

Reduksi Harmonisa Pada Pengoperasian Motor Sinkron Menggunakan Konverter PWM Dengan Interfase Induktor

Tjahja Odianto

1) Jurusan Teknik Elektro ITATS; email : tjahjaodianto@yahoo.com

Abstract

Motor sinkron banyak dipakai dalam industri untuk kecepatan konstan dan faktor kerja yang dapat diubah. Namun motor ini akan bekerja dengan efisien bila dioperasikan dengan kecepatan yang variabel. Untuk mendapatkan kecepatan variabel dapat diperoleh dengan mengatur frekuensi. Untuk maksud itu diperlukan suatu konverter daya yang dapat mengubah frekuensi. Namun pengoperasian dengan konverter dapat mengakibatkan timbulnya harmonisa yang dapat menurunkan faktor kerja dan efisiensi. Untuk itu harmonisa harus dikurangi sekecil mungkin, diantaranya dengan menggunakan Interfase Induktor pada rangkaian konverter.

Makalah ini membahas pengurangan harmonisa pada motor sinkron yang dioperasikan oleh konverter PWM (Pulse Width Modulation), yang menghasilkan 24 pulsa, dengan menggunakan interfase induktor.

Kata kunci : motor sinkron, harmonisa, konverter PWM, interfase induktor.

Abstract

Synchronous motor is used in many industry for constant speed and power factor able to be altered. But this motor will work efficiently if operated with speed is variable. To get speed of variable can be obtained by arranging frequency. For the purpose of that needed an energy converter able to alter frequency. But operation with converter can result the harmonics able to decrease power factor and efficiency. For that harmonics have to lessen as small as possible, among others by using Interphase Inductor at converter circuit

This paper describe the reduction of harmonics at motor synchronize operated by converter PWM (Pulse Width Modulation), 24-pulse, by using inductor interphase

Keyword : motor synchronize, harmonic, converter PWM, interphase inductor.

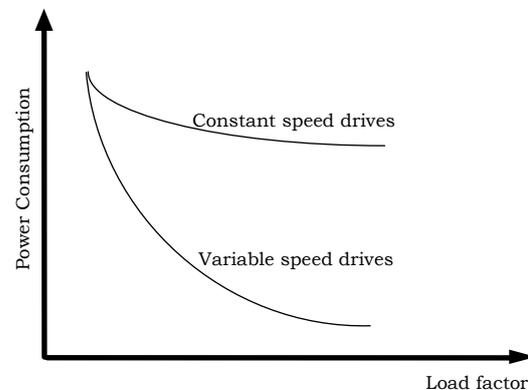
1. PENDAHULUAN

Salah satu masalah yang timbul pada industri ialah pada penggunaan adjustable-speed drives. Pada akhir-akhir ini telah ada suatu peningkatan pemakaian adjustable-speed drive dengan jenis adjustable-frequency, dengan ukuran range yang besar dan berteknologi modern. Dalam hal ini jenis motor yang digunakan ialah motor sinkron yang merupakan motor listrik yang berputar dengan kecepatan konstan dan motor ini dapat dioperasikan dengan faktor daya yang bervariasi dari lagging hingga leading.

Motor ini akan mempunyai efisiensi yang tinggi apabila dioperasikan dengan kecepatan variable [8]. Gambar 1 menunjukkan grafik konsumsi daya motor. Untuk kecepatan yang variable dapat diperoleh dengan mengatur frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Untuk itu diperlukan suatu konverter daya yang dapat mengatur frekuensi yang masuk motor.

Penggunaan konverter daya pada sistem akan mengakibatkan timbulnya harmonisa pada tegangan. Ini tidak diharapkan, karena itu sebaiknya kandungan harmonisa pada tegangan harus direduksi.

Tegangan yang mengandung harmonisa bila masuk pada motor akan mengakibatkan permasalahan pada pengoperasian motor, antara lain timbulnya rugi-rugi dalam bentuk panas yang berlebih pada rotor serta faktor daya dapat menurun.



