



Pengendalian kecepatan motor induksi dengan cycloconverter menggunakan *vector control* dengan filter *hybrid*

C Ronald Harahap ^{a,*}, D Despa ^b dan L Afriani ^c

^aJurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

^bProgram Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

^cJurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima : 28 Oktober 2024

Direvisi : 11 November 2024

Diterbitkan : 31 Desember 2024

Kata kunci:

Motor induksi

Cycloconverter

Filter

Harmonisa

Vector control

Motor listrik berperan penting sebagai penggerak utama yang banyak digunakan pada sektor industri maupun transportasi, sehingga diperlukan sistem kendali motor listrik. Salah satu sistem kendali motor listrik adalah pengendalian frekuensi. Pengendalian frekuensi bertujuan untuk mengatur kecepatan motor listrik yang diinginkan. Salah satu alat pengendalian frekuensi yaitu cycloconverter. Penggunaan cycloconverter menimbulkan adanya harmonisa karena termasuk jenis komponen non-linier, di mana harmonisa yang dihasilkan akan berpengaruh terhadap kualitas sistem dan berdampak kerusakan pada peralatan. Sehingga perlu adanya pemasangan filter untuk meredam frekuensi harmonisa. Penelitian ini menyajikan metode desain filter hybrid untuk mengurangi harmonisa dan pengendalian motor induksi tiga fasa dengan metode *vector control* untuk pengendalian motor induksi, yang mencakup keefektifan dari perancangan topologi filter pasif, aktif dan hybrid serta kehandalan respon motor. Pemodelannya menggunakan *software* simulink Matlab 2015A. Hasil reduksi pemodelan distorsi harmonisa menggunakan filter pasif sebesar 2,54%, aktif 14,86% dan hybrid 2,17%. Penelitian ini membuktikan bahwa filter gabungan atau *hybrid filter* menghasilkan total distorsi harmonisa lebih baik.

1. Pendahuluan

Sistem kendali motor listrik sangatlah diperlukan mengingat peran dari motor listrik tersebut pada industri, transportasi dan peralatan rumah tangga. Kecepatan motor induksi harus dikendalikan agar dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Dengan berkembangnya elektronika daya dapat juga menambah keunggulan dari sistem kendali motor listrik tersebut. Motor listrik membutuhkan pengendalian kecepatan dengan mengatur frekuensi jala-jala. Dengan menggunakan beberapa macam alat atau *devices* semikonduktor bisa melakukan pengaturan kecepatan motor listrik yang kita inginkan dengan merubah frekuensi. Salah satunya berupa alat cycloconverter. Peralatan tersebut mengatur frekuensi dengan mengubah lebar pulsa pensaklaran pada peralatan saklarnya, yaitu MOSFET ataupun IGBT [Antunes, 2009].

Cycloconverter merupakan rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sinyal atau gelombang masukan AC dengan frekuensi tertentu ke bentuk gelombang keluaran AC yang lain untuk frekuensi lebih tinggi atau lebih rendah. Berdasarkan data yang diambil dari penelitian tanpa adanya penggunaan filter pada sistem cycloconverter, didapatkan hasil total harmonic distortion (THD) sebesar 51.47%. Terdapat batasan nilai distorsi harmonisa

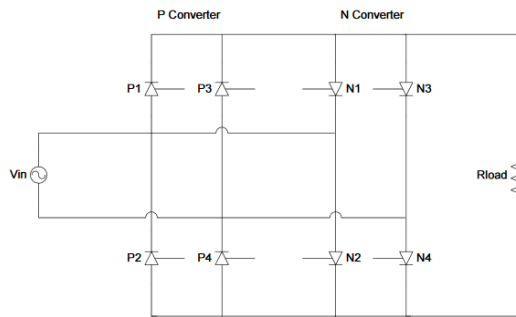
yang diijinkan, mengikuti standar IEEE 519-1992 adalah sebesar 5%. Sehingga diperlukan pemasangan dan pemodelan filter yang cocok untuk mendapatkan hasil yang terbaik untuk sistem cycloconverter [Palani, 2010].

Menurut paper D.Basic dalam judul "*performance of combined power filters in harmonic compensation of high-power cycloconverter drives*", bahwa cycloconverters menghasilkan frekuensi harmonik, di mana cycloconverter dapat dianggap sebagai sumber spektrum variabel yang terdiri dari harmonik integer dan interharmonik. Kehadiran interharmonics diidentifikasi sebagai masalah. Hasil simulasi komputer menunjukkan kompensasi tidak efektif untuk semua interharmonik frekuensi rendah dan beberapa yang lebih tinggi. Untuk kinerja yang lebih baik diperlukan peringkat inverter yang lebih tinggi dan sistem gabungan yang cocok untuk kompensasi harmonics [Basic, 1998]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem filter, yaitu filter pasif dan aktif atau filter hybrid untuk mengurangi harmonisa pada sistem cycloconverter.

2. Metodologi

2.1.Cycloconverter

Dengan mengadaptasi dari rangkaian satu fasa ke tiga fasa cycloconverter yaitu dengan cara menaikkan jumlah fasa masukannya. Terdapat dua manfaat pada jenis ini, yang pertama adalah tegangan keluaran rata-rata yang lebih besar di setiap jembatan konverter untuk sudut penembakan yang sama. Kedua hubungannya dengan gelombang, masukan AC tiga fasa memungkinkan pulsa terkontrol enam fasa per siklus masukan berlawanan dengan hanya dua pulsa dari masukan fase tunggal. Hal ini meningkatkan jumlah *switching* untuk periode tertentu yang menghasilkan harmonisa *switching* frekuensi yang relatif lebih tinggi. Hal ini mengurangi persyaratan pemfilteran agar menghasilkan keluaran yang lebih sinusoidal [Mustaman, 2017].



