

Simulasi Filter Aktif Cascaded Multilevel Inverter Untuk Meminimalisir Harmonisa Pada Motor Induksi 3 Fasa

Cut Mouliza Meutia Vasya¹, Rakhmad Syafutra Lubis², Mansur Gapy³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹cut.vasya97@gmail.com

²rakhmadslubis@unsyiah.ac.id

³mansur.gapi@unsyiah.ac.id

Abstrak— Penggunaan peralatan beban non-linear sudah banyak digunakan baik dalam industri maupun rumah tangga. Pada bidang industri sangat sering menggunakan motor induksi yang merupakan beban non-linear. Dalam pengoperasian beban non-linear dapat menimbulkan permasalahan dalam sistem kelistrikan yaitu menghasilkan harmonisa yang dapat mengganggu kualitas daya. Harmonisa merupakan suatu permasalahan berupa distorsi gelombang yang kini menjadi perhatian karena memiliki dampak yang merugikan sistem tenaga listrik. Salah satu solusi untuk meminimalisir tingkat distorsi harmonisa ini yaitu dengan dilakukannya pemasangan filter aktif *shunt cascaded multilevel inverter*. Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan filter aktif *shunt* menggunakan matlab *Simulink R2015b* yang dibuat berdasarkan teori daya sesaat (*p-q theory*) dan *cascaded multilevel inverter* lima tingkat dengan model *H-Bridge*. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa filter aktif *shunt cascaded multilevel inverter* lima tingkat dapat meminimalisir tingkat distorsi harmonisa arus sesuai dengan yang diijinkan standar IEEE 519-1992 yaitu yang sebelumnya pada fasa R besar nilai THDi mencapai 59.51% menjadi 6.27%, fasa S 62.99% menjadi 4.84% dan pada fasa T 62.40% menjadi 5.76%.

Kata Kunci— Harmonisa, Filter Aktif *Shunt*, *Cascaded Multilevel Inverter*, Motor Induksi, *Hysteresis Current Control*.

I. PENDAHULUAN

Umumnya penggunaan peralatan elektronika daya pada masa kini membawa dampak bagi sistem kelistrikan. Pada bidang industri sangat sering menggunakan beban non-linear seperti motor induksi 3 fasa yang biasa digunakan pada perusahaan baja dan penggerak pompa. Beban-beban non-linear tersebut dapat menyebabkan distorsi gelombang arus maupun tegangan yang berdampak pada sistem kelistrikan yaitu dapat mengganggu sumber fundamentalnya. Distorsi gelombang ini biasa disebut harmonisa, yaitu komponen gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Tingkat distorsi harmonisa memiliki standar yang harus dipatuhi yaitu standar IEEE 519-1992. Adanya harmonisa dapat menimbulkan permasalahan antara lain adalah faktor daya rendah, *overheating*, dan dapat meningkatkan rugi-rugi energi. Harmonisa juga dapat

menurunkan kualitas sistem tenaga listrik yang berdampak terhadap peralatan-peralatan lain pada instalasi.

Banyak usaha yang telah dilakukan untuk memperbaiki permasalahan harmonisa ini. Cara yang paling umum digunakan yaitu dengan dilakukannya pemasangan filter pasif. Filter pasif banyak digunakan karena biaya pembuatan yang rendah dan strukturnya yang sederhana. Namun, filter ini tidak dapat menyelesaikan permasalahan yang ditimbulkan oleh variasi acak dari bentuk gelombang pada beban karena filter ini biasanya ditala pada frekuensi tertentu.

Dalam upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut dan memperoleh efisiensi pengoperasian dan pemanfaatan sistem tenaga listrik, Pada tugas akhir ini digunakan filter aktif *shunt* lima tingkat

II. DASAR TEORI

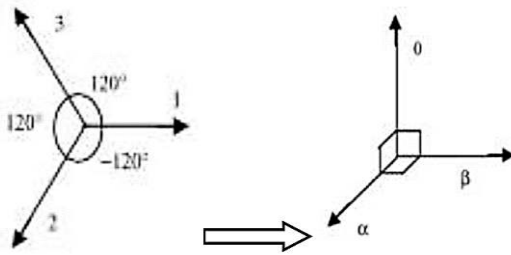
A. Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik yang sangat umum pemakaiannya pada industri. Apabila dilihat dari banyaknya sumber fasa yang digunakan, maka motor induksi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Karena perbedaan jumlah fasa yang digunakan sehingga penggunaan kedua jenis motor induksi ini pun juga berbeda. Pada beban-beban atau peralatan rumah tangga digunakan jenis motor induksi satu fasa. Jenis motor induksi tiga fasa banyak digunakan untuk menunjang proses produksi pada industri-industri besar.

Pada prinsipnya, motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari stator menuju rotor. Prinsip induksi elektromagnetik ini membuat motor induksi mempunyai sifat saturasi dan kejenuhan, yaitu suatu keadaan dimana pada titik tertentu, arus listrik yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan tegangan yang diberikan pada motor, dan bahkan cenderung tetap. Karena sifat kejenuhan tersebut motor induksi dikelompokkan kedalam jenis beban non-linear.

B. Harmonisa

Gangguan dalam distribusi tenaga listrik yang disebabkan oleh adanya distorsi gelombang arus dan tegangan sehingga



Gambar 2. Transformasi Sistem 3 Fasa Menjadi 2 Fasa

Langkah ini digunakan untuk mendapatkan nilai arus harmonik yang diinjeksikan ke power sistem melalui filter aktif sehingga arus yang diinjeksikan tersebut akan membentuk suatu hubungan yang saling meniadakan dengan arus harmonik dasarnya karena perbedaan fasa 180°. Untuk mengidentifikasi harmonisa arus digunakan *p-q theory*. Arus referensi atau harmonisa arus diidentifikasi dengan transformasi α - β untuk mendapatkan daya real dan imajiner. Tegangan sumber dan arus sumber ditransformasikan ke dalam koordinat α - β menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kemudian dicari nilai daya aktif sesaat dan daya reaktif dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{\alpha} & V_{\beta} \\ -V_{\beta} & V_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Daya sesaat ini terdiri dari bagian konstan dan bagian variabel yang berhubungan dengan sinyal fundamental dan sinyal harmonisa. Menurut teori *p-q*, daya aktif dan reaktif sesaat dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$p = \tilde{p} + \bar{p} \quad (6)$$

$$q = \tilde{q} + \bar{q} \quad (7)$$

dimana \bar{p} adalah komponen konstan daya aktif pada sinyal fundamental, \tilde{p} adalah komponen variabel daya aktif pada sinyal harmonisa, \bar{q} adalah komponen konstan daya reaktif pada sinyal fundamental, dan \tilde{q} merupakan komponen variabel daya reaktif pada sinyal harmonisa.