Gambar 1. Kurva konsumsi energi variable speed drive

Cara mereduksi keberadaan harmonisa secara konvensional dapat dilakukan dengan pemasangan filter. Namun untuk beban berupa motor sinkron yang berdaya besar dan dioperasikan dengan kecepatan variable, maka pemakaian filter tidaklah sesuai, sehingga perlu cara lain, diantaranya ialah pengaturan pada konverter dayanya.

Dalam paper ini diusulkan konfigurasi baru untuk konverter PWM, yaitu dengan mengubah nilai pulsa 12 menjadi 24 tanpa membuat lebih kompleks rangkaian. Konfigurasi yang diusulkan dapat digunakan untuk rectifikasi dan inversi, maka

diharapkan harmonisa dapat direduksi pada ke dua sisi sistem, sehingga motor mendapat suplai sebaik sistem ac. Reduksi harmonisa dc-link juga dapat dilakukan dengan konfigurasi 24 pulsa yang diusulkan, khususnya dapat mengurangi transfer harmonisa dari sisi motor ke sistem suplai ac.

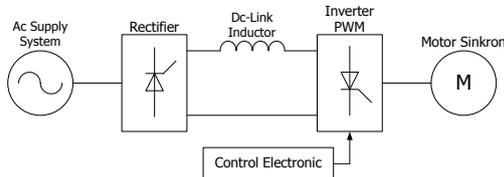
Pada penelitian sebelumnya pengurangan harmonisa dilakukan dengan menambahkan arus harmonisa dari sumber eksternal. Pengembangan lebih lanjut teknik ini dengan menghindari penggunaan sumber eksternal [3][4]

Sasaran penelitian ini ialah untuk mereduksi harmonisa pada sistem menggunakan konverter PWM dengan pemasangan interfase inductor

2. TEORI DASAR

2.1. Model Sistem

Diagram blok sistem yang diusulkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram pengaturan kecepatan motor sinkron

Rectifier terhubung ke suplai dan beroperasi pada frekuensi suplai sedangkan inverter terhubung ke motor dan beroperasi pada frekuensi motor. Rectifier terdiri dua jembatan 6-pulsa yang dioperasikan untuk

menghasilkan 12-pulsa. Pada suplai menggunakan transformator tiga belitan, satu belitan primer dan dua belitan sekunder wye/delta, dimana kedua belitan sekunder tersebut mempunyai perbedaan sudut elektrik sebesar 30°. Bila diperlukan dapat dipasang dc-link inductor bertujuan untuk memperkecil ripple pada arus dc. Pada inverter menggunakan inverter PWM yang outputnya sebagai suplai motor sinkron.

2.2. Pengaturan Kecepatan Motor Sinkron Dengan 24-Pulsa

Gambar 3. menampilkan konfigurasi yang diusulkan untuk operasi 24-pulsa, dengan menampilkan bagian rectifier yang dihubungkan dengan interfase inductor dengan 2 thyristor T_a dan T_b .

2.3. Arus Input Pada Sisi ac

2.3.1. Analisa Arus Pada Sisi dc

Pada Gambar 5, $I_z/2$ dan I_z merupakan arus output konfigurasi konvensional. Arus i_j muncul jika arus output rectifier terhubung pada kedua tap inductor. Berdasarkan Gambar 3, arus i_j diasumsikan sebagai dc murni.

Persamaan arus ketika T_a konduksi, ialah[6] :

