

ANALISA SIMULASI UNJUK KERJA FILTER AKTIF CASCADED MULTILEVEL INVERTER UNTUK MENGURANGI EFEK HARMONISA KELUARAN *HYBRID* BIDIRECTIONAL INVERTER 1500 WATT

Ade Maulana*, Amir Hamzah**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau ** Dosen Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Telepon : (0761) 66595, Fax. 66595, website : <http://ee.ft.unri.ac.id>

E-mail : Ade.maulana2092@gmail.com

ABSTRACT

Harmonics cause voltage distortion that can result in electrical equipment becomes hot quickly, the power factor is low, interference with the equipment that use relays for switching and measurement accuracy kWh-meter induction type will be reduced, therefore harmonics requires serious attention, to cope with a wave distorted would require a technology that has the function of fixing the waves, this technology is called filter. The use of filters to reduce harmonic been widely recommended to overcome these problems. This final project describes one harmonic filter configuration, that's called Active Filter parallel configuration, the method used is Cascaded Multilevel Inverter. The results of the simulation system design and form of the value of THD (Total Harmonic Distortion). THD value on systems that use an active filter Cascaded Multilevel Inverter showed a significant decrease compared to the system without the addition of a filter on Bidirectional Hybrid Inverter 1500 watts.

Key Word: Harmonic, Active Filter, Cascaded Multilevel Inverter

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik yang baik merupakan suatu kebutuhan bagi masyarakat modern. Kualitas daya yang kurang baik akan merugikan pihak produsen listrik, maupun pihak konsumen. Tegangan listrik yang tidak stabil, turunnya faktor daya, kontinuitas suplai daya, dan timbulnya harmonisa merupakan sebagian masalah dari permasalahan kualitas daya listrik.

Gelombang tegangan dan gelombang arus dalam sistem tenaga listrik yang ideal adalah gelombang sinusoidal murni. Namun semakin berkembangnya teknologi di sisi beban yang mengarah pada peningkatan efisiensi peralatan dalam penggunaan energi listrik mempengaruhi kehandalan kualitas daya.

Arus harmonisa menyebabkan terjadinya penyimpangan gelombang tegangan dan arus yang

menjadi salah satu permasalahan kualitas daya dan berpengaruh terhadap peralatan listrik. Terjadinya penyimpangan gelombang tegangan dan arus akan mempengaruhi unjuk kerja sistem, dimana peralatan listrik akan mengalami gangguan diluar kondisi, faktor daya menjadi rendah, gangguan pada peralatan yang menggunakan *relay* untuk *switching* dan akurasi pengukuran kWh-meter jenis induksi akan berkurang, oleh karena itu harmonisa perlu mendapat perhatian serius dan dampak yang ditimbulkan harmonisa begitu besar, sehingga beberapa tempat yang dianggap penting seperti perkantoran, rumah sakit, perumahan dan yang lainnya perlu diperhatikan dan seharusnya dipasang peralatan untuk mengatasi harmonisa tersebut.

Untuk mengatasi suatu gelombang yang terdistorsi tersebut dibutuhkan suatu teknologi yang memiliki fungsi memperbaiki gelombang tersebut, teknologi ini dinamakan filter. Filter

adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengambil atau melewatkan tegangan keluaran pada frekuensi tertentu yang diinginkan dan untuk melemahkan atau membuang ke *ground* tegangan keluaran pada frekuensi tertentu yang tidak diinginkan.

Filter aktif merupakan jenis yang saat ini dikembangkan dan mulai banyak digunakan untuk menghindari kekurangan yang ditimbulkan filter pasif serta memperbaiki kualitas daya. Dengan filter daya aktif ini komponen harmonisa pada sistem akan direduksi melalui injeksi komponen harmonisa dengan fasa berlawanan dan amplitudo sama. Ada banyak metode yang dikembangkan untuk mendesain suatu Filter daya aktif. Salah satu metode untuk mendesain filter daya aktif paralel, yaitu dengan metode PWM (*Pulse Width Modulation*), tetapi metode ini mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan *switching frekuensi* tinggi dan akan timbul *losses* pada *switching* itu sendiri.

Oleh karena itu untuk mengatasi masalah tersebut metode yang digunakan adalah metode *Cascaded Multilevel Inverter*. Metode ini tidak memerlukan *switching frekuensi* dan daya yang dihasilkan juga lebih besar sehingga tidak dibutuhkan *transformator*. Selain itu dengan menggunakan metode ini THD (*Total Harmonic Distortion*) pada sistem dapat diturunkan. Dalam tugas akhir ini, Filter daya aktif akan didesain menggunakan simulasi Matlab2009b dan akan dibandingkan THD sistem tanpa filter dengan sistem metode *Cascaded Multilevel Inverter*.