Gambar 1. Single phase/single phase cycloconverter diagram

Tabel 1. Switch conduction untuk cycloconverter

Vin	N Converter				P Converter			
Range of θ	N1	N2	N3	N4	P1	P2	P3	P4
$0 < \theta < \pi$	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
$0 < \theta < 2\pi$	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF

$$T_{P-on} = T_{N-on} = \frac{1}{2f_o} \quad (1)$$

Aspek frekuensi *output* yang dapat disesuaikan berkaitan dengan durasi waktu jembatan konverter aktif. Hanya satu jembatan konverter dapat pada waktu tertentu untuk menghindari *cross-firing switch* dan menciptakan hubungan pendek di sumbernya. Mengingat frekuensi *output* tertentu, periode konduksi yang diperlukan dari setiap konverter dapat dihitung menggunakan persamaan [Prasetijo, 2012].

2.2.Filter

Filter pada sistem cycloconverter ini berfungsi mendistorsi total *harmonic distortion* pada system cycloconverter 3 fasa ini. Filter yang digunakan terdapat 2 jenis yaitu filter pasif dan filter aktif.

2.2.1 Filter pasif

Filter ini menggunakan rangkaian RLC yang disusun seri maupun paralel. Banyak jenis dalam filter pasif yang dapat digunakan pada orde rendah maupun orde tinggi, berikut beberapa jenis filter pasif.

Single Tunned Pasif Filter, filter ini merupakan filter pasif yang terdiri dari rangkaian seri antara kapasitor, induktor dan resistor (RLC). Filter jenis ini untuk pemakaian orde rendah, biasanya untuk menyelesaikan harmonisa orde ganjil seperti, orde 3, 5, 7, 9, 11 dst. Prinsip kerja dari filter ini adalah pada saat beresonansi terjadi reaktansi induktif sama dengan nilai reaktansi kapasitif tetapi berbeda fasa 180° akan saling menghilangkan. Pada keadaan ini impedansi filter menjadi sangat kecil hanya sebesar nilai R dari induktor sehingga akan mengalirkan arus harmoniknya ke netral [Aravena, 2009][Pande 2011]. Persamaan frekuensi ini adalah:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Penentuan parameter untuk filter pasif:

Pengukuran impedansi kapasitor (X_c), lalu perhitungan daya reaktif pada sistem.

$$Q_{c \text{ sistem}} = \frac{V^2}{X_c} \quad (3)$$

$$Q_{c \text{ filter}} = \frac{Q_{c \text{ sistem}}}{\text{jumlah filter}} \quad (4)$$

Q_{tuning} , resistansi filter tergantung pada faktor kualitas (Q) di mana ketajaman *tuning* diukur. nilai resistif dari filter dapat diperoleh dengan memilih faktor kualitas dalam kisaran $30 < Q \leq 100$.

$$C = \frac{1}{2\pi f \times X_c \times n} \quad (5)$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f \times h)^2 \times C} \quad (6)$$

$$R = \frac{\sqrt{L}}{Q} \quad (7)$$

Dimana,

Q : *Tuning*

C : Kapasitor (F)

L : Induktor₁ (H)

R : Resistansi (Ohm)

Type-C Filter, pada *type-C filter* ini terdiri dari rangkaian C (kapasitor) dengan paralel antara LC (induktor-kapasitor) dan R (resistor). Filter jenis ini untuk pemakaian orde rendah, seperti orde 2 dan orde 3 [Aravena, 2009].

$$L_s = L = \frac{V^2}{2\pi f \cdot Q_c(h\omega^2 - 1)} \quad (8)$$

$$C = \frac{(h^2 - 1) Q_c}{\omega f \times V^2} \quad (9)$$

$$C_s = \frac{(h\omega^2 - 1) Q_c}{h\omega^2 \times \omega f \times V^2} \quad (10)$$

$$q = n - (5\% \times n) \quad (11)$$

$$R = \frac{q \times V^2}{h \times Q_c} \quad (12)$$

$$Q = \frac{R}{L \cdot 2\pi \cdot f \cdot n} \quad (13)$$

Dimana,

Q_{filter} : Daya reaktif di filter

C : Kapasitor (F)

L : Induktor₁ (H)

Ls : Induktor₂ (H)

R : Resistansi (Ohm)

h : Orde Frekuensi

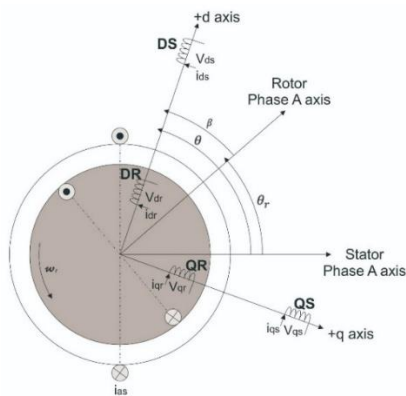
2.3. Filter aktif

Filter aktif terdiri dari enam buah mosfet atau IGBT. Prinsip kerja dari filter ini adalah penggunaan arus harmonisa untuk menanggulangi arus harmonisa dari beban non-linier. Filter aktif yang disusun secara paralel akan menginjeksikan arus harmonisa dengan sudut fasa yang berkebalikan dengan arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban non-linier [Lee, 1984].

2.4 Vector control motor induksi

Vector control adalah suatu metode pengaturan kumparan medan pada motor induksi, di mana dari *coupling* dirubah menjadi sistem *decoupling*. Dengan sistem arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, sehingga torsi dan fluks dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor dc.

Implementasi *flux vector* pada motor induksi 3 fasa membutuhkan perhitungan atau simulasi pada orientasi stator, rotor dan torsi. Untuk memudahkan simulasi motor dari kondisi transient sampai stabil, maka koordinat abc pada motor diubah kedalam model bayangan atau vektor kebentuk *dq* (*direct* dan *quadrature*) [Kocalmis, 2008][Zambada, 2007].