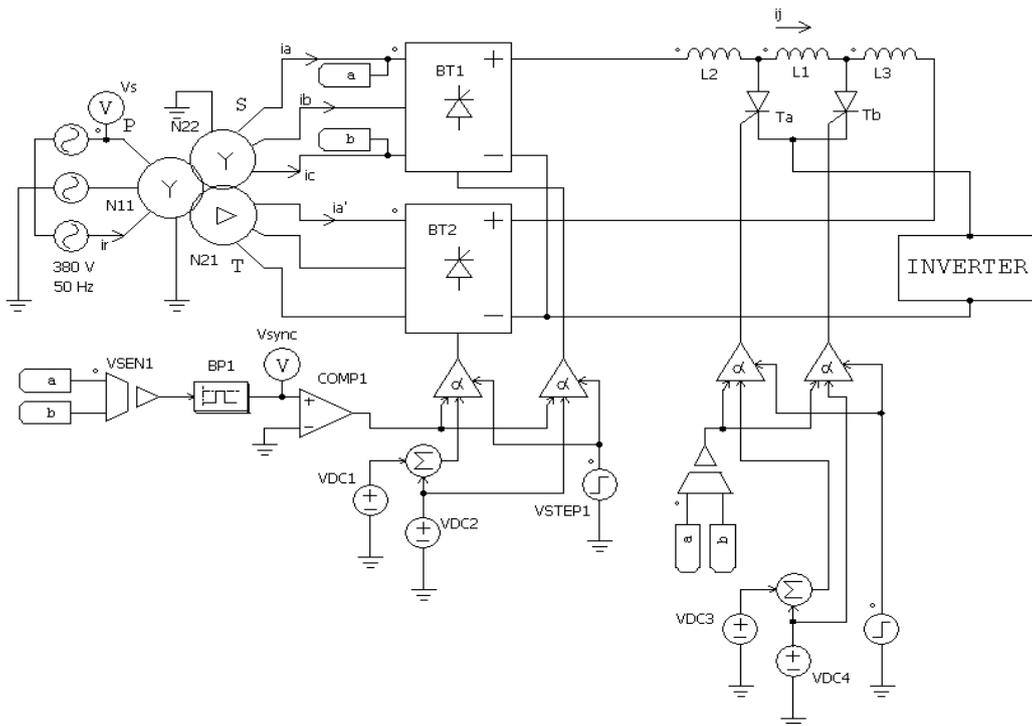
$$(I_z/2 + i_j)(L_0/2 - L) = (I_z/2 - i_j)(L_0/2 + L)$$

$$i_j = L/L_0 \cdot I_z \quad (1)$$

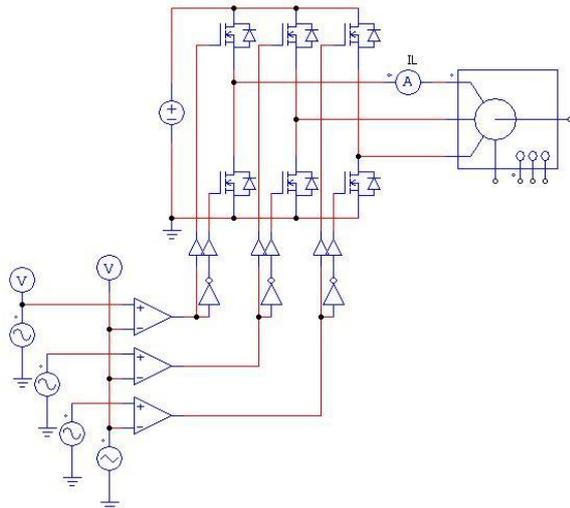
Dengan cara yang sama jika T_b konduksi, ialah :

$$(I_z/2 + i_j)(L_0/2 + L) = (I_z/2 - i_j)(L_0/2 - L)$$

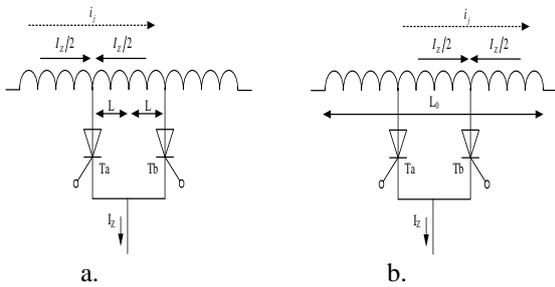
$$i_j = -L/L_0 \cdot I_z \quad (2)$$



Gambar 3. Rangkaian konfigurasi 24-pulsa

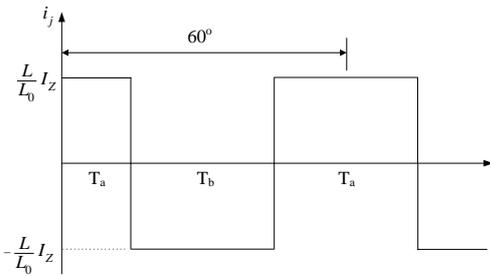


Gambar 4. Inverter PWM konfigurasi 24-pulsa



a. Ta konduksi
b. Tb konduksi

Pada Gambar 6 menampilkan teori bentuk gelombang arus i_j .