BAHAN DAN METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode komparasi antara hasil pengukuran tanpa filter dan setelah di filter dengan standar IEEE 519-1992. kemudian akan membandingkan THD system tanpa filter dan system yang telah di filter.

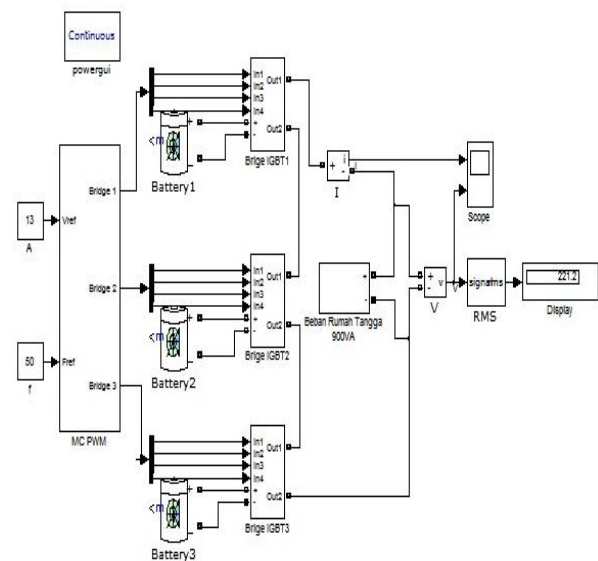
Peralatan Penelitian

Adapun sarana yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini antara lain :

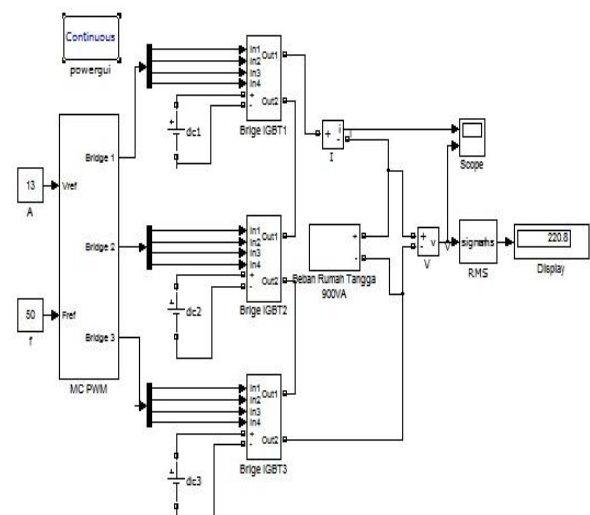
1. Laptop HP
2. Software Matlab2009b.

Rangkaian Pengujian

Gambar 3.1 dibawah ini menunjukkan rangkaian *Cascaded Multilevel Inverter* dengan sumber baterai dan pada Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian *Cascaded Multilevel Inverter* dengan sumber panel surya.



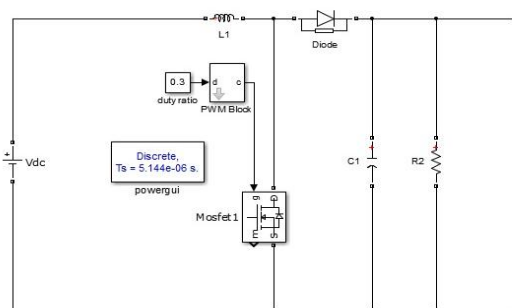
Gambar 1 Rangkaian *Cascaded Multilevel Inverter* dengan Sumber Baterai



Gambar 2 *Cascaded Multilevel Inverter* dengan Sumber Panel Surya

Desain Konverter Penaik

Konverter penaik digunakan untuk meningkatkan tegangan masukan DC 216 Volt menjadi 310 Vdc. Berikut merupakan gambar skematis dari konverter penaik.



Gambar 3 Rangkaian Konverter Penaik

Rangkaian konverter penaik terdiri dari induktor, dioda, kapasitor serta saklar mosfet. Berikut ini didapatkan parameter dari konverter penaik pada mode inverter

Tegangan Masukan 216 Vdc

Induktor konverter penaik 0.294 μ H

Kapasitor konverter penaik 3.72 mF

Rasio Kerja 0.3

Frekuensi pensaklaran 25000 Hz

Tegangan Keluaran 310 Vdc

Konverter Penaik

Variasi Level Amplitudo dan Pengaturan Saklar

Sistem pensaklar pada desain simulasi filter aktif *Cascaded Multilevel Inverter* dijelaskan pada tabel 1, dengan system pensaklaran 1/0, dimana 1 menyatakan Saklar *on* 0 menyatakan saklar *off* dan dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Variasi Level Amplitudo dan Pengaturan Saklar