Setelah itu, untuk mendapatkan arus referensi harmonisa dilakukan transformasi sesuai dengan persamaan berikut:

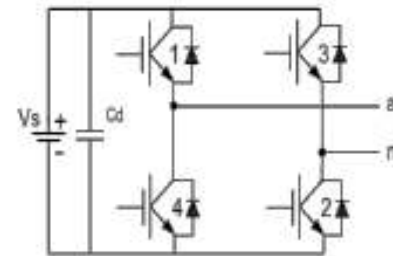
$$\begin{bmatrix} I_{h\alpha} \\ I_{h\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v^2_{s\alpha} + v^2_{s\beta}} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} & V_{s\beta} \\ -V_{s\beta} & V_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ \tilde{q} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dari persamaan 8 diperoleh arus harmonisa dalam sistem α - β . Untuk mendapatkan arus referensi harmonisa yang sesungguhnya, maka arus harmonisa dalam sistem α - β harus ditransformasikan dengan invers dari persamaan 4, dimana ditunjukkan pada persamaan 9 berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{ref a} \\ I_{ref b} \\ I_{ref c} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{h\alpha} \\ I_{h\beta} \end{bmatrix} \quad (9)$$

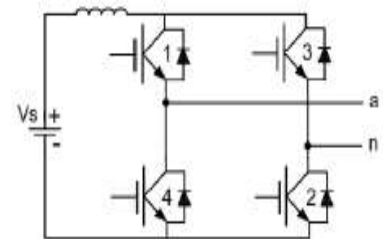
E. Inverter

Inverter adalah peralatan yang elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Ada 2 jenis inverter, yaitu inverter sumber tegangan (VSI) dan inverter sumber arus (CSI). Pada konfigurasi inverter VSI terdapat tegangan sumber V_s yang digunakan sebagai sumber dari komponen switching seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi Inverter VSI

Tipe VSI sering digunakan karena implementasinya yang mudah dan murah serta memiliki perfromansi yang cukup baik. Sementara itu, untuk inverter pada dc bus dilengkapi dengan induktor seperti yang diperlihatkan pada gambar 4 yaitu konfigurasi CSI.



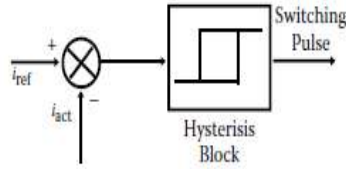
Gambar 4. Konfigurasi Inverter CSI

F. Current Controller

Controller digunakan pada rangkaian filter aktif untuk membangkitkan sinyal yang digunakan untuk menyalakan atau mematikan inverter. Dalam implementasi filter aktif, komponen ini memegang peranan yang sangat penting, dikarenakan ketika fungsi control ini tidak bekerja dengan baik maka dapat merusak perfromansi dari filter aktif menjadi tidak maksimal.

Teknik *current control* adalah sistem kontrol *closed loop* yang menggunakan sinyal *error e(t)* untuk membuat pola

penyalan pada saklar untuk mengontrol arus input sumber AC. Dimana $e(t)$ adalah selisih antara arus referensi (I_{ref}) dan arus input sumber AC (I_{act}). *Controller* digunakan untuk membangkitkan pulsa sebagai masukan dari *inverter*, yaitu dengan cara membandingkan nilai arus referensi dan arus yang terukur.

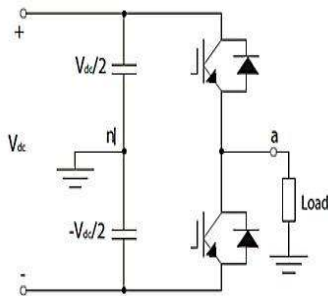


Gambar 5. Logika Control Arus

Gambar 5 menunjukkan *current controller* secara garis besar. Arus referensi akan dibandingkan dengan arus aktual, dimana terdapat 2 masukan yaitu arus aktual (kompensasi) dan arus referensi. Jika selisihnya adalah bernilai positif maka rangkaian kontrol akan memberikan sinyal untuk menaikkan arus aktual. Jika hasil selisih negatif maka rangkaian kontrol akan memberikan sinyal untuk menurunkan arus aktual.

G. Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter

Pada *inverter* jenis ini untuk memperoleh tegangan keluaran yang halus dapat dilakukan dengan menaikkan frekuensi *switching*. Namun pada aplikasi daya yang lebih, besar frekuensi *switching* tidak bisa dinaikkan disebabkan karena besar *losses* yang timbul pada *switch* itu sendiri. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan metode *multilevel inverter*.

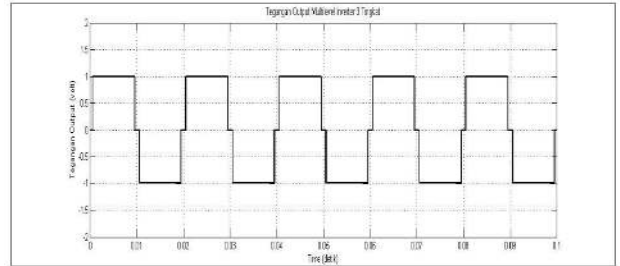


Gambar 6. Inverter Dua Level Satu Fasa

Konsep *multilevel inverter* (MLI) untuk menghasilkan sinyal AC tidak hanya bergantung pada dua tingkat tegangan. Beberapa tingkat tegangan dapat ditambahkan untuk menciptakan gelombang yang semakin halus, dengan menghasilkan distorsi harmonisa yang rendah. Semakin banyak level tegangan yang dihasilkan maka gelombang akan semakin mendekati sinusoidal. Akan tetapi dengan berbagai tingkatan tersebut desain akan menjadi lebih rumit, lebih banyak komponen dan metode kontrol lebih sulit. Gambar 7 merupakan bentuk tegangan keluaran untuk 3 tingkat.

Terdapat tiga jenis *multilevel inverter*, yaitu *cascaded H-Bridge* (CHB) dengan *Separated DC Source* (SDCS), *diode clamped*, dan *flying capacitor*. Teknik pensaklaran pada *diode clamped* dan *flying capacitor* *multilevel inverter* lebih rumit.