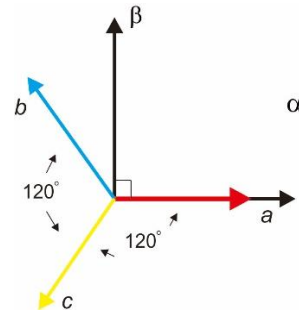
Gambar 2. Sistem koordinat dilapiskan pada motor induksi tiga fasa (*d*, *q*)

Persamaan untuk transformasi *abc* ke *dq*, adalah :

$$\begin{aligned} I_{ds} &= \text{Re}[\bar{i} \bar{s}] = \text{Re}\left[\frac{2}{3}(i_a + a i_b + a^2 i_c)\right] \\ &= \frac{2}{3}\left(i_a - \frac{1}{2} i_b - \frac{1}{2} i_c\right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} I_{qs} &= \text{Im}[\bar{i} \bar{s}] = \text{Im}\left[\frac{2}{3}(i_a + a i_b + a^2 i_c)\right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}}(i_b - i_c) \end{aligned} \quad (15)$$

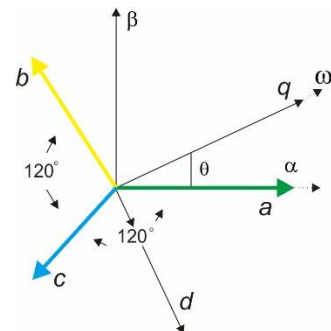
Transformasi rangkaian stasioner ke kerangka referensi stasioner dikembangkan oleh E. Clarke. Clarke mengkonversi vektor dalam bingkai referensi ABC ke $\alpha\beta\gamma$ referensi *frame*. Nilai utama dari transformasi Clarke adalah mengisolasi bagian dari vektor yang direferensikan ABC yang umum untuk ketiga komponen vektor.



Gambar 3. Geometri clark transformation

$$K_C = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (16)$$

The Park transform (dinamakan setelah Robert H. Park) mengubah vektor dalam kerangka referensi XYZ ke bingkai referensi *DQZ*. Nilai utama dari transformasi *Park* adalah untuk merotasi kerangka acuan dari vektor pada frekuensi acak. Transformasi *Park* menggeser spektrum frekuensi sinyal sedemikian rupa sehingga frekuensi acak sekarang muncul sebagai "dc" dan dc lama muncul sebagai negatif dari frekuensi acak [Charles, 2016].



Gambar 4. Geometri park transformation

Matriks transformasi *Park* adalah :

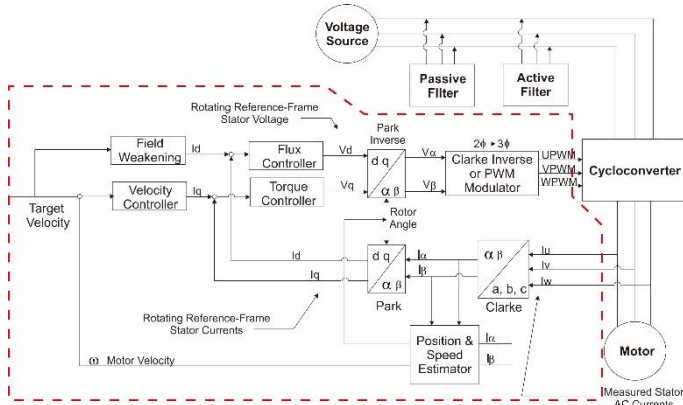
$$K_P = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Transformasi *DQZ* sering digunakan dalam konteks teknik elektro dengan sirkuit tiga fasa. Transformasi dapat digunakan untuk memutar frame referensi bentuk gelombang ac sedemikian rupa sehingga menjadi sinyal dc. Kalkulasi yang disederhanakan kemudian dapat dilakukan pada jumlah dc ini sebelum melakukan

transformasi *inverse* untuk memulihkan hasil tiga fase ac yang sebenarnya [Charles, 2014][Charles, 2016].

2.5 Blok diagram sistem

Merupakan blok diagram dari penelitian simulasi dan analisis reduksi total distorsi harmonisa pada rangkaian cycloconverter 3 fasa dengan menggunakan filter aktif dan filter pasif.



Gambar 5. Blok diagram sistem cycloconverter dengan filter hybrid dan metode *vector control*

Langkah-langkah dalam perancangan membuat perancangan simulasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan metode *vector control* pada *Simulink MATLAB*

2.5.1 Pembuatan cycloconverter

Rangkaian cycloconverter ini menggunakan 4 buah thyristor untuk grup positif dan 4 buah thyristor untuk grup negatif, pada setiap fasanya.

2.5.2 Vector control

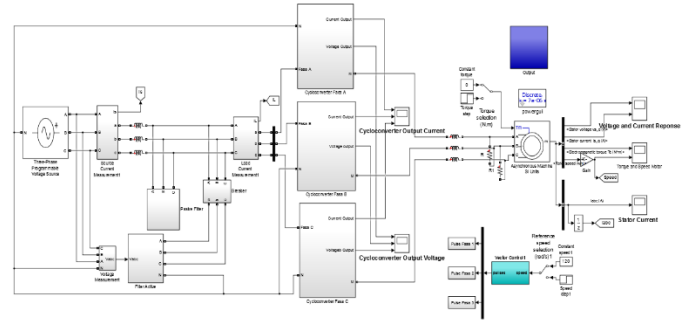
Pada sistem *vector control* sebagai *closed loop* dan penghasil pulsa *gate* untuk thyristor cycloconverter, terdapat beberapa bagian seperti, blok pengubah bentuk arus ABC menjadi *dq* dalam bentuk *scalar*, blok *speed controller* yang di dalamnya terdapat kendali PI, *dq* to ABC *conversion* sebagai pengubah bentuk *scalar* (*dq*) menjadi variabel (ABC) dan *Current regulator* merupakan *block* fungsi yang mengubah dari bentuk arus menuju *pulse* yang dibutuhkan untuk masukkan *input gate* thyristor.

