

Peredaman Resonansi Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Industri Menggunakan Filter *Hybrid* Dengan Konduktansi Variable

Adi Sjaferial, Ontoseno Penangsang, dan Dedet Candra Riawan
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: ontosenop@ee.its.ac.id, dedet.riawan@ee.its.ac.id

Abstrak— Harmonisa dalam suatu sistem kelistrikan industri dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Adanya harmonisa pada sistem tenaga listrik salah satunya disebabkan oleh peralatan elektronik semi konduktor yang mempunyai impedansi tidak linier. Pada penelitian ini dilakukan peredaman resonansi harmonisa pada sistem kelistrikan industri menggunakan filter *hybrid* dengan konduktansi *variable*. Pada penelitian disimulasikan filter *hybrid* yang terdiri dari pasif filter dan aktif filter yang dirangkai seri. Filter aktif berfungsi untuk mengisolasi aliran harmonisa dari beban menuju sumber, sedangkan filter pasif berfungsi untuk mengeliminasi harmonisa pada orde rendah. Saat *hybrid* filter unit di aktikan pada sistem kelistrikan industri maka presentasi nilai THD tetap terjaga < 5%. Saat beban atau THD *command* berubah, maka Filter *hybrid* membutuhkan nilai konduktansi *gain variable* yang sesuai dengan perubahan beban [2].

Kata Kunci— Aktif Filter, Beban Berubah, Filter *hybrid*, Harmonisa.

I. PENDAHULUAN

KUALITAS daya merupakan hal penting untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Permasalahan kualitas daya listrik bagi suatu industri merupakan permasalahan yang sangat rumit dan melibatkan berbagai peralatan listrik yang berbeda pada system kelistrikan. Pada saat yang bersamaan, beban yang terdapat pada sebuah industri tergantung pada proses elektronik dan kontrol. Beban seperti itu sangat peka terhadap perubahan kualitas daya listrik [1].

Beban tidak linier merupakan penyebab utama kemunculan harmonisa. Beban yang tidak linier adalah peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive*, *rectifier* dan *inverter*. Peralatan elektronika daya tersebut menggunakan dioda atau thyristor untuk mewujudkan konversi daya karena biaya komponen yang lebih rendah. Namun, peralatan tersebut akan memberikan kontribusi arus harmonik yang besar karena dalam sistem tenaga, dan distorsi harmonik yang dihasilkan dapat menimbulkan kerusakan peralatan yang sensitif atau mengganggu sistem komunikasi di sekitar sumber harmonik [2].

Jenis filter yang digunakan adalah filter pasif, karena harganya yang relatif efisien dan murah. Akan tetapi sebuah link filter pasif hanya dapat memfilter satu frekuensi harmonisa, sehingga dibutuhkan sejumlah n link filter pasif untuk meminimalis sejumlah n harmonisa. Alternatif lain untuk mereduksi harmonisa adalah penggunaan filter aktif (berupa

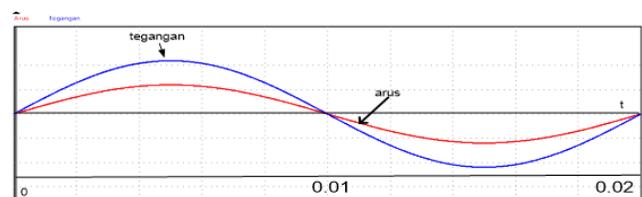
Inverter) yang dapat terhubung paralel. Konfigurasi seri dari filter aktif tidak efisien jika digunakan pada suatu aplikasi yang memerlukan arus yang besar, sedangkan penggunaan konfigurasi paralel firter aktif “yang benar-benar murni” membutuhkan biaya yang mahal untuk konstruksi dan pengoperasiannya. Hasil regenerasi dari filter aktif adalah berupa filter aktif model *hybrid*. Filter tersebut merupakan gabungan dari filter aktif dan filter pasif. Pada penelitian ini difokuskan pada pemodelan filter aktif dan filter pasif untuk peredaman resonansi harmonisa atau eliminasi harmonik dengan konduktansi variabel.