Diantara jenis *multilevel inverter* dengan teknik pensaklaran yang paling mudah adalah *Cascaded H-Bridge multilevel inverter*. Teknik pensaklaran yang digunakan sama seperti pada *inverter* satu fasa (*H-Bridge*). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan *Cascaded H-Bridge multilevel inverter*.

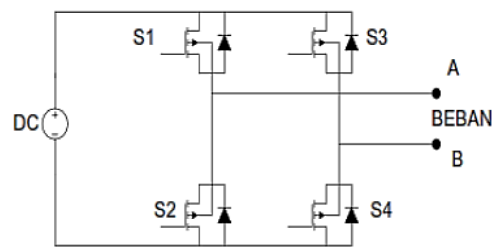


Gambar 7. Tegangan Keluaran Multilevel Inverter 3 Tingkat

Konsep *inverter* CHB adalah menghubungkan *inverter H-Bridge* secara seri untuk mendapatkan tegangan keluaran. Tegangan keluaran adalah jumlah dari tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing tingkat. Salah satu cara untuk mengimplementasikan metode *multilevel inverter* adalah menggunakan *inverter full bridge* 1 fasa yang dihubungkan seri dengan sumber tegangan terpisah. *n-level cascaded H-Bridge*.

$$n = 2H + 1 \tag{10}$$

dimana *n* adalah jumlah *level multilevel inverter*, dan *H* merupakan jumlah *inverter full bridge*.



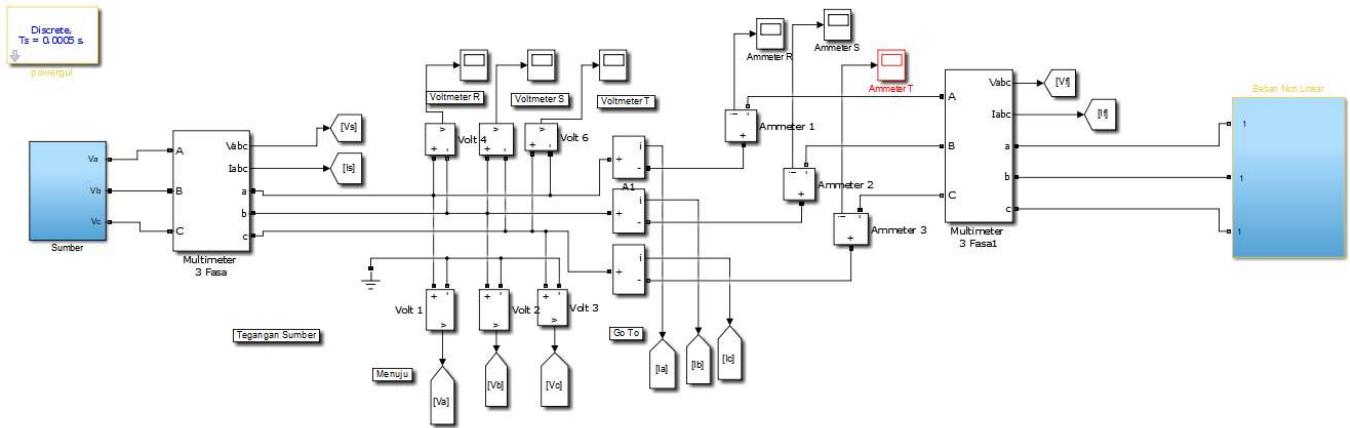
Gambar 8. Inverter Tipe H-Bridge

Salah satu keuntungan dari jenis *inverter multilevel* ini adalah mengurangi jumlah komponen dibandingkan dengan *diode-clamp* maupun *flying capacitor*. Cara kerja metode *cascaded multilevel inverter* sebagai filter aktif adalah dengan membangkitkan gelombang harmonisa sistem. Gelombang harmonisa dari sistem dijadikan sebagai referensi oleh rangkaian *inverter*. Kemudian keluaran dari *inverter* tersebut di injeksikan ke sistem sebagai arus kompensasi harmonisa.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pemodelan Sistem Tanpa Filter

Dalam pemodelan sistem tanpa filter, pengukuran tingkat distorsi harmonisa dilakukan pada tegangan sumber 400 V dengan frekuensi fundamental 50 Hz. Sistem dirancang dengan menggunakan sumber tegangan yang terhubung dengan blok beban non-linear.

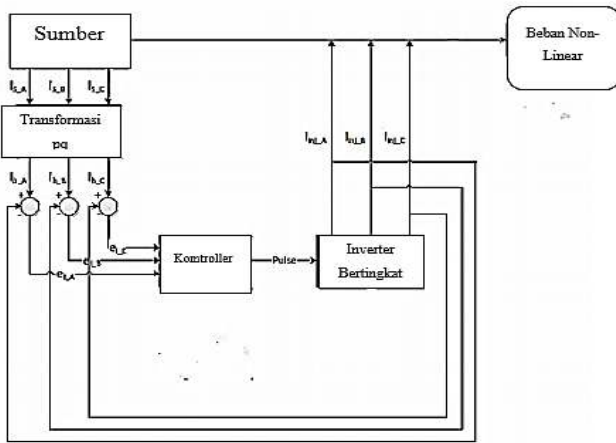


Gambar 9. Sumber Tegangan Terhubung Dengan Blok Beban non-Linear

Blok beban ini didesain sebagai sumber harmonisa yang berperan untuk menghasilkan tingkat distorsi harmonisa pada setiap fasanya. Setelah pemodelan sistem dengan terhubung beban non-linear (gambar 9) berupa motor induksi 3 fasa yang menjadi sumber distorsi harmonisa, pemodelan berikutnya adalah pemodelan sistem terpasang filter aktif *shunt* sebagai kompensator harmonisa yang berada dalam sistem.

B. Pemodelan Sistem Dengan Filter

Setelah melakukan pemodelan sistem tanpa filter dengan terhubung beban. Maka tahap selanjutnya yaitu memodelkan sistem dengan filter aktif *shunt* sebagai kompensator untuk mengurangi tingkat distorsi harmonisa pada sistem.

