with High-Frequency Isolation and 60V/200A Regulated DC Output", IEEE INTELEC Record, Section 14.2, Juni 1999.
- [4]. Martinus, S., Dahono, P.A., dan Nafwar, M.H., "Penyearah 18 Pulsa", WECE III Proceeding, 1999.