II. HARMONISA DI POWER SISTEM

A. Beban

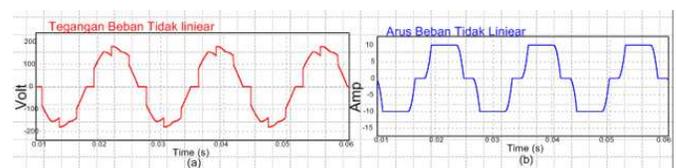
Beban dalam kelistrikan adalah sebuah komponen elektrik atau bagian dari suatu rangkaian yang mengkonsumsi daya listrik. Dalam kehidupan sehari-hari, peralatan elektronik di sekitar kita adalah contoh beban.

Beban linier adalah beban yang memiliki impedansi selalu tetap sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu.



Gambar 1. Contoh bentuk gelombang dan arus beban linier

Beban tidak linear adalah sebuah beban yang resistansinya berubah-ubah dalam setiap periodenya. Bentuk gelombang arus yang dihasilkan oleh beban tidak linier berbeda-beda yang di bandingkan dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat atau harmonisa.



Gambar 2. Contoh bentuk gelombang dan arus beban tidak linier

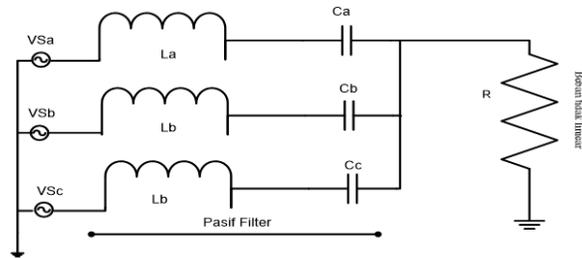
B. Standart Harmonisa (IEEE)

Untuk Standar harmonisa tegangan di tentukan oleh tegangan system yang digunakan. Standart distorsi harmonisa tegangan dan arus berdasarkan standart IEEE 519-1992 [6].

C. Filter

Filter adalah suatu rangkaian yang fungsinya digunakan untuk membuang tegangan yang tidak dibutuhkan atau harmonisa. Dengan demikian filter dapat dikelompokkan menjadi filter pasif dan filter aktif

Filter pasif juga bisa didesain dengan inductor dan kapasitor yang di seri di juga sangat efektif dalam mereduksi harmonisa pada sistem jaringan industri yang masukan tengangan sinus murni Karena adanya beban tidak linier maka gelombang tidak menjadi sinus murni tetapi ada cacat (riak) gelombang. Fungsi pasif filter ini Mereduksi cacat gelombang tadi sehingga mendekati sinus murni bentuk gelombang tegangan



Gambar 3. Topologi Pasif Filter Inductor (L) dan Capacitor (C) di rangkai seri

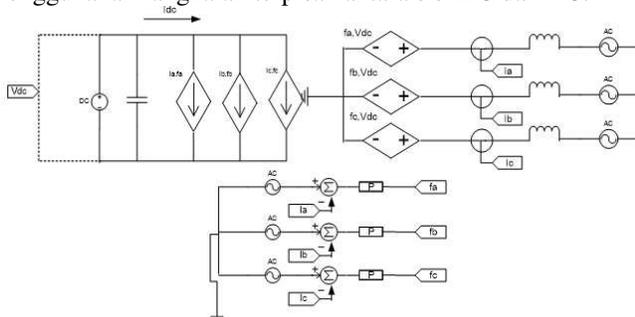
Filter Aktif bekerja dengan cara memberikan arus pada grid dengan nilai harmonisa yang sama . Nilai harmonisa diperoleh dari arus beban yang di-*input* -kan ke rangkaian pembentuk arus referensi.

Hybrid filter adalah sistem penggabungan filter pasif dan aktif, yang tujuannya lebih mengefektifkan sebuah sitem dalam hal ini untuk meredam harmonisa sebaik mungkin.

D. APF (Hybrid Actif Filter Unit) Beban VSI

Inverter adalah salah satu rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk merubah gelombang masukan berupa tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).

Current Controlled berfungsi untuk mengontrol arus keluaran voltage source inverter (VSI) agar sesuai dengan yang diinginkan. Agar arus keluaran voltage source inverter dapat diatur sesuai dengan tegangan dan frekuensi sistem maka dilakukan teknik penskalaran yang dalam penelitian ini dimodelkan dalam average model. Average model menggunakan rangkaian terpisah antara sisi DC dan AC.