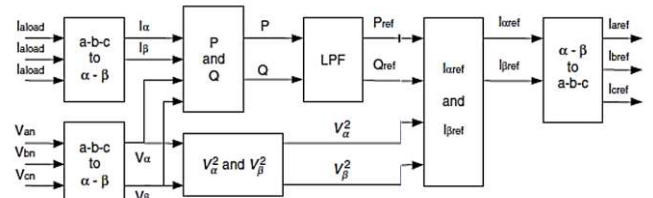


Gambar 10. Implementasi Filter Aktif *Shunt* Dalam Sistem Kelistrikan

Tahap-tahap pemodelan filter aktif *shunt* pada matlab *Simulink* adalah:

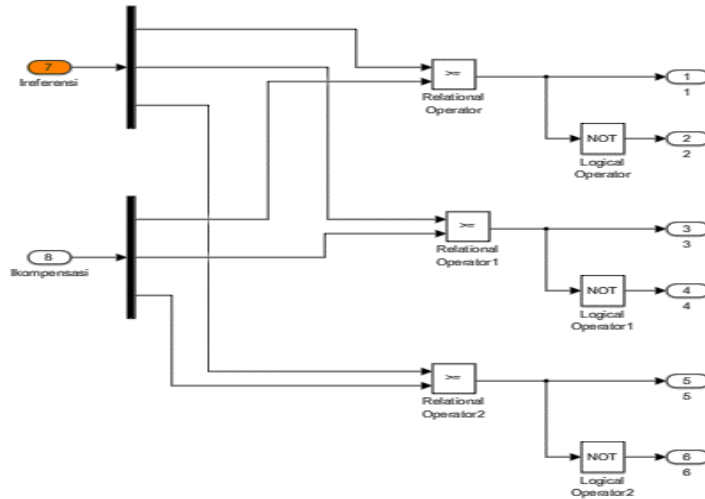
- Pemodelan filter dengan menggunakan teori daya sesaat (*p-q theory*)
- Pemodelan controller
- Pemodelan *cascaded multilevel inverter*, dengan menggunakan jenis *multilevel inverter H-Bridge*

1) *Pemodelan Filter p-q Theory*: Teori daya sesaat digunakan untuk mentransformasikan sistem 3 fasa RST menjadi sistem 2 fasa stasioner $\alpha\beta$. Vector tegangan dan arus RST ditransformasikan mejadi koordinat $\alpha\beta$ menggunakan matriks Clarke, kemudian dihitung nilai komponen daya aktif-reaktif sesaatnya. Tahap ini digunakan untuk mendapatkan nilai arus harmonis yang akan diinjeksikan ke sistem melalui filter aktif *shunt*. Arus referensi atau arus harmonisa diidentifikasi dengan transformasi $\alpha - \beta$ untuk mendapatkan nilai daya riil dan imajiner. Langkah-langkah yang digunakan untuk mendapatkan gelombang arus reference harmonisa menggunakan transformasi daya aktif-reaktif sesaat dengan menggunakan persamaan 3 sampai persamaan 9.

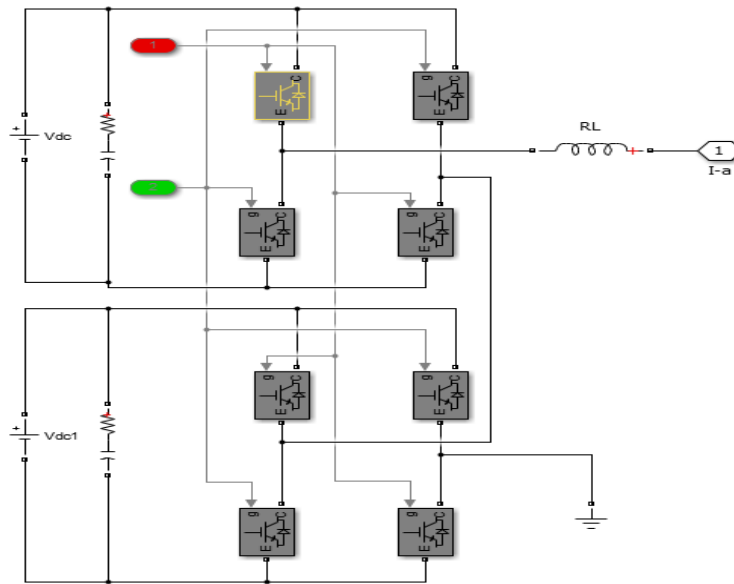


Gambar 11. Blok Diagram Daya Aktif Reaktif Sesaat (*p-q theory*)

2) *Pemodelan Controller*: Pada pemodelan kontroler digunakan *current controller* untuk menghasilkan pulsa pensaklaran pada rangkaian inverter. Keluaran rangkaian filtering merupakan gelombang arus harmonik sistem (arus referensi) yang akan dibandingkan dengan keluaran dari inverter (arus kompensasi). Hasil dari perbandingan keduanya akan dijadikan masukan kontroler untuk menghasilkan pulsa pensaklaran pada inverter. Arus referensi akan dibandingkan dengan arus kompensasi dimana jika selisihnya bernilai positif maka rangkaian control akan memberikan sinyal untuk menaikkan arus kompensasi. Jika hasil selisih negative maka rangkaian control akan memberikan sinyal untuk menurunkan arus kompensasi.



Gambar 12. Rangkaian Hysteresis Current Controller



Gambar 13. Inverter H-Bridge Lima Tingkat Pada Matlab Simulink

3) *Pemodelan Cascaded Multilevel Inverter*: Konsep filter yang digunakan bekerja dengan menginjeksikan arus harmonisa yang dapat mengurangi distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik. Menggunakan inverter *H-Bridge* lima tingkat dalam pembentukan arus kompensasi untuk meredam harmonisa. Fungsi dari *cascaded multilevel inverter* adalah menjumlahkan tegangan dari beberapa sumber tegangan dc sehingga dapat menghasilkan bentuk gelombang keluaran berupa tegangan bolak-balik yang memiliki level tegangan. Gelombang keluaran dari CHB MLI ini akan diinjeksikan ke sistem untuk meminimalisir tingkat distorsi pada sistem. Untuk menghitung jumlah tingkatan inverter dapat kita hitung dengan jumlah inverter full bridge yang digunakan, yaitu dengan menggunakan persamaan 10. Pada tugas akhir ini menggunakan 2 inverter *full bridge* sehingga jumlah tingkatan yang dihasilkan yaitu lima tingkat. Untuk mengatur tegangan

bertingkat tersebut agar mendekati bentuk gelombang sinusoidal diperlukan kombinasi penyaklaran pada *cascaded multilevel inverter H-Bridge*.