2.5.3 Sistem filter

Sebelum masuk ke cycloconverter, arus masuk terlebih dahulu ke sistem pemfilteran, di mana sistem pemfilteran ini disusun seri antara pasif filter dan aktif filter. Pasif filter menggunakan *single tuned filter*, *type-C filter* dan aktif filter menggunakan *active filter inverter* atau *based shunt active filter*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pemodelan



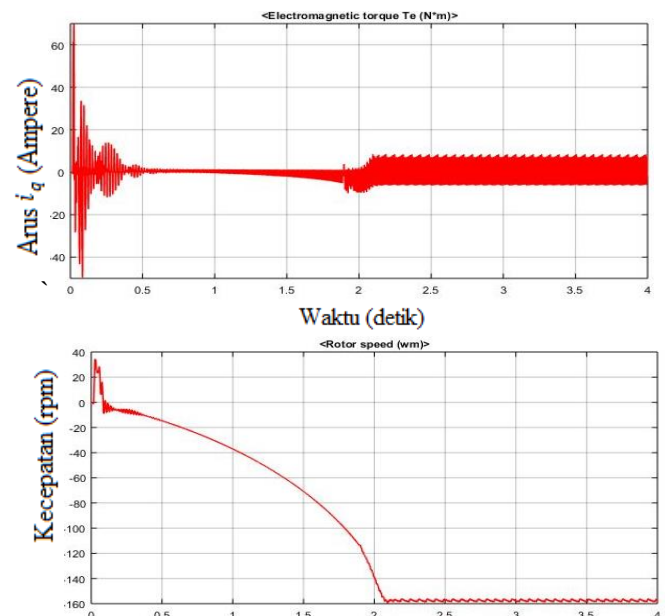
Gambar 6. Sistem cycloconverter menggunakan filter hybrid dan *vector control*.

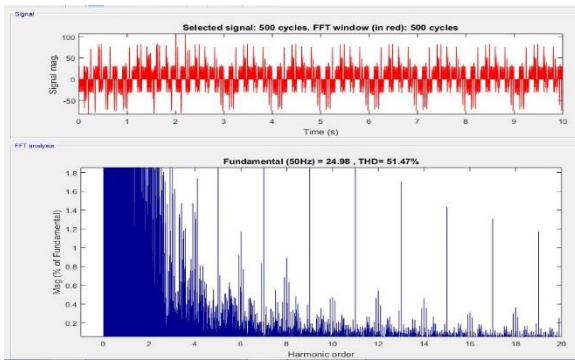
Rangkaian keseluruhan mencakup sumber 3 fasa, rangkaian cycloconverter, rangkaian filter 3 fasa, *loop* kontrol dengan menggunakan *vector control* dan yang terakhir rangkaian motor asinkron 3 fasa. Terdapat penambahan komponen pembantu dalam hal pengukuran dan pengamatan hasil keluaran rangkaian seperti *voltmeter*, *amperemeter* dan osiloskop. Pada cycloconverter 3 fasa ini menggunakan hubungan delta (*line to netral*), apabila dengan sumber tegangan 380 volt maka tegangan *line to netral* nya $1,73 \times \sqrt{380} = 33,8$ volt dan frekuensi *output* 16,7 Hz.

3.2 Hasil simulasi sistem cycloconverter

3.2.1. Sistem cycloconverter dengan beban motor 3 fasa tanpa filter tanpa *vector control*.

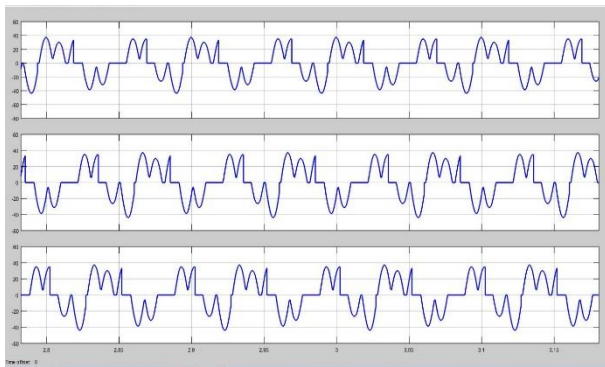
Pada percobaan ini sistem cycloconverter menggunakan beban motor tanpa pemakaian filter.



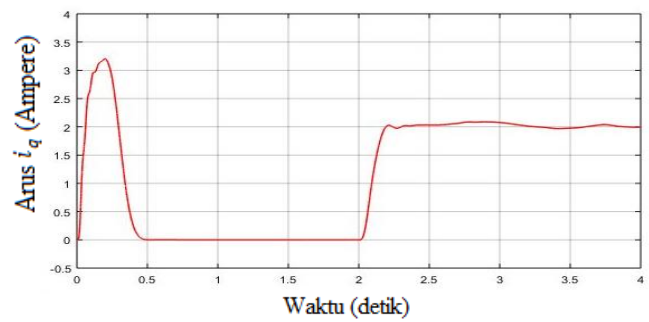
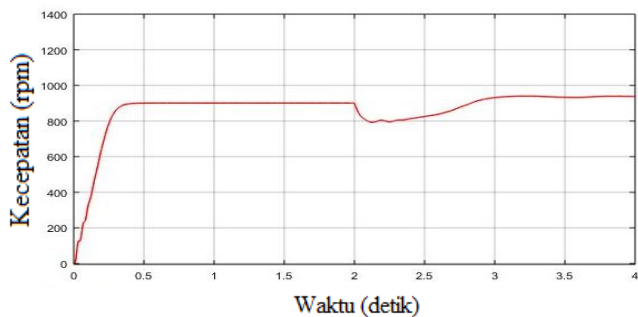
Gambar 7. Respon torsi dan kecepatan tanpa pemakaian filter**Gambar 8.** THD tanpa pemakaian filter