Gambar 6. Teoritis gelombang arus i_j

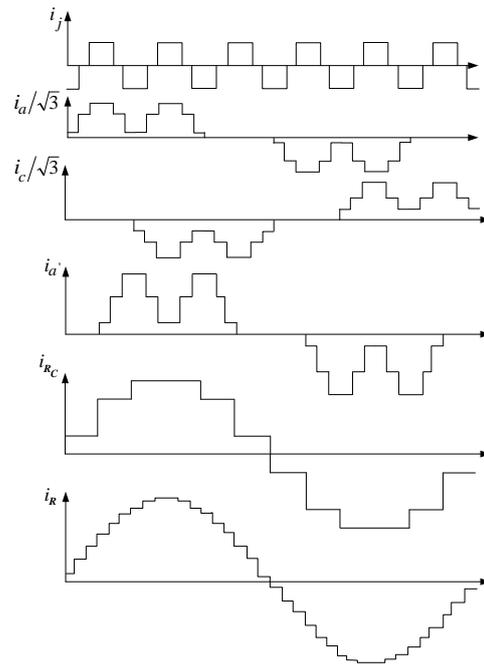
2.3.2. Evaluasi N/No

Melalui suatu analisa tegangan pada bagian interfase inductor pada Gambar 3, secara teori diperoleh, bahwa perubahan dari 12 menjadi 24-pulsa terjadi karena adanya perbandingan belitan dalam interfase inductor, yaitu $L/L_0 = 0,32903$ [7].

2.3.3. Analisa Arus pada Sisi ac

Arus i_j dengan frekuensi enam kali fundamentalnya, mengalir melalui thyristor dan rangkaian inductor. Memodifikasi arus dalam semua belitan transformator, mencakup belitan primer, yang akhirnya mengurangi arus distorsi sistem suplai

tegangan ac. Gambar 6 menampilkan efek ini dengan mempertimbangkan rangkaian pada Gambar 3 dengan asumsi bahwa $N_{11} = N_{22} = \sqrt{3} \cdot N_{21}$.



Gambar 7. Komposisi arus i_R secara teoritis

2.3.4. Teknik Interfase Induktor

Dasar teoritis dan eksperimental dari teknik disampai pada [7]. Konfigurasi rangkaian untuk 24-pulsa ditunjukkan pada Gambar 3, dimana banyaknya thyristor dalam interphase inductor dimisalkan " n " dan jumlah pulsa tegangan output rectifier pada kedua sisi dari interphase inductor dimisalkan " p " pulsa. Selanjutnya, total jumlah pulsa yang terjadi adalah " $2pn$ ". Dalam hal ini dari Gambar 3 berlaku :

$$n = 2; \quad p = 6; \quad \text{Pulsa total} = 24$$

Dengan " n " thyristor dalam interfase inductor, lokasi thyristor " q " ditentukan dengan :

$$\frac{L_q}{L_0} = \frac{\tan \left| \frac{\pi}{2np} (n+1-2q) \right|}{2 \tan \left(\frac{\pi}{2p} \right)} ;$$

$$q = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

dimana

- n = jumlah thyristor total;
- p = jumlah pulsa rectifier pada kedua sisi interphase inductor;
- L_0 = induktansi total interphase inductor;
- L_q = posisi thyristor " q ", dihitung dari pusat interphase inductor.

Ditunjukkan pada [6], dimana kondisi minimal α untuk memungkinkan thyristor interphase inductor untuk menyala pada komutasi netral, yaitu:

$$\alpha_{\min} = \frac{\pi}{p} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n} \right) \quad (4)$$