Level	Amplitudo			Saklar											
	Output			Bridge 1 (1)				Bridge 2 (3)				Bridge 3 (9)			
	Vo1	Vo2	Vo3	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
+13	+	+	+	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
+12	0	+	+	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
+11	-	+	+	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
+10	+	0	+	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
+9	0	0	+	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
+8	-	0	+	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
+7	+	-	+	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
+6	0	-	+	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
+5	-	-	+	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
+4	+	+	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
+3	0	+	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
+2	-	+	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
+1	+	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
-1	-	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
-2	+	-	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
-3	0	-	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
-4	-	-	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0
-5	+	+	-	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
-6	0	+	-	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
-7	-	+	-	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0

-8	+	0	-	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
-9	0	0	-	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
-10	-	0	-	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0
-11	+	-	-	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
-12	0	-	-	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
-13	-	-	-	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Penggunaan Beban Selama 24 Jam

Penggunaan beban non linier dengan beban R dan L selama 24 jam dapat di lihat pada tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Pemakaian Beban

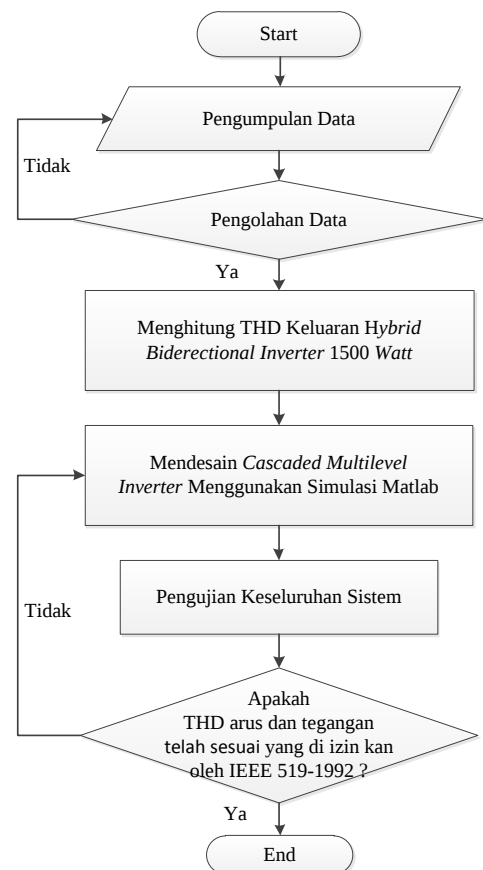
N o	Waktu Hidup (WIB)	Resistansi (Ω)	Induktif (H)
1	00.00-04.59	126.0530348	0.3540028
2	05.00-05.29	28.91268769	0.1482519
3	06.00-06.59	70.47291383	0.1321401
4	07.00-07.59	81.01344325	0.1676943
5	08.00-08.59	52.15671534	0.0809145
6	09.00-09.59	81.01344325	0.1676943
7	10.00-10.59	81.01344325	0.1676943
8	11.00-11.59	72.21089418	0.1394837
9	12.00-14.59	81.01344325	0.1676943
10	15.00-15.59	81.01344325	0.1676943
11	16.00-16.59	28.79621452	0.1821145
12	17.00-17.59	72.21089418	0.1394837
13	18.00-21.59	59.52797846	0.1000292
14	22.00-23.59	62.50479251	0.104916

Prosedur Penelitian

Langkah pengujian untuk mendapatkan data THDI dan THDV pada penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian harmonisa keluaran *Hybrid Bidirectional Inverter 1500 Watt* pembangkit listrik tenaga surya dan energi listrik utilitas dengan simulasi Matlab2009b setiap 24 jam pemakainnya. Percobaan ini di lakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- Rangkaian pengujian disusun seperti gambar 1 dan 2
- Beban dipasang sesuai dengan tabel 2
- Running* rangkain pada simulasi matlab 2009b
- Mengamati grafik arus dan teggangan keluaran
- Mendapatkan nilai THD arus dan tegangan yang di izin kan oleh IEEE 519-1992
- Mengambil data dari spectrum THD pada FFT simulasi matlab 2009b
- Percobaan selesai.

Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram penelitian di bawah ini.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

Teknik Analisis Data

Untuk menganalisa pengaruh harmonisa terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indeks harmonik, berikut adalah beberapa pengertian dan persamaan yang terdapat dalam analisis harmonik.