3.2.2. Sistem cycloconverter dengan beban motor 3 fasa dengan filter pasif

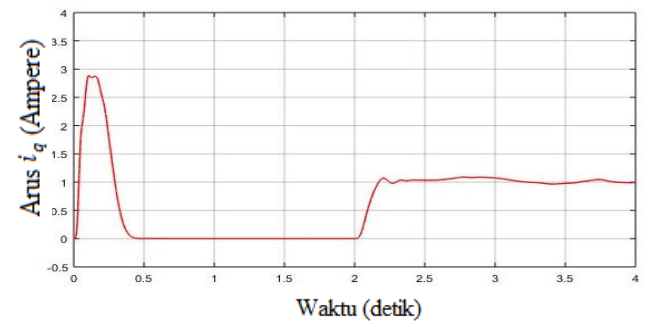
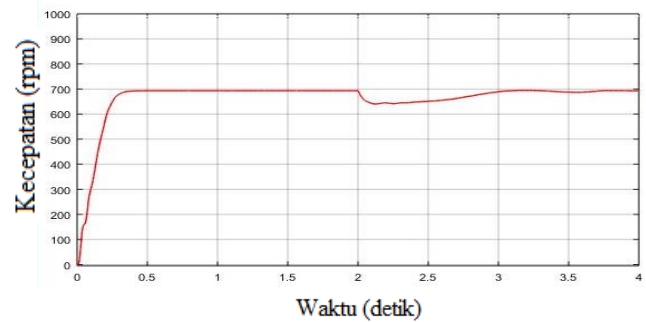
Pada percobaan ini sistem cycloconverter menggunakan beban motor dengan vector control sebagai close loop dan filter pasif yang terdiri dari dua buah type-C filter untuk mereduksi harmonisa orde rendah seperti orde 2 dan 3 dan 3 buah single tuned filter untuk mereduksi harmonisa orde ganjil 3, 5, 7 dan 9.

**Gambar 9.** Keluaran arus cycloconverter dengan filter pasif

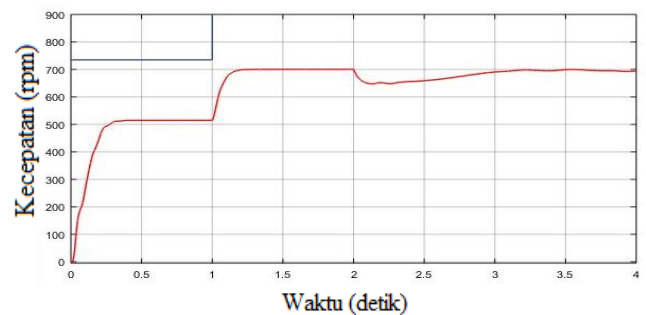
a. Kecepatan motor saat 900 rpm

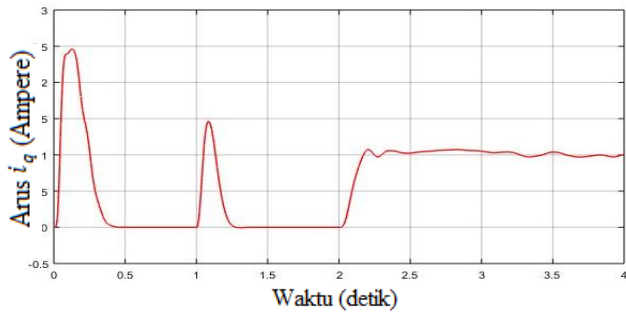
**Gambar 10.** Respon kecepatan motor saat 900 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter pasif

b. Kecepatan motor saat 700 rpm

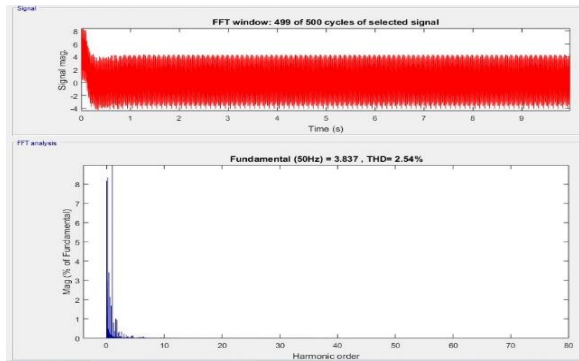
**Gambar 11.** Respon kecepatan motor saat 700 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter passive

d. Kecepatan motor saat 500-700 rpm





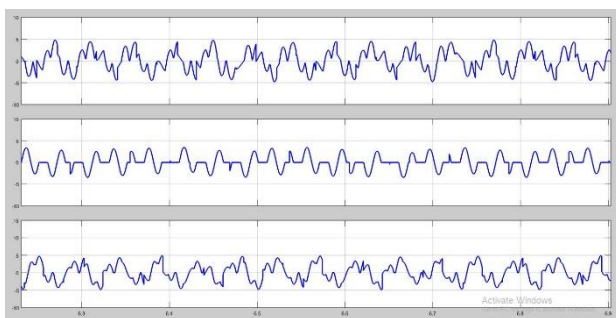
Gambar 12. Respon kecepatan motor saat 500-700 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter pasif