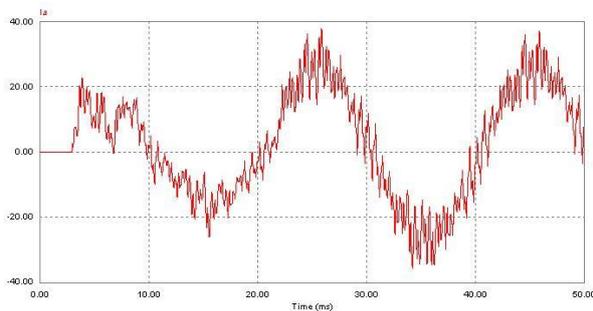
Berdasarkan aplikasi pada Gambar 3, maka :

$$\alpha_{\min} = 5^\circ; \frac{L}{L_0} = 0,329$$

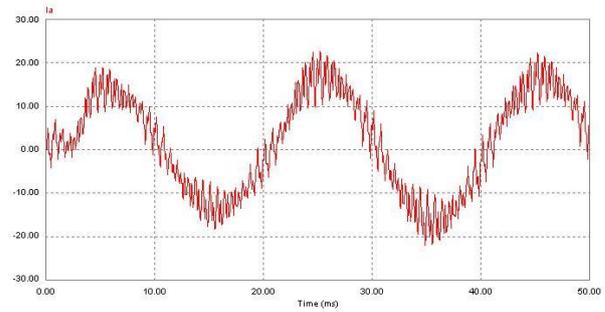
3. SIMULASI

Untuk melakukan penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan program PSim. Gambar 8 dan 9 menunjukkan hasil simulasi untuk membandingkan gelombang arus beban konfigurasi 12-pulsa dan 24-pulsa dengan menggunakan beban motor yang sama. Rectifier dengan asumsi keadaan normal, kondisi penyulutan mempunyai lebar pulsa 120 derajat, nilai $\alpha = 35^\circ$. Pada sisi inverter penyulutan menggunakan metode PWM. Seperti dalam Gambar 8, konfigurasi 12-pulsa konvensional menunjukkan distorsi harmonisa cukup besar pada arus yang masuk motor, sedangkan pada konfigurasi 24-pulsa tampak ripple lebih rapat. Berdasarkan bentuk gelombang tersebut dapat dilihat juga bahwa besar arus beban pada konfigurasi 12-pulsa lebih besar dibanding 24-pulsa. Tegangan dc yang mencatu inverter pada konfigurasi 12-pulsa juga ditampilkan dengan ripple yang lebih besar, seperti tampak pada Gambar 12.

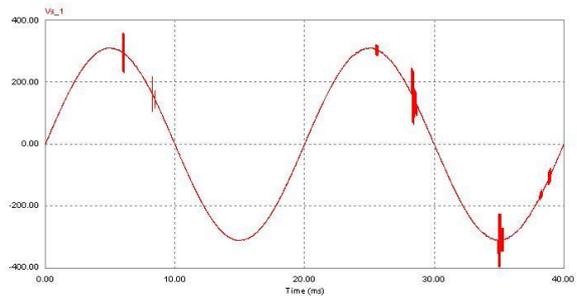
Pada Gambar 14 dan 15 merupakan bentuk sinyal THD yang terjadi, berturut-turut pada arus menuju beban konfigurasi 12-pulsa dengan nilai THD yang terukur yaitu 24,03 %, sedangkan untuk 24-pulsa sebesar 21,85 %.