1. Total Harmonic Distortion (THD)

THD merupakan rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari nilai fundamental dan biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks ini digunakan untuk menyatakan deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa terhadap gelombang sinusoidal murni. Total Distorsi Harmonik (THD) tegangan dan arus, yaitu :

Untuk mengukur nilai efektif dari komponen-komponen harmonisa dari gelombang cacat (terdistorsi) digunakan besaran THD (*Total Harmonic Distortion*). *Total harmonic distortion* (THD) adalah total besarnya gangguan harmonisa pada sistem tenaga listrik. Gelombang sinusoidal yang baik memiliki THD bernilai 0%. Besarnya nilai THD arus dan tegangan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$THD I = \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots} \frac{I_n^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD V = \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots} \frac{V_n^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana;

V_n ; I_n = komponen harmonisa
 V_1 ; I_1 = komponen fundamental
 THD = Total Harmonic Distortion
 n = orde harmonisa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengukuran THD Arus Dan Tegangan Keluaran *Bidirectional Inverter*
 Pelaksanaan pengambilan data pada pengujian THD arus dan tegangan keluaran *bidirectional inverter* dilakukan dengan rentang waktu pengukuran 24 jam. Kandungan THD arus dan tegangan mempunyai persentasi yang sangat beragam, pada pukul 05.00 – 05.59 dengan THD arus mencapai 12,27% dan persentasi tertinggi pada pukul 16.00- 16.59 dengan THD arus mencapai 13,07%. Untuk THD tegangan persentasi tertinggi terjadi pada pukul 11-00 – 11.59 mencapai 160,93%. THD arus dan tegangan dari

luaran *hybrid bidirectional inverter* 1500 watt sebelum di filter dapat di lihat pada tabel 3 dibawah.

Tabel 3 Data kandungan harmonisa arus dan tegangan sebelum di filter

No	Pukul	THDi (%)	THDv (%)
1	00.00 - 04.59	8,90	145,76
2	05.00 - 05.59	12,27	145,78
3	06.00 - 06.59	6,29	145,78
4	07.00 - 07.59	6,91	145,77
5	08.00 - 08.59	5,19	145,79
6	09.00 - 09.59	6,91	145,77
7	10.00 - 10.59	6,19	158,79
8	11.00 - 11.59	5,70	160,93
9	12.00 - 14.59	6,19	158,79
10	15.00 - 15.59	6,91	145,77
11	16.00 - 16.59	13,07	145,77
12	17.00 - 17.59	6,47	145,78
13	18.00 - 21.59	5,64	145,79
14	22.00 - 23.59	5,63	145,80

Ket:  Sumber Baterai
 Sumber Panel Surya

Analisis Simulasi *Cascaded Multilevel Inverter*

Kandungan harmonisa yang diperoleh setelah pemasangan filter *cascaded multilevel inveter* pada *hybrid bidirectional inverter* 1500 watt sudah dibawah standar yang di tentukan IEEE 512-1992 dan hasil pengukuran THD setelah di filter selama selama 24 jam dapat di lihat pada tabel dibawah.

Tabel 4 Data kandungan harmonisa arus dan tegangan setelah di filter

No	Pukul	THDi (%)	THDv (%)
1	00.00 - 04.59	3,18	4,70
2	05.00 - 05.59	4,26	4,74
3	06.00 - 06.59	2,31	4,71
4	07.00 - 07.59	2,52	4,71
5	08.00 - 08.59	1,95	4,73
6	09.00 - 09.59	2,52	4,71
7	10.00 - 10.59	2,52	4,67
8	11.00 - 11.59	2,37	4,69

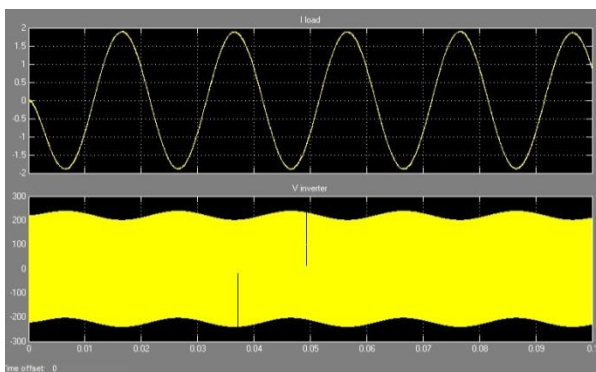
9	12.00 - 14.59	2,52	4,67
10	15.00 - 15.59	2,52	4,71
11	16.00 - 16.59	4,50	4,72
12	17.00 - 17.59	2,37	4,70
13	18.00 - 21.59	2,09	4,70
14	22.00 - 23.59	2,09	4,70

Ket:  Sumber Baterai

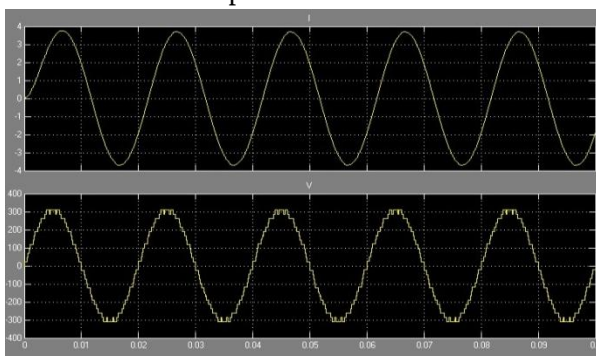
 Sumber Panel Surya

Kandungan THD arus dan tegangan pada tabel 4 mempunyai persentasi di bawah 5%, dimana THD tegangan dengan persentasi tertinggi pada pukul 08.00 -08.59 mncapai 4,73% dan persentasi tertinggi THD arus pada pukul 16.00-16.59 dengan THDi mencapai 4,50%.