TABEL II
PENGATURAN SAKLAR UNTUK *CASCADED MULTILEVEL INVERTER*

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Vo
1	0	0	1	1	0	0	1	+V2
1	0	0	1	1	0	0	1	+V1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	-V1
0	1	1	0	0	1	1	0	-V2

Rangkaian *cascaded multilevel inverter* lima tingkat tipe H-Bridge dalam matlab Simulink ditunjukkan pada gambar 13.

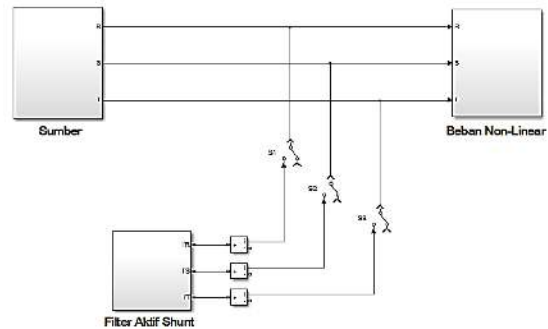
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tingkat Distorsi Harmonisa Sebelum Dipasang Filter

Hasil simulasi sebelum pemasangan filter dapat dilihat pada gambar 15 yang menunjukkan bentuk gelombang arus sumber pada masing-masing fasa R, S, dan T. Pada gambar tersebut dapat dilihat bentuk gelombang arus sumber yang dihasilkan mengalami distorsi bentuk gelombang karena adanya harmonisa pada sistem tersebut sedangkan bentuk gelombang tegangan tidak. Yang diperlihatkan pada gambar 16.

Dengan menggunakan *Power GUI FFT Analysis Tools* yang tersedia pada *Power GUI Matlab Simulink*, didapatkan nilai distorsi harmonisa arus serta bentuk spectrum dari gelombang arus sistem 3 fasa yang erdistorsi harmonisa.

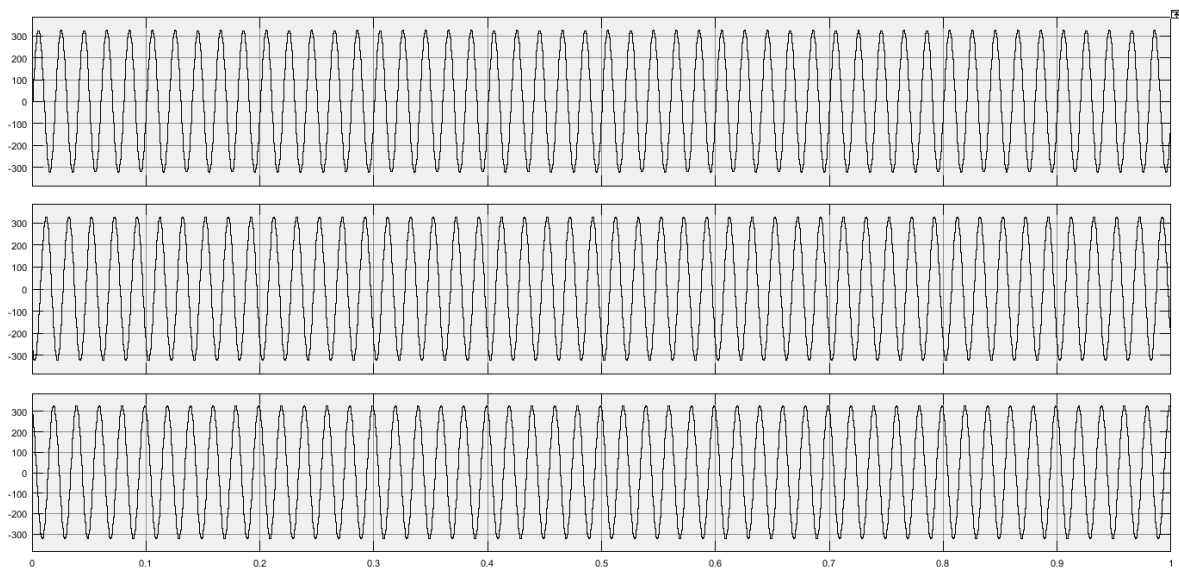
Bentuk gelombang sistem 3 fasa tersebut ditunjukkan pada gambar 17.



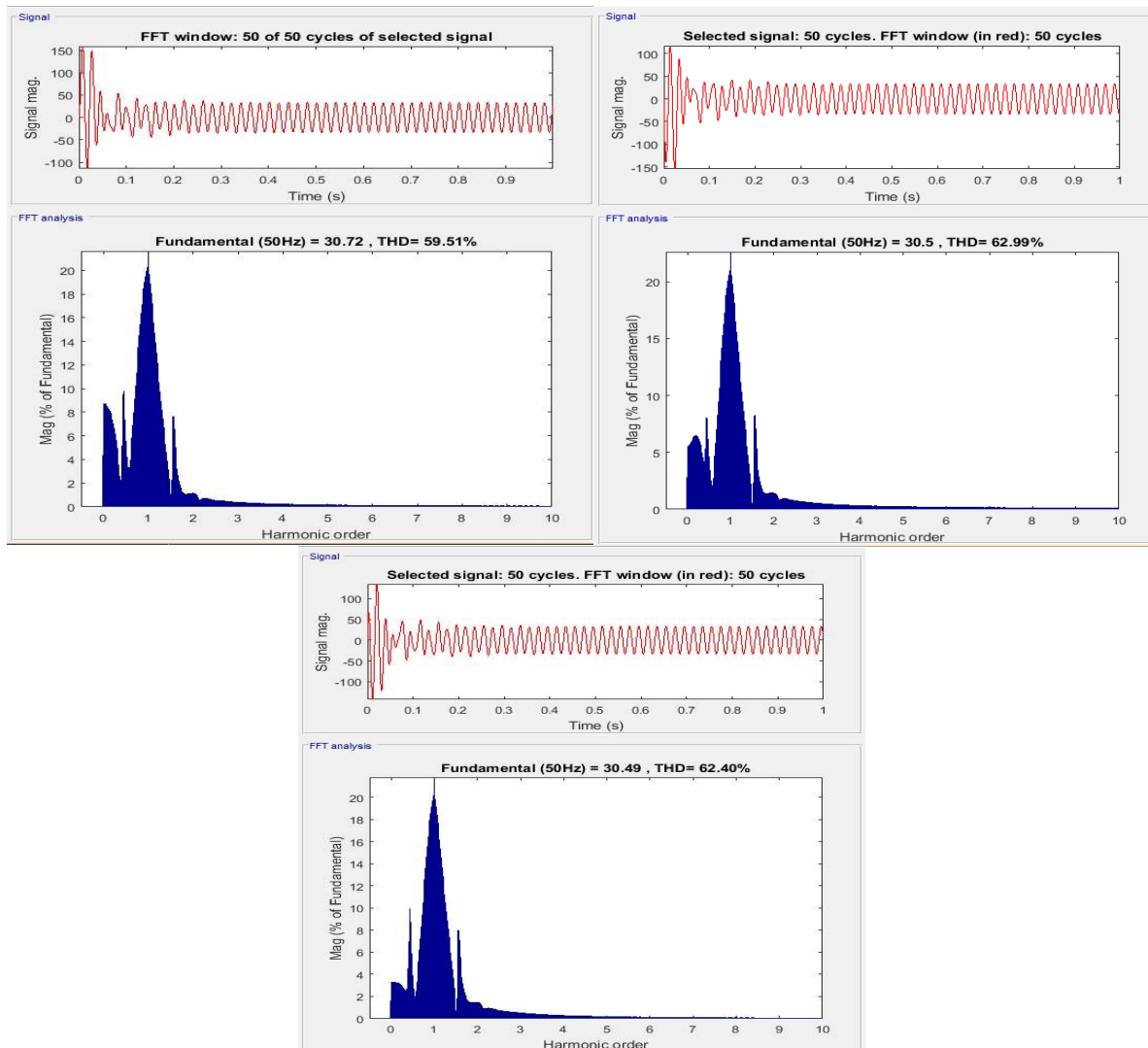
Gambar 14. Blok Diagram Sistem Tanpa Terhubung Filter Aktif Shunt