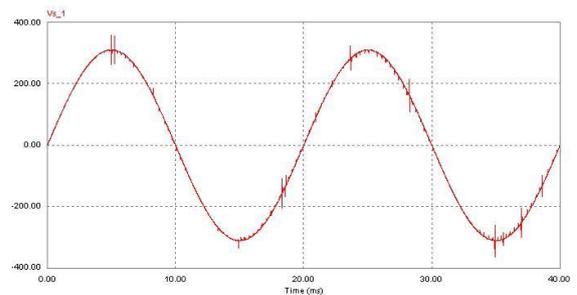
Gambar 8. Arus beban 12-pulsa



Gambar 9. Arus beban 24-pulsa

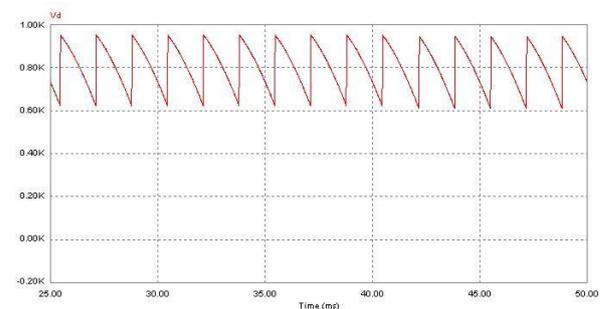


Gambar 10. Tegangan suplai ac 12-pulsa

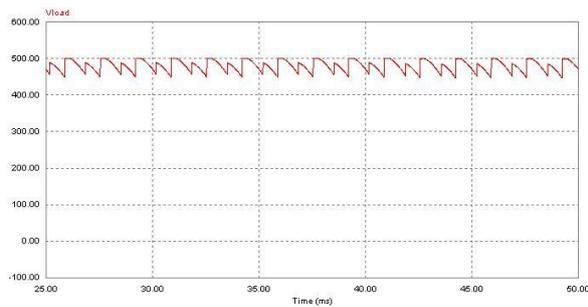


Gambar 11. Tegangan suplai ac 24-pulsa

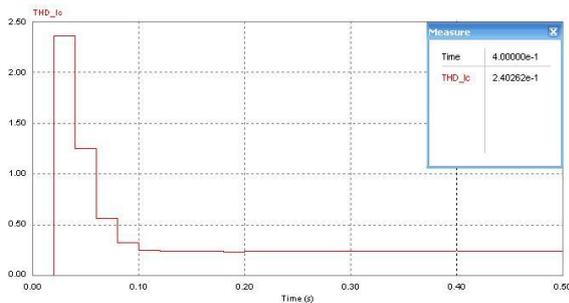
Bentuk gelombang sinus tegangan suplai ac tampak mengandung harmonisa yang ditransfer dari sisi motor yang dapat dilihat pada gambar 10 dan 11. Dimana pada konfigurasi 24-pulsa gangguan harmonisa terjadi lebih kecil dari pada 12-pulsa.



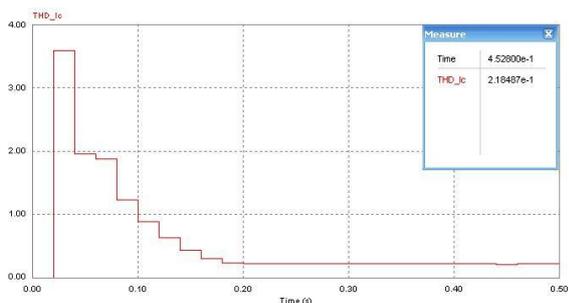
Gambar 12. Tegangan inverter 12-pulsa



Gambar 13. Tegangan inverter 24-pulsa



Gambar 14. THD arus beban 12-pulsa



Gambar 15. THD arus beban 24-pulsa

4. TINJAUAN TEKNIS DAN EKONOMIS

Paper ini berusaha untuk menunjukkan bahwa pengendalian memungkinkan untuk disederhanakan, serta mengurangi jumlah komponen. Komponen yang dapat dikurangi atau dihilangkan adalah : filter, dc-link reaktor dan sistem pendingin motor. Sedangkan, kondisi rotor standart, tanpa konstruksi khusus. Tetapi masih perlu adanya penelitian lebih lanjut, untuk didapat :

- 1) Pengurangan biaya pembuatan
- 2) Penyederhanaan disain
- 3) Mengurangi pemeliharaan dan kesalahan operasional
- 4) Mengurangi rugi energi
- 5) Menambah motor yang dapat dioperasikan tanpa adanya peningkatan getaran
- 6) Mengurangi noise
- 7) Kontaminasi harmonisa yang rendah pada jaringan yang mencatu peralatan

Item 1–4 adalah manfaat langsung adanya pengurangan dan penyederhanaan komponen dalam konverter. Sebagai tambahan, filter sulit untuk disertakan dalam desain, karena masih banyak

keraguan [7], sehingga tujuan dari item 2 di atas dapat terpenuhi. Pada item 3, pengurangan pemeliharaan dan kesalahan operasi menyebabkan berkurangnya biaya pada saat idle. Pada item 4, kemungkinan pengurangan rugi-rugi energi dalam hal ini yaitu kW-Hour, sehingga dapat dilakukan penghematan tiap tahunnya, karena biasanya dalam keadaan normal motor bekerja 24 jam sehari, 365 hari per tahun.