Gambar 13. THD menggunakan filter pasif

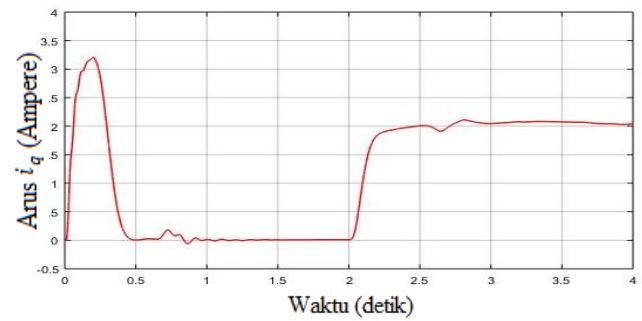
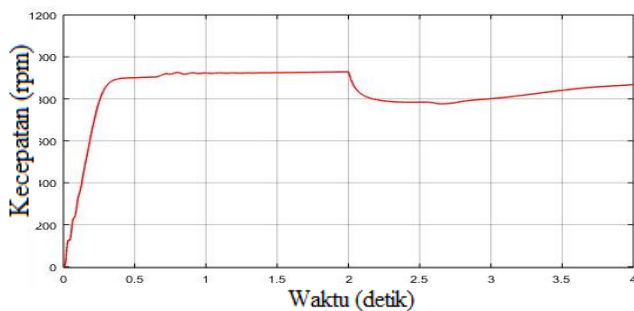
Adanya pengukuran THD dapat diketahui bahwa dengan filter (pasif) yang digunakan pada rangkaian mampu meredam harmonisa sampai dengan 2,54 %.

3.2.3 Sistem cycloconverter dengan beban motor 3 fasa dengan filter aktif



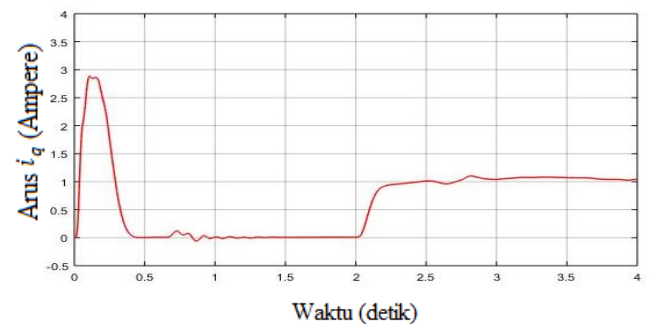
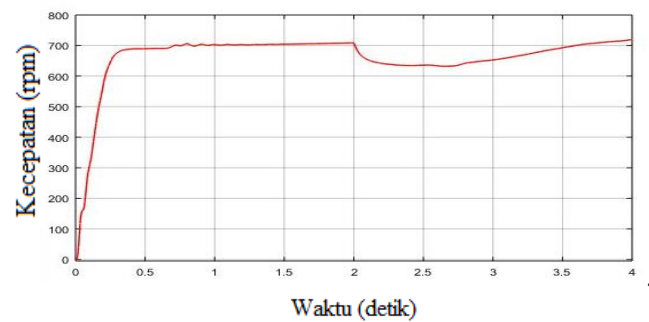
Gambar 14. Keluaran arus cycloconverter dengan filter aktif

a. Kecepatan motor saat 900 rpm



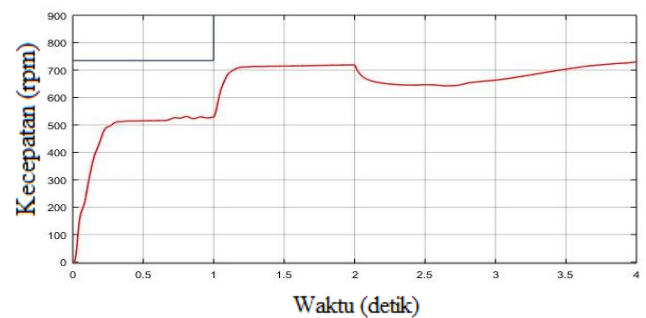
Gambar 15. Respon kecepatan motor saat 900 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter aktif

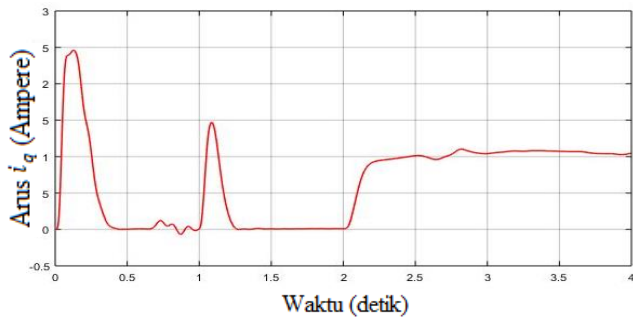
b. Kecepatan motor saat 700 rpm



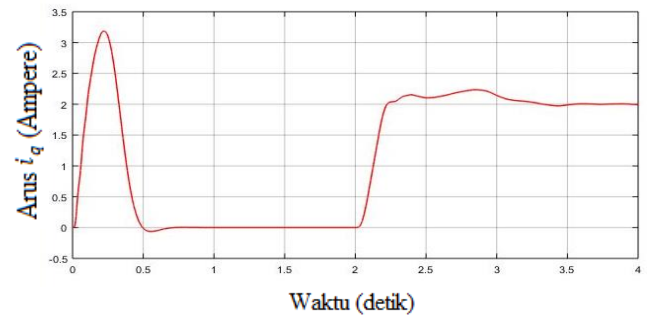
Gambar 16. Respon kecepatan motor saat 700 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter aktif

c. Kecepatan motor saat 500-700 rpm

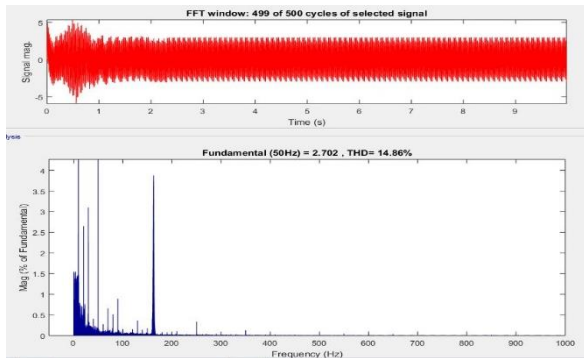




Gambar 17. Respon kecepatan motor saat 500-700 rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter aktif