Gambar 15. Gelombang Arus Fasa R, S, dan T Tanpa Filter Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa



Gambar 16. Gelombang Tegangan Fasa R, S, dan T Tanpa Filter Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa



Gambar 17. Nilai Distorsi Harmonisa dan Spektrum Frekuensi Arus Fasa R,S, dan T

Hasil simulasi pada *Matlab Simulink* dengan menggunakan *Power GUI FFT Analysis Tools* didapat nilai THDi pada tiap fasa serta nilai distorsi harmonisa dalam sistem (gambar 17) yang ditunjukkan dengan spektrum fekuensi arus untuk tiap fasa. Nilai THDi yang terukur yaitu sebesar 59.51% pada fasa R, 62.99% pada fasa S, dan 62.40% pada fasa T. Apabila merujuk pada standar yang digunakan untuk tingkat dsitorsi harmonisa yaitu standar IEEE 519-1992 maka ketiga fasanya melebihi standar, karena nilai THDi yang diperbolehkan dalam sistem tenaga listrik adalah dibawah 7%. Apabila dilihat dari spektrum frekuensi gelombang hasil *FFT Analysis* pada sistem, didapatkan bahwa terdapat nilai distorsi harmonisa pada beberapa frekuensi tertentu yang melebihi standar yang ditunjukkan pada table 3.

Hal tersebut memperlihatkan bahwa perlu dilakukan penanggulangan untuk mengurangi nilai distorsi harmonisa agar sesuai dengan standar IEEE 512-1992. Oleh karena itu

perlu adanya penanganan untuk mengatasi tingkat distorsi harmonisa arus, dalam skripsi ini upaya yang dilakukan untuk mengurangi distorsi arus tersebut dilakukan dengan menggunakan filter aktif *shunt* yang bertujuan sebagai kompensator arus hamonisa dalam sistem tenaga listrik agar didapatkan nilai distorsi harmonisa yang sesuai dengan standar yang diijinkan.

Analisa perhitungan selanjutnya yaitu menghitung nilai distorsi harmonisa pada fasa T, berdasarkan FFT Analysis terdapat distrosi pada frekuensi 49 Hz, komponen harmonisa arus sebesar 6.14 A dengan nilai arus fundamentalnya sebesar 30.49 A, maka dengan rumus untuk mencari besar nilai distorsi pada frekuensi tertentu menggunakan persamaan 1 dan didapatkan hasilnya 20.13%. Berdasarkan analisa perhitungan mencari nilai komponen arus hamonisa pada frekuensi 49 Hz sesuai dengan hasil yang didapat dari *FFT Analysis*.

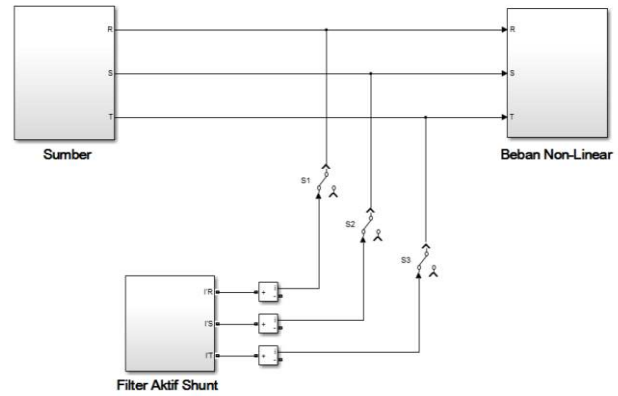
TABEL III
NILAI DISTORSI HARMONISA FASA R, S, DAN T

Fasa R	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	19.49
48	19.91
49	20.22
51	19.66
52	18.86
Fasa S	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	20.04
48	20.56
49	20.97
51	20.55
52	19.77
Fasa T	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	19.15
48	19.69
49	20.13
51	19.84
52	19.14