Manfaat item 5–7 ialah : getaran rendah, pengurangan noise dan mengurangi kontaminasi harmonik pada jaringan yang mencatu peralatan, seperti disebutkan sebelumnya, manfaat langsung pada operasional yaitu dengan pemakaian pulsa yang tinggi pada peralatan.

5. KESIMPULAN

Pada paper ini menunjukkan kemungkinan merubah sistem operasi variable kecepatan motor sinkron dari 12 menjadi 24 pulsa. Karena dengan nilai pulsa tinggi dapat mengeliminasi kebutuhan akan filter pada bagian akhir rectifier, demikian juga dapat mengurangi masalah pada bagian akhir inverter, yaitu ; sudut komutasi inverter yang tinggi dan terjadinya pemanasan rotor dan denyutan torsi elektrik dalam motor. Wacana baru ini dapat sebagai dasar untuk peningkatan nilai ekonomis dan manfaat fungsional bagi pemakai dan memberikan peluang untuk perancang sistem yang lebih mengoptimalkan desain sistem dan performanya. Dari hasil penelitian yang dilakukan menggunakan simulasi komputer diperoleh adanya penurunan nilai THD sebesar 2,75 % dan untuk langkah selanjutnya dapat pula dilakukan penelitian mengenai perilaku serta nilai efisiensi dari sistem secara total.

PARAMETER MESIN SINKRON

Mesin sinkron yang digunakan pada simulasi ialah jenis brushless dc machine, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tegangan stator	380 V
Frekuensi nominal	50 Hz
Tahanan stator	11,9 ohm
Induktansi stator	2,07 mH
Mutual Induktansi stator	0,69mH
Jumlah pole	4
Moment inersia	7.10^{-6} kg.m^2

6. REFERENSI

1. A. B. Plunkett and F. G. Turnbull, "System design method for a load commutated inverter synchronous motor drive," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-20, no. 3, pp. 589–597, May/June 1984.
2. Ana Vladan Stankovic, Thomas A. Lipo. "A Novel Control Method for Input Output Harmonic Elimination of The PWM Boost Type Rectifier Under Unbalanced Operating Conditions". *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.16, No.5, pp.232-240, September 2001

3. E. J. Delaney and R. E. Morrison, "Minimization of interharmonic currents from a current source A.C. drive by means of a selective D.C. side active filter," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 10, no. 3, pp. 1584–1590, July 1995..
4. Man-Chung Wong, Zheng-Yi Zhao, Ying-Duo Han, Liang-Bing Zhao. "Three-Dimensional Pulse-Width Modulation Technique in Three-Level Power Inverters for Three-Phase Four-Wired System". *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.16, No.3, pp.418-427, May 2001.
5. M. Harunur Rashid, "Power Electronics Circuits, Devices, and Applications", Third Edition, Prentice Hall Inc.,2004
6. Miguel Villablanca, Wilfredo Ziehlmann, Cristian Flores, Carlos Cuevas, Patricio Armijo. "Harmonic Reduction in Adjustable-Speed Synchronous Motors". *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 16, No. 3, pp.239-245, September 2001.
7. M. Villablanca and J. Arrillaga, "Pulse multiplication in parallel converters by multitap control of interphase reactor," *IEE Proc.—B*, vol. 139, no. 1, pp. 13–20, Jan. 1992.
7. M. Villablanca and J. Arrillaga, "Pulse multiplication in parallel converters by multitap control of interphase reactor," *IEE Proc.—B*, vol. 139, no. 1, pp. 13–20, Jan. 1992.
8. Paul C. Krause, "Analysis of Electric Machinery", Mc Graw Hill, New York, 1996.
9. P.C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", John Wiley & Sons Inc, 1989
10. R. Carbone *et al.*, "Harmonic and terharmonic distortion in current source type inverter drives," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 10, no. 3, pp. 1576–1583, July 1995.
10. Rosario Carbone. "Analyzing Voltage Background Distortion Effect on PWM Adjustable-Speed Drives". *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.19, N0.3, pp.765-774, May 2004..
11. S. Miyairi *et al.*, "New method for reducing harmonics involved in input and output of rectifier with interphase transformer," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-22, no. 5, pp. 790–797, Sept./Oct. 1986.