Gambar 4. Diagram Blok control *current controlled voltage source inverter* menggunakan *average model*

persamaan tegangan dan arus pada *Average Model Switching* sebagai berikut:

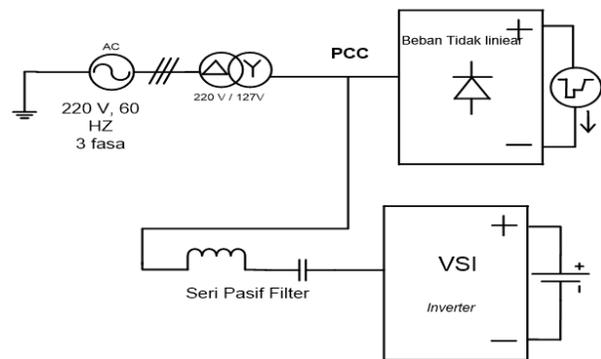
$$\begin{bmatrix} f_{ab} \\ f_{bc} \\ f_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_m \cos(\omega t) \\ f_m \cos(\omega t - 120^\circ) \\ f_m \cos(\omega t + 120^\circ) \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{ab} \\ f_{bc} \\ f_{ca} \end{bmatrix} \times V_{dc} \tag{2}$$

$$I_{dc} = [f_{ab} \ f_{bc} \ f_{ca}] \times \begin{bmatrix} I_{ab} \\ I_{bc} \\ I_{ca} \end{bmatrix} \tag{3}$$

III. REDUKSI HARMONIK MENGGUNAKAN VAR KONTROL *HYBRID* AKTIF POWER FILTER UNIT (APF)

A. Diagram Blok Sistem

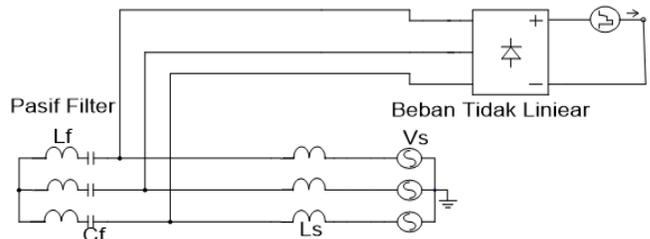


Gambar 5. *Single Line Diagram*

Dalam system yang penulis buat mengacu pada rangkaian paper [2], memakai sumber 3 phase 220 volt yang menjadi supply beban tidak *linear* dan rangkian pasif filter dan APF di rangkai secara seri, di dalam *Hybrid* active power filter unit atau yang di singkat APF didalamnya adalah rangkian average model

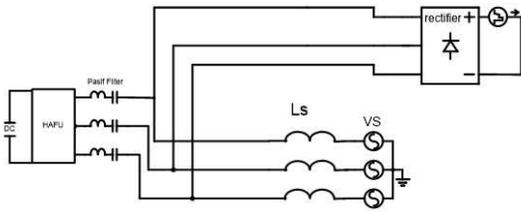
B. Desain Filter

Topologi *Hybrid* filter terdiri dari filter aktif dan filter pasif dalam konfigurasi yang berbeda. *hybrid* filter aktif efektif mengatasi dan mengurangi masalah baik pasif filter dan solusi filter aktif dan memberikan pendekatan praktis kompensasi harmonisa, khususnya bagi daya beban tidak linear[3]. Dimana system seri aktif filter memiliki nilai yang kecil biasanya di angka 5%. *Ls* adalah Induktansi sumber berasal dari induktansi bocor dari trafo ditambah dengan Induktansi saluran [2].