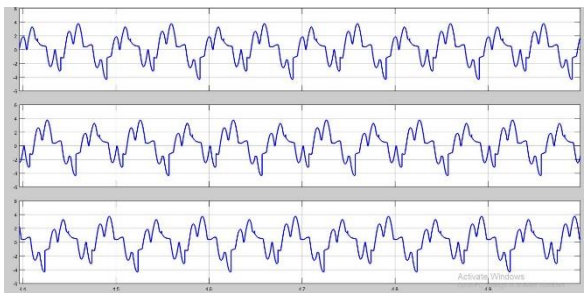
Gambar 20. Respon kecepatan motor saat 900rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter hybrid



Gambar 18. THD menggunakan filter aktif

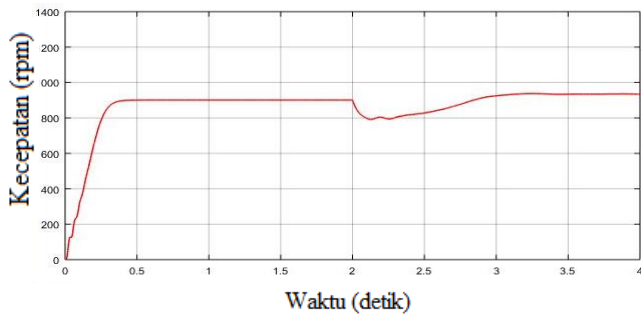
Adanya pengukuran THD dapat diketahui bahwa dengan filter (Aktif) yang digunakan pada rangkaian mampu meredam harmonisa sampai dengan 14,86 %.

3.2.4 Sistem cycloconverter dengan beban motor 3 fasa dengan filter hybrid

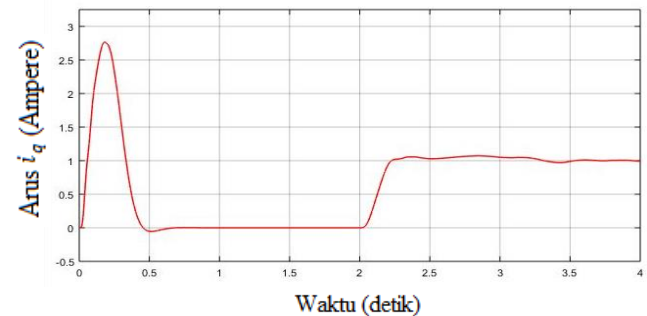
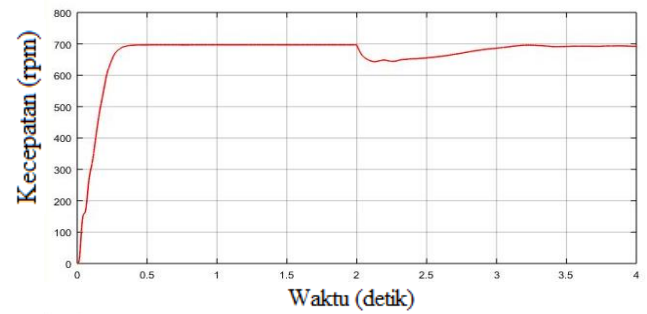


Gambar 19. Keluaran Arus Cycloconverter dengan Filter Hybrid

a. Kecepatan motor saat 900 rpm

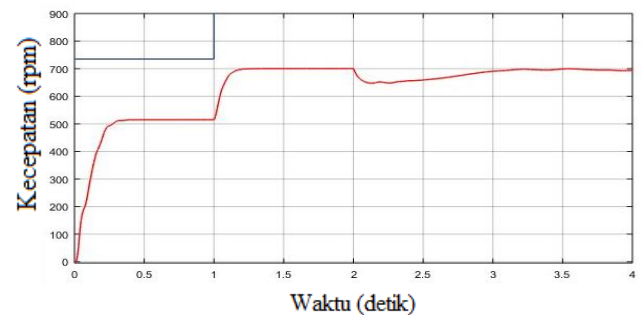


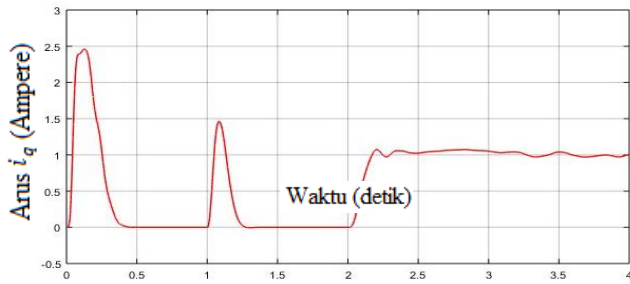
b. Kecepatan motor saat 700 rpm



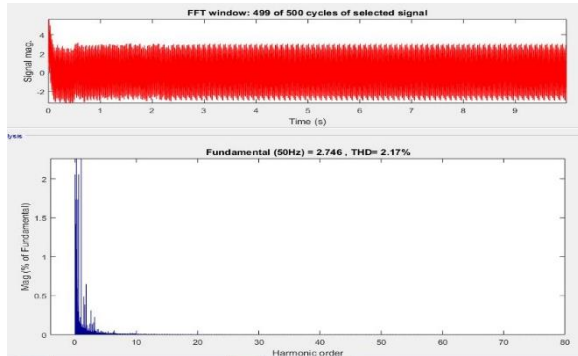
Gambar 21. Respon kecepatan motor saat 700rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter hybrid

d. Kecepatan motor saat 500-700 rpm





Gambar 22. Respon kecepatan motor saat 500-700rpm dan i_q (arus quadrature) pada filter hybrid



Gambar 23. THD Menggunakan filter hybrid

Adanya pengukuran THD dapat diketahui bahwa dengan filter (Hybrid) yang digunakan pada rangkaian mampu meredam harmonisa sampai dengan 2,17 %.