B. Tingkat Distorsi Harmonisa Setelah Dipasang Filter

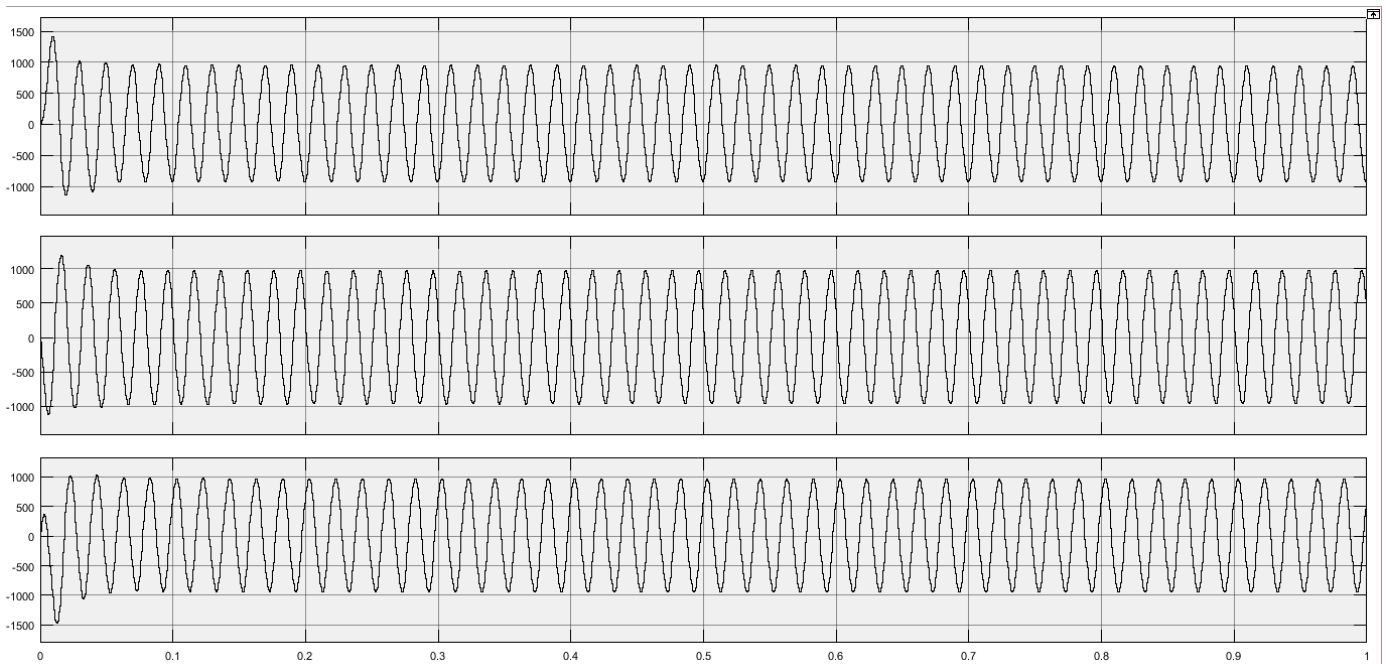
Setelah dilakukan pemodelan sistem dengan memasang filter aktif *shunt cascaded multilevel inverter* kemudian

dilakukan simulasi untuk melihat kinerja filter aktif sebagai kompensator arus harmonisa agar didapatkan nilai distorsi harmonisa yang sesuai dengan standar IEEE 519-1992.

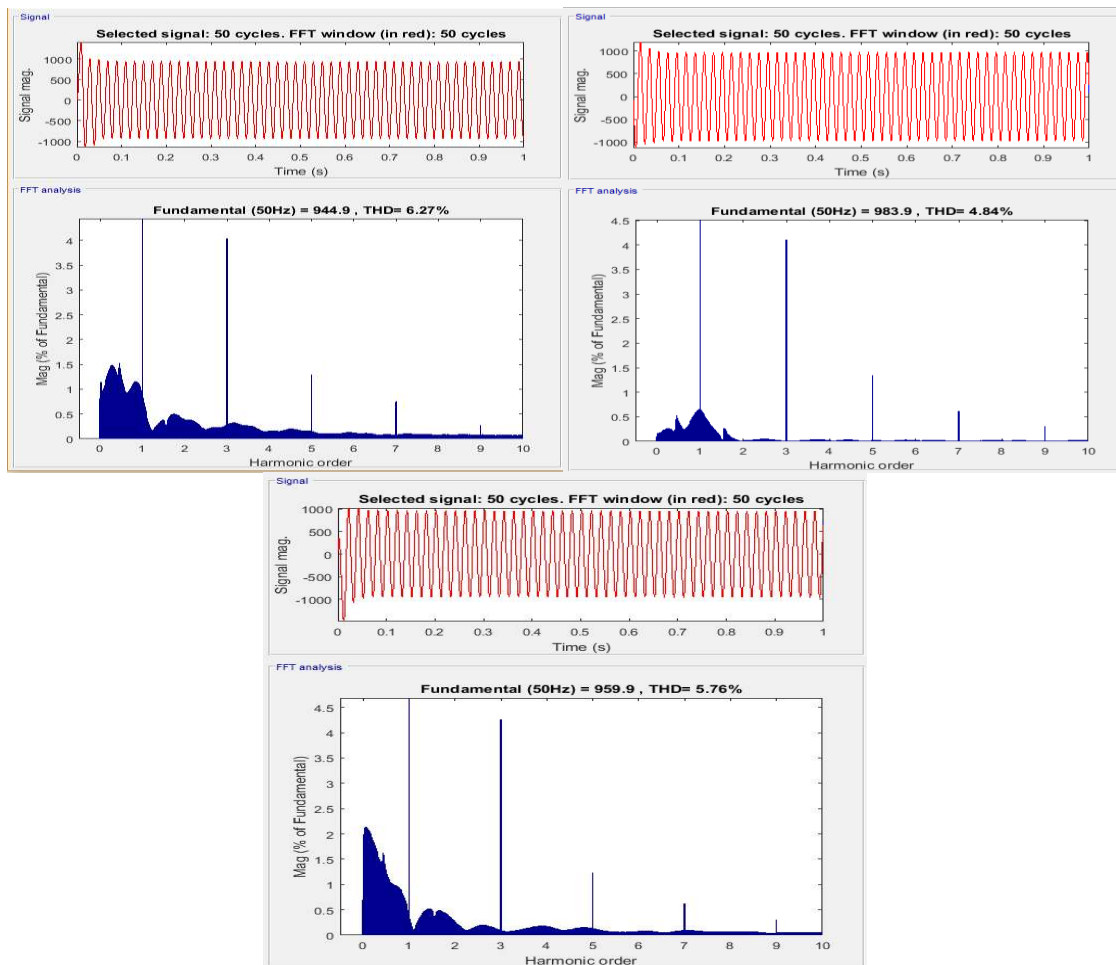


Gambar 18. Blok Diagram Sistem Dengan Terhubung Filter Aktif *Shunt*

Gambar 19 memperlihatkan bentuk gelombang arus sumber berbentuk sinusoidal setelah pemasangan filter aktif *shunt*. Selanjutnya dilakukan analisa untuk melihat besarnya nilai THDi pada fasa R, S, dan T kemudian melihat nilai distorsi harmonisa serta spektrum gelombang arus frekuensi pada gelombang arus sistem menggunakan *Power GUI FFT Analysis Tools* yang terdapat pada *Matlab Simulink*. Dari hasil *FFT Analysis* bentuk *spectrum* gelombang sistem ditunjukkan pada gambar 20.