Perbandingan grafik arus dan tegangan keluaran sebelum dan setelah di filter *Cascaded Multilevel Inverter* dengan sumber panel surya di jelaskan pada gambar di bawah, untuk gambar 5 menunjukkan gelombang keluaran arus dan tegangan sebelum di filter pada pukul 11.00-11.59 WIB dan gambar 6 menunjukkan gelombang keluaran arus dan tegangan setelah di filter CMI pada pukul 11.00 -11.59 WIB.

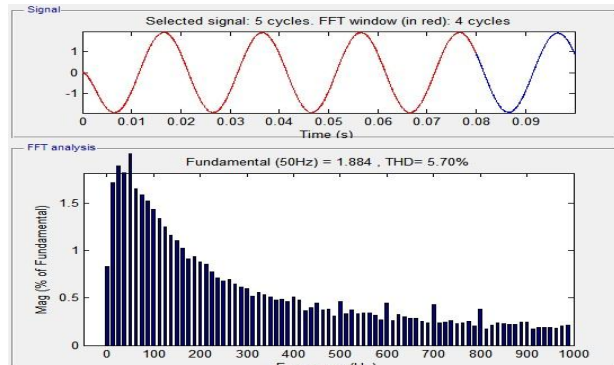


Gambar 5 Grafik Arus dan tegangan keluaran sebelum di filter pada Pukul 11.00 -11.59 WIB

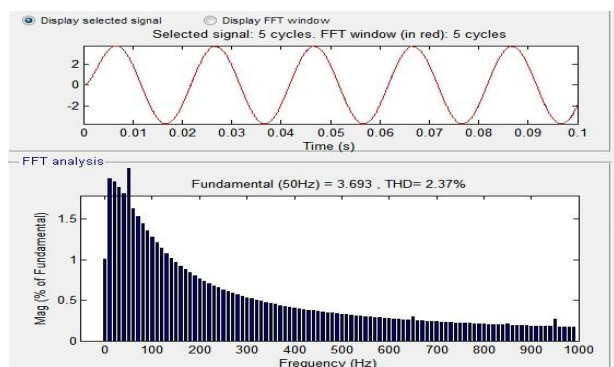


Gambar 6 Grafik arus dan tegangan keluaran setelah di filter CMI pada pukul 11.00 -11.59 WIB

Pada gambar di bawah menunjukkan spectrum THD arus sebelum dan setelah di filter *Cascaded Multilevel Inverter*, dimana THD arus sebelum di filter pada pukul 11.00-11.59 dapat di lihat pada gambar 7 dengan THD mencapai 5,70% dan THD arus setelah di filter dapat di lihat pada gambar 8 dimana THD menjadi 2,37% .

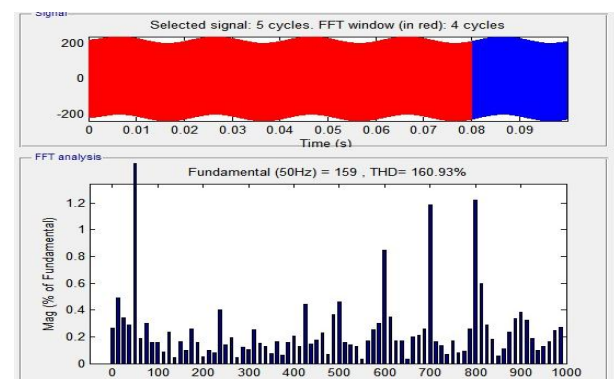


Gambar 7 Spektrum Arus Sebelum di Filter CMI Pada Pukul 11.00 – 11.59 WIB

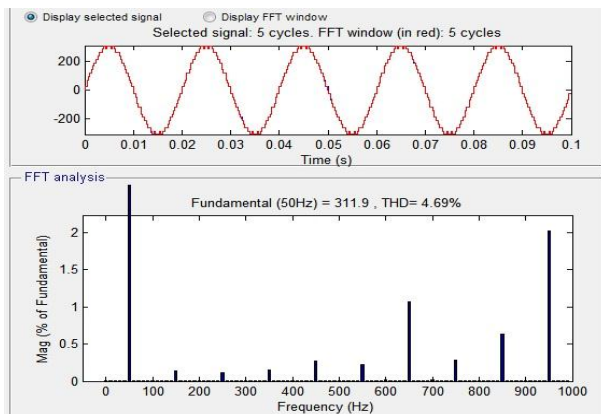


Gambar 8 Spektrum Arus Setelah di Filter CMI Pada Pukul 11.00 – 11.59 WIB

THD tegangan tertinggi sebelum di filter selama 24 jam terjadi pada pada pukul 11.00-11.59 WIB mencapai 160,93% , dan setelah di filter *Cascaded Multilevel Inverter* turun menjadi 4,69%, untuk lebih jelas dapat di lihat pada gambar dibawah.