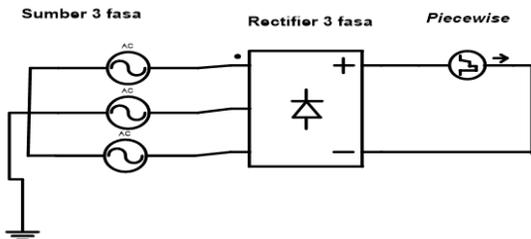
Gambar 6. Desain Pasif Filter

Setelah mendesain pasif filter penulis akan menserikan dengan aktif filter, dan untuk desain APF sebagai berikut:



Gambar 7. Desain APF

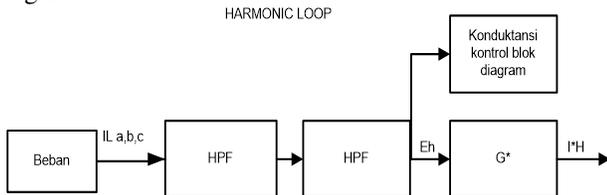
Dalam hal ini penulis mensimulasikan beban dengan mengatur besar arus yang mengalir pada rangkaian, hal ini dilakukan dengan menggunakan *piecewise* berfungsi mengatur besar arus pada waktu tertentu dari rangkaian penyearah sehingga bisa memodelkan beban yang dapat menarik arus sesuai yang dimodelkan penulis dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 8. Pemodelan Beban Dengan Menggunakan Piecewise

C. Desain harmonic loop

Dalam membuat tegangan harmonik dengan cara mengambil arus di beban yang di filter band pass *cascade*, fungsi dari cascade sendiri memperhalus hasil Karena hasil filter yang masih sisa menjadi jauh lebih baik. Hasil dari band pass ini menjadi tegangan harmonik (eah, ebh, ech) dengan gambar sebagai berikut:



Gambar 9. Proses menghasilkan tegangan harmonic

Untuk mengurangi resonansi harmonisa, *Hybrid Active Filter Unit (APF)* digunakan sebagai konduktansi variabel pada frekuensi harmonisa sebagai berikut [2]

$$i_h^* = G^* \times e_h \tag{4}$$

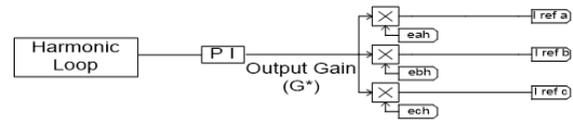
i_h^* = Pengaturan arus harmonisa

G^* = Variable untuk menyediakan redaman pada semua frekuensi-frekuensi harmonisa.

e_h = Nilai yang didapatkan dari transformasi SRF [3]

D. Desain fundamental loop

Karena filter pasif bersifat kapasitif pada frekuensi fundamental, filter pasif mengambil arus leading fundamental dari jaringan

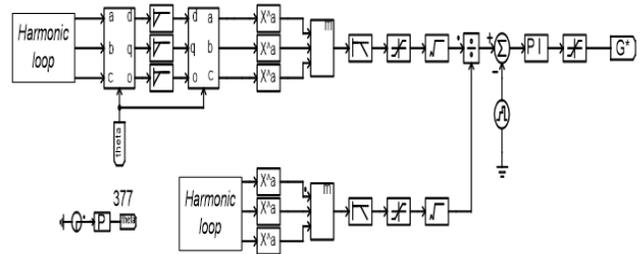


Gambar 10. Proses Menghasilkan Tegangan Fundamental

Fundamental loop penulis desain langsung mengambil dari harmonic loop, Yang di bandingkan dengan keluaran gelombang *gain* yang nanti outputnya Arus refrensi diolah untuk menjadi masukan konduktansi control VSI.

E. Desain konduktansi kontrol blok diagram

Blok diagram pada gambar berikut menunjukkan tujuan dari pengaturan konduktansi. Pengaturan konduktansi harmonisa (G^*) ditentukan berdasarkan tegangan THD pada titik pemasangan APF. Tegangan THD dihitung dengan perkiraan pengaturan yang ditunjukkan pada gambar Blok diagram kontrol konduktansi. Disini, Low Pass Filter (LPF) dengan frekuensi cutoff 10 Hz digunakan untuk menyaring komponen-komponen ripple [4][5].



Gambar 11. Blok Diagram Konduktansi Kontrol

Telah diketahui blok diagram di atas menunjukkan kesalahan antara THD* yang diperbolehkan dan THD yang dihitung kemudian dimasukkan ke pengontrol PI untuk mendapatkan perintah konduktansi harmonisa G^* .