Gambar 19. Gelombang Arus Fasa R, S, dan T Setelah Pemasangan Filter



Gambar 20. Nilai Distorsi Harmonisa dan Spektrum Frekuensi Arus Fasa R,S, dan T

TABEL IV
PERBANDINGAN THDI SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN FILTER DENGAN BEBAN MOTOR INDUKSI 3 FASA

Fasa	THD Arus	
	Sebelum Pemasangan Filter Aktif <i>Shunt</i>	Sebelum Pemasangan Filter Aktif <i>Shunt</i>
R	59.51	6.27
S	62.99	4.84
T	62.40	5.76

Nilai THDi pada tiap fasa serta nilai distorsi harmonisa dalam sistem setelah filter memiliki nilai sebesar 6.27% pada fasa R, 4.84% pada fasa S dan 5.76% pada fasa T. Ketiga fasa telah mengalami penurunan nilai THDi yang cukup signifikan dibandingkan dengan sistem sebelum dipasang filter aktif *shunt*. Apabila merujuk pada standar IEEE 519-1992, nilai THDi sistem tersebut telah memenuhi standar yang diperbolehkan yaitu dibawah 7%.

Dengan menggunakan *Power GUI FFT Analysis Tools* didapat nilai individu distorsi Harmonisa yang terdapat pada beberapa frekuensi tertentu. Pemasangan filter aktif *shunt* pada sistem dapat mengurangi nilai distorsi harmonisa tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

TABEL V
NILAI DISTORSI HARMONISA FASA R, S, DAN T

Fasa R	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	1.06
48	1.02
49	0.97
51	0.82
52	0.73
Fasa S	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	0.62
48	0.64
49	0.65
51	0.63
52	0.61
Fasa T	
Frekuensi (Hz)	Nilai Distorsi (%)
47	0.62
48	0.56
49	0.49
51	0.32
52	0.24

Dari tabel 4 ditunjukkan bahwa tingkat distorsi harmonisa pada sistem setelah pemasangan filter aktif *shunt* dapat berkurang cukup signifikan. selanjutnya analisa perhitungan untuk menghitung nilai distorsi harmonisa pada fasa T setelah pemasangan filternya. Berdasarkan *FFT Analysis* nilai komponen harmonisa arus sebesar 4.67A dan nilai arus fundamentalnya sebesar 959.9 A. maka dengan rumus untuk mencari besar nilai distorsi pada frekuensi tertentu menggunakan persamaan 1 didapatkan hasilnya 0.49%.

Berdasarkan hasil yang didapat dari *FFT Analysis*, hasil perhitungan mencari nilai komponen arus harmonisa pada frekuensi 49 Hz setelah pemasangan filter sesuai dengan analisa perhitungan.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pemasangan filter aktif *shunt cascaded multilevel inverter* lima tingkat mampu mengurangi nilai distorsi hamonisa yang terdapat pada sistem dengan beban motor induksi 3 fasa sesuai dengan tingkat distorsi yang diperbolehkan menurut standar IEEE 519-1992. Selain itu analisa perhitungan untuk mencari nilai distorsi harmonisa sesuai dengan hasil simulasi menggunakan *FFT Analysis Tools*.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan untuk skripsi simulasi filter aktif *Cascaded Multilevel Inverter* untuk meminimalisir harmonisa pada motor induksi 3 fasa.

Kesimpulan yang didapatkan yaitu nilai distorsi harmonisa arus yang dihasilkan pada sistem jaringan yang terhubung motor induksi 3 fasa yaitu sebesar 59.51% pada fasa R, 62.99% pada fasa S dan 62.40% pada fasa T. Besar distorsi harmonisa arus yang dihasilkan melebihi dari batas standar

REFERENSI

- [1] A. Kusko and M. T. Thompson, *Power Quality in Electrical System*, United States of Amerika: MC Graw Hill, 2007.
- [2] X. Zhang, "Control Strategy of Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter with PV System as Separate DC Source," 2011.
- [3] A. Montes and G.Ramos, "Instantaneous p-q Theory for Harmonic Compensation Via Shunt Active Power Filter," no. IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), 2013.
- [4] S. Khothuru and dkk, "Investigation on Shunt Active Filter with P-Q Theory," no. International Conference on Circuits, Power And Computing Technology, 2013.
- [5] H. Akagi, *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*, Canada: John Wiley & Sons, 2007.
- [6] D. N. Prabowo, M. Haddin and D. Nugroho, "Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis Matlab/Simulink," *Media Elekrika*, Vols. Vol 8, No 2, 2015.
- [7] D. W. Utama, "Simulasi Penggunaan Filter Aktif Paralel Untuk Meredam Harmonisa Studi Kasus Sistem Kelistrikan PT Kaltim Prima Coal," no. Universitas Diponegoro, 2014.

IEEE 519-1992 yang diizinkan, yaitu batas harmonisa yang diizinkan hanya sebesar 7% untuk masing-masing fasa. Sehingga dibutuhkan filter untuk meminimalisir tingkat distorsi harmonisa yang dihasilkan.

Pada saat pemasangan filter aktif *cascaded multilevel inverter* pada sistem jaringan yang terhubung dengan motor induksi 3 fasa tingkat distorsi harmonisa arus turun menjadi 6.27% pada fasa R 4.84% pada fasa S dan 5.76% pada fasa T. Nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan setelah pemasangan filter telah sesuai dengan standar yang diizinkan yaitu dibawah 7%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah S.W.T yang selalu melimpahkan kasih sayang-Nya kepada penulis sehingga Karya Ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih yang terdalem penulis sampaikan kepada kedua orang tua (Ayahanda alm. T. Mawardi Budiman dan Ibunda Cut Alfi Mardhiah) serta keluarga besar yang telah memberikan dukungan dalam segala hal selama ini. Untuk Bapak Dr. Rakhmad Syafutra Lubis, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Mansur Gapy, M.T. selaku pembimbing penulis yang telah begitu banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan Karya Ilmiah ini. Untuk Bapak Syukriyadin, S.T., M.T., selaku ketua sidang, Bapak Mahdi Syukri, S.T., M.T. selaku Pembahas I dan Ibu Dr. Ira Devi Sara, S.T., M.Eng.Sc. selaku Pembahas II. Bapak Dr. Nasaruddin, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Komputer dan Bapak Dr. Ir. Taufiq S, M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.