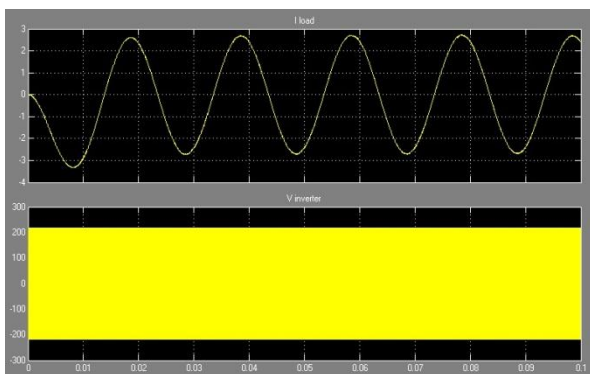


Gambar 9 Spektrum Tegangan Sebelum di Filter CMI Pada Pukul 11.00 – 11.59 WIB

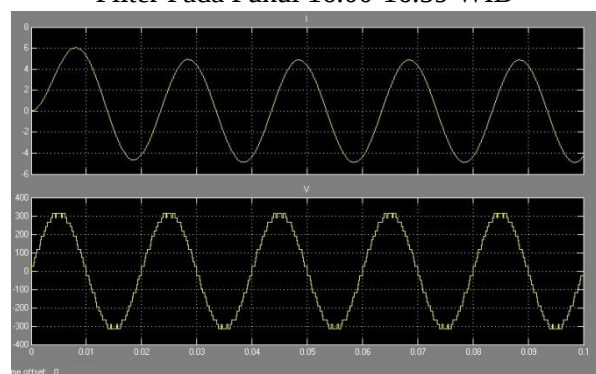


Gambar 10 Spektrum THD tegangan setelah di

filter CMI pada pukul 11.00 – 11.59 WIB
Perbandingan grafik arus dan tegangan keluaran sebelum dan setelah di filter *Cascaded Multilevel Inverter* dengan sumber baterai di jelaskan pada gambar di bawah, untuk gambar 11 menunjukkan gelombang keluaran arus dan tegangan sebelum di filter pada pukul 16.00-16.59 WIB dan gambar 12 menunjukkan gelombang keluaran arus dan tegangan setelah di filter CMI pada pukul 16.00 - 16.59 WIB.

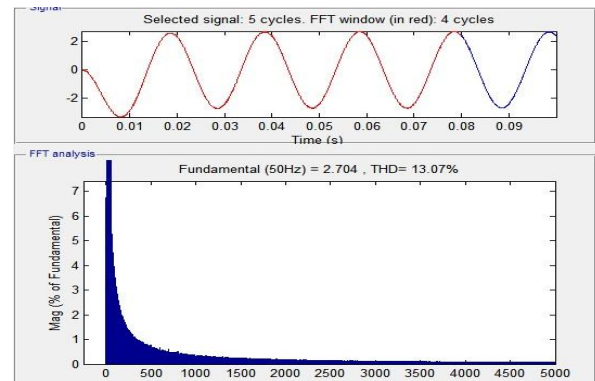


Gambar 11 Grafik Arus dan Tegangan Sebelum di Filter Pada Pukul 16.00-16.59 WIB

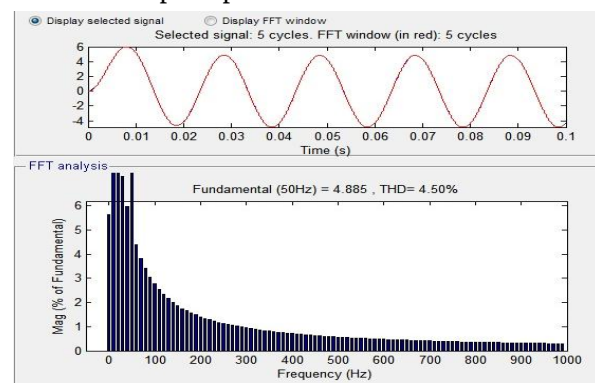


Gambar 12 Grafik arus dan tegangan keluaran setelah di filter CMI pada pukul 16.00 – 16.59 WIB

Pada spektrum THD arus pukul 16.00-16.59 sebelum di filter mencapai 13,07% dan setelah di filter THD arus turun menjadi 4,50% dari 13,07% . untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 13 dan 14 di bawah.