IV. SIMULASI DAN ANALISIS

Hasil simulasi dan analisis melihat hasil harmonisa setelah di filter pasif, melihat hasil harmonisa telah system di inject APF dan melihat apakah konduktansi variable mengikuti perubahan yang ada baik berubah beban ataupun perubahan *gain* refrensi yang terhubung pada jaringan listrik tiga fasa Berikut adalah simulasi pengujian yang dilakukan:

A. Parameter simulasi

Tabel 1. Parameter simulasi

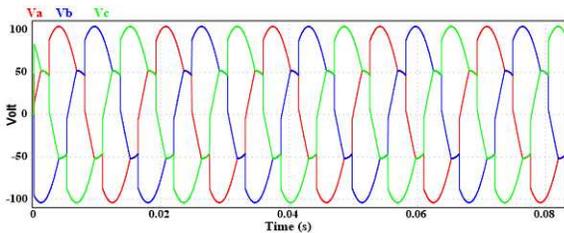
Parameter	Value
Power system	220V (L-L)60 hz
Beban Tidak Linear	NL1=1,76KW, NL2=1,45KW, NL3=1,06 KW
Filter Pasif	Lf= 1.0 mH, C= 150µF
Kontrol	Kp=1 A/V, Ki= 100 A/(V.s),
Tegangan DC	V*dc=50V
Kontrol Tuning	fHp=100hz, fLp=10hz

Tabel 2.
Parameter value

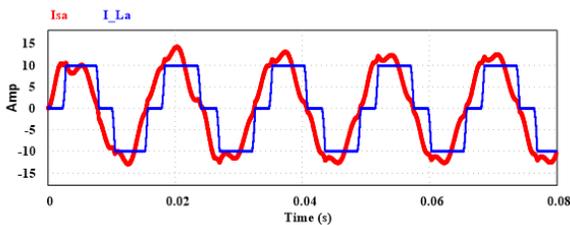
Voltage	220 V
Impedansi Sumber	2.6 mH

B. Simulasi menggunakan filter pasif

Simulasi Menggunakan Filter Pasif dengan menggunakan Beban Konstan



Gambar 12. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter



Gambar 13. Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan di Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter

Tabel 3.
Individual Harmonic Distortion (IHD) beban d konstan kondisi Pasif Filter

Orde	Frekuensi (Hz)	Magnitude (%)	Perhitungan
5	300	8.6	$\frac{1.08}{1.252 \times 10^1} \times 100 \%$
7	420	0.27	$\frac{3.49 \times 10^{-2}}{1.252 \times 10^1} \times 100 \%$
11	660	1.3	$\frac{1.63 \times 10^{-1}}{1.252 \times 10^1} \times 100 \%$
13	780	0.0012	$\frac{1.55 \times 10^{-4}}{1.252 \times 10^1} \times 100 \%$
17	1020	0.85	$\frac{1.076 \times 10^{-1}}{1.252 \times 10^1} \times 100 \%$

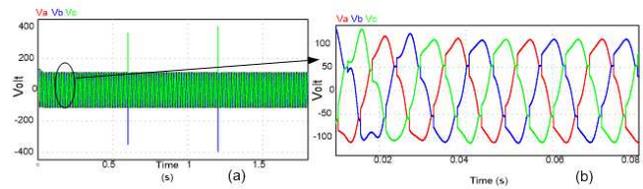
$$V_0 = \sqrt{v_1^2 + v_5^2 + v_7^2 + v_{11}^2 + v_{13}^2 + v_{17}^2}$$

$$V_0 = 111.0212\%$$

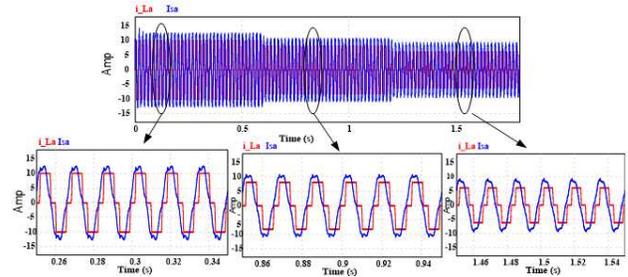
$$THD = \sqrt{\frac{V_0^2 - V_1^2}{V_1^2}} = \sqrt{\frac{111.0212^2 - 100^2}{111.0212}} = 4.57\%$$

Saat pasif filter unit di aktifkan dengan beban konstan maka THD 4.57%.

Simulasi Menggunakan Filter Pasif dengan menggunakan Beban berubah-ubah.



Gambar 14. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Yang Berubah dan Menggunakan Pasif Filter

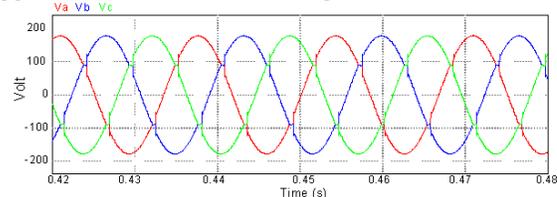


Gambar 15. Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan di Sumber, Dengan Beban Berubah Dan Menggunakan Pasif Filter

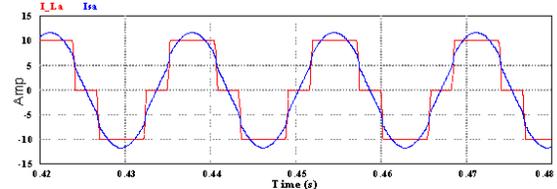
Saat pasif filter unit di aktifkan dengan beban konstan maka THD I 23.42% dan THD V 15.87%.

C. Simulasi dengan Hybrid Active filter (filter pasif dan filter aktif)

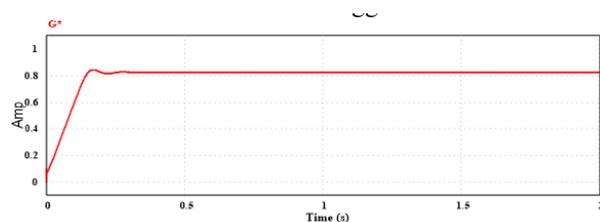
Simulasi Menggunakan Filter Hybrid Active filter dengan menggunakan Beban Konstan Dengan THD command konstan



Gambar 16. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD Command Konstan Menggunakan HAFU



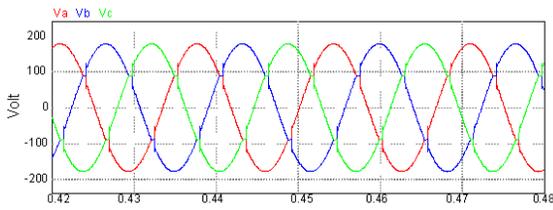
Gambar 17. Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD Command Konstan Menggunakan HAFU



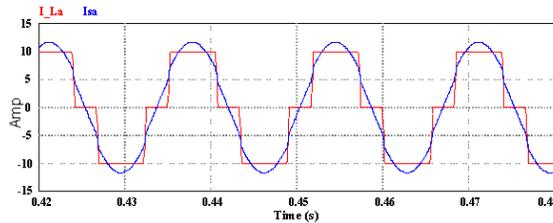
Gambar 18. Bentuk Gelombang Keluaran Gain, Dengan Beban Konstan dan THD Command Konstan Menggunakan HAFU

Saat Hybrid Active Filter Unit (HAFU) diaktifkan maka THD I 6.07% dan THD V 5.82% dengan beban dan THD command konstan.

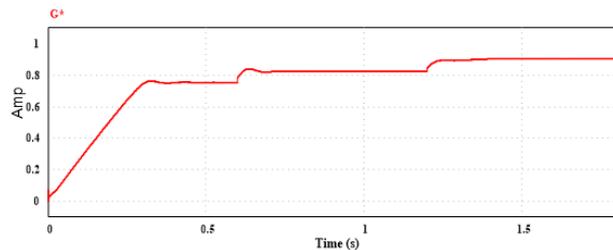
Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active filter* dengan menggunakan Beban Konstan Dengan THD *command* berubah-ubah



Gambar 19. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan HAFU



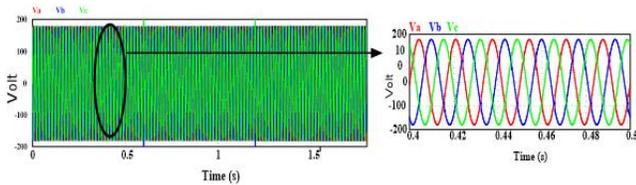
Gambar 20. Bentuk perbandingan gelombang arus di beban dan di sumber, dengan beban konstan dan *command* THD berubah menggunakan *hybrid filter*



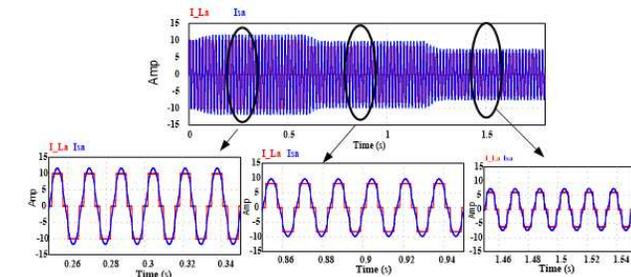
Gambar 21. Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan HAFU

Saat *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)* diaktifkan maka THD I 8.60% dn THD V 7.39% dengan beban konstan dan THD *command* berubah.

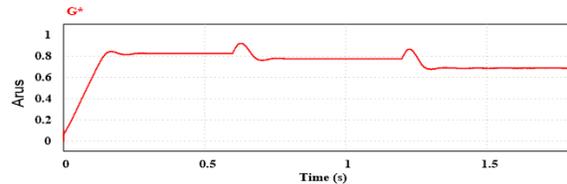
Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active filter* dengan menggunakan Beban berubah-ubah Dengan THD *command* konstan



Gambar 22. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Berubah dan *Command* THD Konstan Menggunakan HAFU



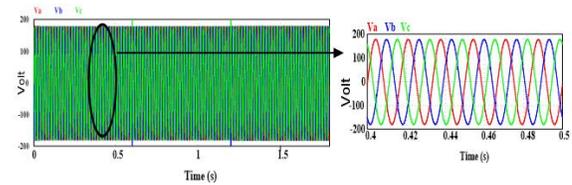
Gambar 23. Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Konstan Menggunakan HAFU



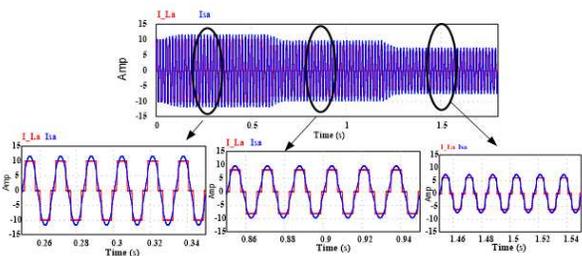
Gambar 24. Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Konstan Menggunakan HAFU

Saat *Hybrid Active Filter Unit (APF)* diaktifkan maka THD I 6.07 % dan THD V 5.80 % dengan beban berubah dan THD *command* konstan.

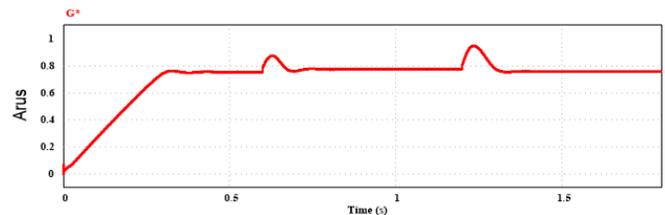
Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active filter* dengan menggunakan Beban berubah-ubah Dengan THD *command* berubah-ubah



Gambar 25. Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Beban Yang Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan HAFU

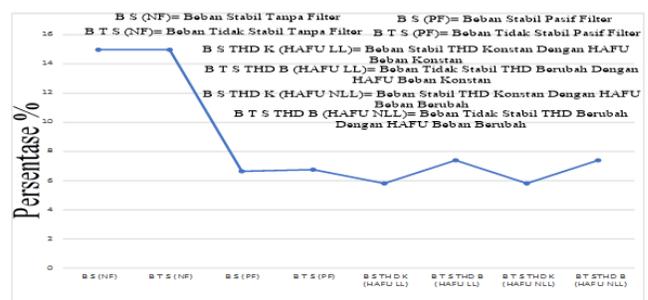


Gambar 26. Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber Dengan Sumber Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *Hybrid Filter*

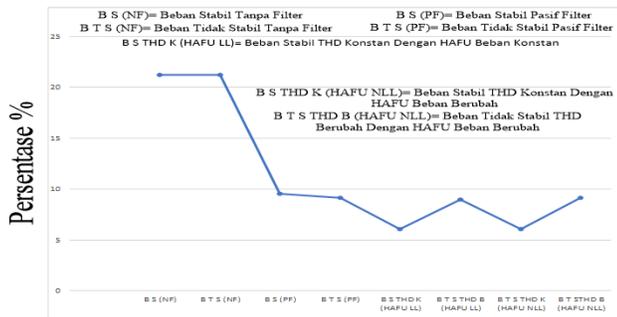


Gambar 27. Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Sumber Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan HAFU

Saat *Hybrid Active Filter Unit (APF)* diaktifkan maka THD I 9.16% dan THD V 7.41% dengan beban berubah dan THD *command* berubah.



Gambar 28. Grafik THD Arus



Gambar 28. Grafik THD Tegangan

V. KESIMPULAN

Dari simulasi dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Sinyal referensi harmonik yang diperoleh dari pembangkit sinyal referensi di beban yang di olah dalam aktif power filter menjadi masukan CC-VSI.
2. *Active Power Filter* dapat menurunkan THD arus Tanpa menggunakan filter 21.7%, saat pasif filter 8.89% saat *HAFU* aktif di 4.76%.
3. Saat beban berubah ataupun THD *command* berubah, maka konduktansi *gain*nya pun ikut terus bergerak mengikuti perubahan menunjukan sistem konduktansi.
4. Fungsi dari *HAFU* sendiri adalah meredam harmonisa, dalam aplikasi nyatanya *HAFU* dapat memperkecil ukuran pasif filter sehingga dapat memperringan biaya pembuatan filter yang mahal apabila hanya menggunakan pasif filter.
5. CC-VSI Dapat mengatur tegangan sehingga kelemahan dari seri pasif filter dapat dihilangkan.

VI. SARAN

1. Pemodelan Peredaman Resonansi harmonisa pada sistem kelistrikan industry menggunakan filter *hybrid* dengan konduktansi variable pada Penelitian ini mampu memperbaiki arus di sumber menjadi halus mendekati sinus, meskipun tidak sehalus sinusoidal murni. Diperlukan rangkian tambah pengontrol DC pada sisi CC-VSI yang memiliki keandalan tinggi dalam memperbaiki sehingga arus menjadi sinus murni.
2. *Gain* memiliki batasan maksimal di angka 0.9 dan angka dasarnya 0.592 apabila melebihi range tersebut mengalami saturasi *gain* menunjukan adanya keterbatasan sistem desain pada *hybrid* konduktansi variabel yang saya desain, dengan tujuan untuk masukan dan menyeimbangkan sisi arus dan sisi tegangan output menjadi 220V (L-L)
3. Untuk memperbaiki Tegangan menjadi Sinus murni Peredaman awal dilakukan pada induktansi bocor pada trafo dan induktansi saluran karena itu akan sangat membantu memperbaiki tegangan yang cacat

DAFTAR PUSTAKA

[1] ChapterII (2010) tersedia :repository.usu.ac.id / bitstream / 123456789 / 38249 / 4 / Chapter%20II.pdf.

[2] Tzung-Lin Lee.,Yen-Ching Wang., Jian-Cheng Li., Josep M. Guerrero.,"Hybrid Active Filter With Variable Conductance for Harmonic Resonance Suppression in Industrial power System", IEEE Transaction on industrial electronic, vol 62, no 2, february. 2015.

[3] International Power & Energy Conference Johor Bahru, MALAYSIA,30 November 2008.

[4] P. Jintakosonwit, H. Akagi, H. Fujita, and S. Ogasawara, "Implementation and performance of automatic gain adjustment in a shunt active filter for harmonic damping throughout a power distribution system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 17, no. 3, pp. 438–447, Mar. 2002

[5] P. Jintakosonwit, H. Fujita, H. Akagi, and S. Ogasawara, "Implementation and performance of cooperative control of shunt active filters for harmonic damping throughout a power distribution system," *IEEE Trans. Ind. Appl.*,vol. 39, no. 2, pp. 556–564, Mar./Apr. 2003.

[6] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE Std. 519-1992, 1993.