Semua grafik dapat dilihat pada variasi kecepatan diatas (900rpm, 700rpm dan 500-700rpm) dari sisi kualitas, respon dari filter Hybrid ini lebih handal dibandingkan filter pasif dan aktif dalam hal minimnya riak atau *ripple*. Grafik i_q (nilai perkiraan) dengan torsi (nilai aktual hampir sama. Perbedaan antara aktual dan estimasi ditemukan hingga 0,5 detik. Kesalahan atau *error* torsi antara aktual dan yang diperkirakan adalah ± 2 %.

3.2.5 Analisis dan pembahasan

3.2.5.1 Unjuk kerja filter

Pada sub ini akan menjelaskan tentang unjuk kerja dari ketiga filter, yang nantinya akan dibandingkan dalam hal, *total harmonic distortion* (THD) yang memiliki nilai yang kecil.

Tabel 2. Total Harmonic Distortion pada Sistem Cycloconverter 3 Fasa dengan Filter Pasif, Aktif dan Hybrid

Filter	Total Harmonic Distortion Current (THDi)
Passive Filter	2,54%
Active Filter	14,86%
Hybrid Filter	2,17%

Pada grafik *total harmonic distortion current* diatas dapat dilihat nilai dari *passive filter* memiliki THDi sebesar 2,54 %, pada filter aktif filter ini mereduksi harmonisa sampai dengan 14,86 % dan terakhir pada filter hybrid, filter ini dapat mereduksi harmonisa sampai dengan 2,17 % pada sistem arus cycloconverter 3 fasa.

Pengaruh signifikan terlihat pada respon data hasil keluaran kecepatan motor dan i_q motor, dengan adanya harmonisa arus yang kecil setiap orde kelipatan fundamental yang dimiliki sistem (50Hz), semakin kecil pula kecacatan pada gelombang keluaran.

4.Kesimpulan

Cycloconverters terdapat komponen non-linier yang menghasilkan distorsi yang sulit untuk dikurangi, dari pemasangan filter aktif hanya bisa meredam harmonisa sampai 14,86%. Walaupun pemasangan filter pasif sudah memenuhi standar 2,54% tetapi dengan memakai filter hybrid bisa lebih maksimal untuk menurunkan harmonisa sampai dengan 2,17%. Spesifikasi dan hasil harmonisa filter sudah sesuai, hal tersebut dibuktikan sebelum dipasang filter, jumlah distorsi harmonisa sebesar 51,47%.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem gabungan yang terdiri dari aktif filter inverter dan filter pasif atau bisa disebut hybrid filter berhasil dalam kompensasi harmonik pada sistem sesuai dengan standar IEEE 519-1992 dan pada pengendalian motor induksi, terlihat respon kecepatan minim akan ripple, dengan *error* aktual terhadap referensi sebesar ± 2 %.

Daftar pustaka

- [1] Antunes, H lio M. A. Gilberto, C. D Sousa and Domingos S. L. Simonetti. 2009. "Comparing Series and Parallel Hybrid Filters for Harmonic Reduction In Hot Strip Mill with Cycloconverters". Universidade Federal do Esp rito Santo, IEEE.
- [2] Aravena, Pablo. Vallebuona, Giovanni. Mor n, Luis. Etc, "A New Hybrid Filter Topology for Sub and Inter-harmonic Attenuation in Cycloconverter-Fed Drives Applications" 978-1-4244-3476-3, IEEE. 2009.
- [3] Aravena, Pablo. Vallebuona, Giovanni. Mor n, Luis. Etc. "Passive Filters for High Power Cycloconverter Grinding Mill Drives," 978-1-4244-3476-3, IEEE. 2009.
- [4] Basic, D. Ramsden', V.S. Mutik, P. K. 1998. "Performance of Combined Power Filters In Harmonics Compensations of High Power Cycloconverters," University of Technology, Sydney, Australia. GEC ALSTHOM (Australia) Ltd
- [5] C.R.Harahap, T Hanamoto. 2015. "FRIT Based PI Tuning for Speed Control of PMSM Using FPGA for High Frequency SiC MOSFET Inverter". International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 1-6.
- [6] C.R.Harahap, R.Saito, H.Yamada, T.Hanamoto, "Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using FPGA for high Frequency Sic MOSFET Inverter," Journal Engineering Science And Technology, pp. 1 I-20,2014.
- [7] Kocalmis Bilham. A, Akbal. E. "Modeling and Simulation

- of Two-Level Space Vector PWM Inverter Using Photovoltaic Cells As DC Source". *International Journal Of Electronic*. Vol. 2, No. 4, pp. 311-317.
- [8] Lee, R. J.; Pillay, P.; Harley R. G. (1984). "D,Q Reference Frames for the Simulation of Induction Motors", *Electric Power Systems Research*. EPR. 8: 15–26.
 - [9] Mustaman. 2017. "Penggunaan Passive Filter Single Tuned untuk Mereduksi Harmonisa pada Juicer". *Journal of Electrical Technology*, Vol. 2, No. 3.
 - [10] Palani, Kevin. 2010. "Power Quality Analysis Of A Three-Phase Cycloconverter Under Variable Operating Conditions ". Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
 - [11] Prasetijo, Hari. 2012. "Analyze Of Passive Filter Design To Reduce Harmonic At Non-Linear Loads Instalation," Universitas Jenderal Soedirman, Techno, Volume 13 No 1.
 - [12] Pande, Sandeep. Dalvi, Hashit. 2011. "Simulation Of Cycloconverter Based Three Phase Induction Motor,"
 - [13] Ronald, Charles H.; Tsuyoshi Hanamoto. 2016. "Fictitious Reference Iterative Tuning Based Two-Degrees-of-Freedom Method for Permanent Magnet Synchronous Motor Speed Control Using FPGA for a High-Frequency SiC MOSFET Inverter MOSFET Inverter". Kyushu Institute of Technology, Japan
 - [14] Zambada, Jorge (Nov 8, 2007). "Field-oriented control for motors", *MachineDesign.com*.