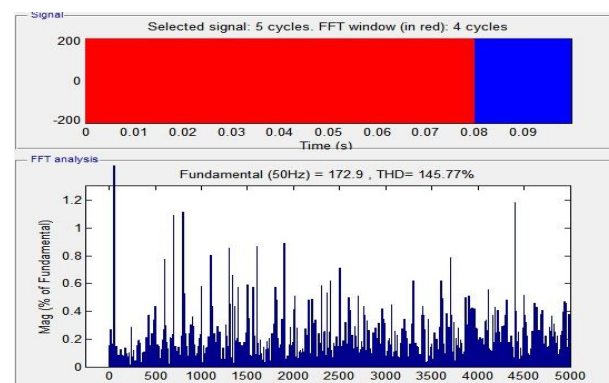


Gambar 13 Spektrum THD arus sebelum di filter CMI pada pukul 16.00 – 16.59 WIB

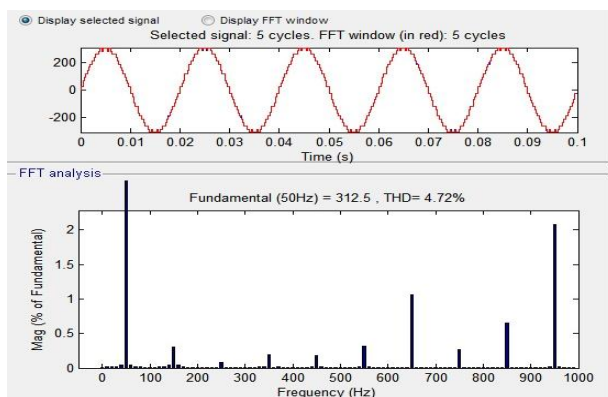


Gambar 14 Spektrum THD arus setelah di filter CMI pada pukul 16.00-16.59 WIB

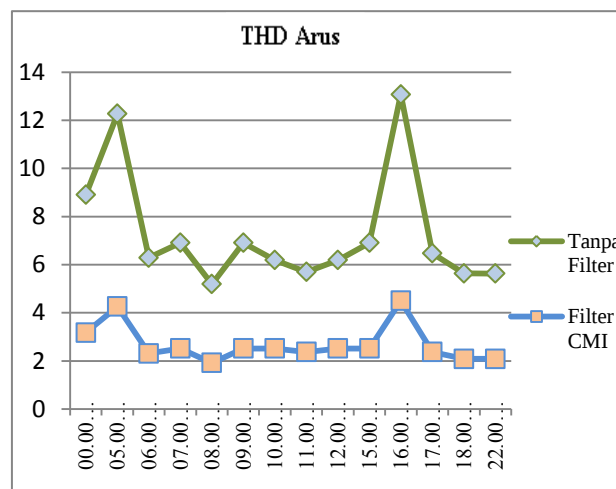
THD tegangan sebelum di filter pada pukul 11.00-11.59 WIB mencapai 145,77% dan setelah di filter *Cascaded Multilevel Inverter* turun menjadi 4,72%, untuk lebih jelas dapat di lihat pada gambar 15 dan gambar 16.



Gambar 15 Spektrum THD Tegangan Sebelum di filter CMI Pada Pukul 16.00 – 16.59 WIB



Gambar 16 Spektrum THD tegangan setelah di filter CMI Pada Pukul 16.00 – 16.59 WIB



Gambar 17 Grafik Perbandingan THD Arus Sebelum dan Setelah di Filter CMI

Perbandingan THD Tanpa Filter dan Setelah di Filter *Cascaded Multilevel Inverter*.

Grafik perbandingan THD arus sebelum dan setelah di filter, tampak pada pukul 16.00-16.59 THD arus sebelum di filter sangat tinggi mencapai 13.07% dan setelah di filter THD arus berkurang menjadi 4.50% dimana terjadi penurunan sampai 8.57%. untuk lebih jelas nya dapat di lihat pada tabel 5 dan gambar 17 dibawah.

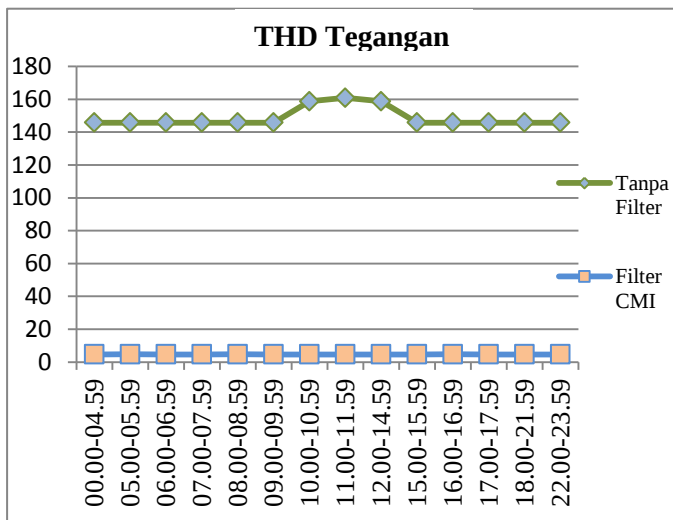
Tabel 5 Perbandingan THDi Tanpa Filter dan setelah Di Filter CMI

Pukul	THD Arus	
	Tanpa Filter	Filter CMI
00.00 - 04.59	8,90	3,18
05.00 - 05.59	12,27	4,26
06.00 - 06.59	6,29	2,31
07.00 - 07.59	6,91	2,52
08.00 - 08.59	5,19	1,95
09.00 - 09.59	6,91	2,52
10.00 - 10.59	6,19	2,52
11.00 - 11.59	5,70	2,37
12.00 - 14.59	6,19	2,52
15.00 - 15.59	6,91	2,52
16.00 - 16.59	13,07	4,50
17.00 - 17.59	6,47	2,37
18.00 - 21.59	5,64	2,09
22.00 - 23.59	5,63	2,09

Pada tabel 6 dan gambar 18 menunjukkan hasil perbandingan THD tegangan sebelum dan setelah di filter, dimana THD tegangan setelah di filter pada pukul 11.00-11.59 WIB jauh menurun mencapai 156,24% dari sebelum nya 160,93% menjadi 4,69%. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada gambar dibawah.

Tabel 6 Perbandingan THDv Tanpa Filter dan setelah Di Filter CMI

Pukul	THD Tegangan	
	Tanpa Filter	Filter CMI
00.00 - 04.59	145,76	4,70
05.00 - 05.59	145,78	4,74
06.00 - 06.59	145,78	4,71
07.00 - 07.59	145,77	4,71
08.00 - 08.59	145,79	4,73
09.00 - 09.59	145,77	4,71
10.00 - 10.59	158,79	4,67
11.00 - 11.59	160,93	4,69
12.00 - 14.59	158,79	4,67
15.00 - 15.59	145,77	4,71
16.00 - 16.59	145,77	4,72
17.00 - 17.59	145,78	4,70
18.00 - 21.59	145,79	4,70
22.00 - 23.59	145,80	4,70



Gambar 18 Grafik perbandingan THD Tegangan Sebelum dan Setelah di Filter CMI

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil simulasi dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Metode *cascaded Multilevel Inverter* dapat dioperasikan sebagai filter daya aktif parallel untuk mengkompensasi harmonisa yang ditimbulkan oleh beban yang tidak linier.
2. Filter aktif cascade Multilevel Inverter dapat menurunkan THD (Total Harmonic Distortion) arus sumber pada sistem sebesar 13,07% menjadi 4,50%.
3. Filter aktif cascade Multilevel Inverter dapat menurunkan THD (Total Harmonic Distortion) tegangan sumber pada system sebesar 160,93% menjadi 4,69%.
4. Pada sistem yang menggunakan Filter aktif Cascade Multilevel Inverter, nilai THD arus dan tegangan sumber masih dibawah batas yang diijinkan atau sesuai dengan standard (dibawah 5%).

DAFTAR PUSTAKA

Yuanti, A. 2009 "Desain Dan Simulasi Filter Daya Aktif *Shunt* Untuk Kompensasi Harmonisa Menggunakan Metode *Cascaded Multilevel Inverter*". Jurusan Teknik Elektro, Fti Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Warman, E. 2013. "Penentuan Faktor Pengali Sistem Pengukuran Analog Untuk Beban Non Linear" . Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Medan

Eko Aptono Tri Yuwono. Agung Warsito. Mochammad Facta. 2011. "Inverter Multi Level Tipe Jembatan Satu Fasa Tiga Tingkat Dengan Mikrokontroler At89s51". Transmisi, 13 (4), 135-140. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Arif Trimoko Aji. 2009. "Analisa Simulasi Unjuk Kerja Filter Pasif Tipe C Untuk Mengurangi Efek Harmonik Pada Generator Serempak". Fakultas Teknik Departemen Teknik Elektro Depok

Wahri Sunanda. 2014. "Kandungan Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi". Jurnal ECOTIPE, Volume 1, No.2,. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

Hendrawan, Alvian Dwi. "Analisis *Filter* Seri-Paralel Dalam Rangkaian Inverter Frekuensi Tinggi Penaik Tegangan". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

Saputra ,IGNA Dwijaya. "Inverter Multifungsi Satu Fasa Menggunakan Fuzzy Logic Controller". JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 1, No. 2, Oct 2003, ISSN 1412-8306. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali