

ELIMINASI HARMONISA PADA *INDUCTION FURNACE* MENGUNAKAN FILTER *HYBRID*

Hadi Setiawan¹⁾, Belly Yan Dewantara²⁾, Istiyo Winarno³⁾

^{1,2,3)} Fakultas Teknik Dan Ilmu Kelautan – Universitas Hang Tuah Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim No.150 Kec. Sukolilo, Surabaya, 60111, Jawa Timur, Indonesia
E-mail: ¹⁾hadisetiawan1213@gmail.com, ²⁾istiyo.winarno@hangtuah.ac.id, ³⁾
bellyyandewantara@hangtuah.ac.id

ABSTRAK

Induction Furnace merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri logam atau baja, peralatan tersebut biasanya digunakan untuk mengolah mineral logam atau non logam pada proses reduksi maupun peleburan. *Induction furnace* memiliki nilai frekwensi dalam sebuah tungku induksi nilainya bisa mencapai 2000Hz, dan tegangan DC dapat diatur mencapai 800VDC. Dengan menggunakan filter dapat mengurangi harmonisa sekecil mungkin hingga bentuk gelombangnya semakin mendekati sinusoidal. Penelitian untuk menganalisa langkah-langkah pemasangan *filter hybrid* untuk meredam distorsi harmonisa. Hasil analisa dari simulasi *filter hybrid* dapat mengurangi nilai total *harmonic distortion* dengan nilai THD menurut IEEE 152-1992 sebesar 0.36%.

Kata kunci: Filter Hybrid, Filter Pasif, *Induction Furnace*, Total Harmonic Distortion (THD)

ABSTRACT

Induction Furnace is equipment that is widely used in the metal or steel industry, this equipment is usually used to process metallic or non-metallic minerals in the reduction or smelting process. *Induction furnaces* have a frequency value in an induction furnace that can reach 2000Hz, and the DC voltage can be adjusted to reach 800VDC. By using a filter you can reduce harmonics as small as possible until the waveform is closer to sinusoidal. Research to analyze the steps for installing a hybrid filter to reduce harmonic distortion. The analysis results from the hybrid filter simulation can reduce the total harmonic distortion value with the THD value according to IEEE 152-1992.

Keywords: Hybrid Filter, Passive Filter, *Induction Furnace*, Total Harmonic Distortion (THD)

1. PENDAHULUAN

Induction furnace merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri logam atau baja, *induction furnace* adalah sebuah tanur listrik yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik leburnya. Panas yang digunakan pada tanur induksi berasal dari pemanasan induksi medium konduktif (biasanya logam). *Induction furnace* bekerja pada frekuensi operasi berkisar antara frekuensi utilitas (50 atau 60 Hz) hingga 400 kHz atau lebih tinggi, biasanya tergantung pada ukuran dan material yang akan dilebur, kapasitas (volume) dari tanur, dan kecepatan mencair leburan yang diperlukan

untuk melebur. Untuk meningkatkan efisiensi sistem dan untuk menghemat waktu produksi dalam otomasi industri digunakan otomatisasi terdiri dari sejumlah besar beban non-linier[1].

Pada sistem tenaga listrik yang ideal energi yang disalurkan dalam tegangan yang konstan dan frekuensi konstan dengan bentuk gelombang sinusoidal. Pada sistem kelistrikan banyaknya penggunaan beban non-linier dapat menimbulkan perubahan bentuk gelombang asli yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal dengan gelombang lain sehingga dapat menyebabkan harmonisa. Pada saat ini sebagian besar pemakaian beban listrik di masyarakat terutama di Indonesia hampir 90%

memakai beban non-linier. Beban non-linear inilah yang banyak menimbulkan permasalahan pada sistem kualitas daya mengingat banyak sekali beban yang berbasis elektronika daya yang dapat merusak barang elektronik dan menurunkan kualitas daya pada sistem kelistrikan[2].

Non-linier ini beban menarik arus non-sinusoidal maka beban ini menghasilkan harmonik, arus harmonik mengalir dari beban ke sumber maka arus terdistorsi melewati semua impedansi antara beban ke sumber. Arus harmonik ini lewat melalui impedansi sistem menyebabkan penurunan tegangan untuk masing-masing frekuensi dan tegangan harmonik terdistorsi *induction furnace* menghasilkan masalah kualitas daya karena konverter daya AC-DC-AC bergantung pada jumlah pulsa penyearah[3].

Fenomena modulasi silang dalam tautan AC-DC-AC dari instalasi IMF tanpa biji frekuensi menengah yang dihasilkan interharmonik, karakteristik dan tidak seperti biasanya harmonik dalam bentuk gelombang arus garis sisi *grid*. Penggunaan jenis beban ini secara langsung akan mempengaruhi kualitas daya listrik karena arus pada beban non linier tidak berbentuk gelombang sinusoidal murni meskipun sumber tegangan yang dipakai berbentuk gelombang sinusoidal murni[4].

Untuk mengatasi masalah harmonisa ini akan disimulasikan menggunakan filter *hybrid* yang merupakan penggabungan filter pasif dan filter aktif yang dikonfigurasi seri. Penelitian untuk menganalisa langkah-langkah pemasangan filter *hybrid* untuk meredam distorsi harmonisa, menganalisa daya menggunakan *software* MATLAB. Analisa dilakukan sebelum dan sesudah pemasangan filter *hybrid*. Hasil analisa dari simulasi filter *hybrid* dapat mereduksi distorsi harmonisa dengan nilai THD menurut IEEE 152-1992[5].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Kecenderungan penggunaan beban non-linear dalam jumlah besar dalam sistem tenaga listrik telah menimbulkan masalah yang tidak dipikirkan sebelumnya. Berbeda dengan

beban-beban listrik yang menarik arus sinusoidal (sebutuk dengan tegangan yang menyuplainya), sedangkan beban-beban non-linear menarik arus dalam bentuk non-sinusoidal, walaupun disuplai dari tegangan sinusoidal[6].

Arus yang tidak berbentuk sinusoidal tersebut menjadi komponen arus frekuensi tinggi yang terinjeksi ke jala-jala, yang dikenal dengan nama arus harmonisa. Arus harmonisa ini dapat menimbulkan beberapa efek negatif, baik bagi pelanggan maupun *power provider*. Kerugian akibat harmonisa mencakup aspek teknis, biaya dan keandalan[7]

2.2. Sumber Harmonisa

Sumber harmonik secara garis besar terdiri dari 2 jenis yaitu peralatan yang memiliki kondisi saturasi (*saturate device*) dan peralatan elektronika daya (*power electronic equipment*). Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen yang bersifat magnetik seperti transformator, mesin – mesin listrik, tanur busur listrik, peralatan yang menggunakan power supply, dan magnetik ballast. Peralatan elektronika daya biasanya menggunakan komponen-komponen elektronika daya seperti thyristor, dioda, dan lain-lain[8].

2.3. Standart Harmonisa

Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik (Standar harmonisa berdasarkan IEEE 519-1992 seperti ditunjukkan pada tabel 1), yaitu batasan untuk harmonisa arus dan batas harmonisa tegangan. Untuk standar harmonisa arus ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada inverter sebagai driver motor sinkron 3 fasa, sedangkan I_L adalah arus beban fundamental. Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai[9].

2.4. Akibat Yang Ditimbulkan Harmonisa

Pengaruh harmonik pada peralatan tenaga listrik secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Nilai rms baik tegangan maupun arus meningkat.
2. Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus meningkat.
3. Frekuensi sistem menurun.

Tabel 1. IEEE STD. 519-1992 IEEE-519 Voltage Distortion Limits

Bus Voltage at PCC	IHD _v (%)	THD _v (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

IHD_v = Individual harmonik *Voltage Distortion*
 THD_v = Total harmonik *Voltage Distortion*

Tabel 2. IEEE STD. 519-1992 IEEE-519 Maximum Odd-Harmonik Current

Isc/IL	n<11	11n<17	17n<23	23n<35	35n	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	9.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

(%) *Limits for General Distribution Sitem (120 Volts –69,000 Volts)*

Masing-masing elemen membangkitkan distorsi yang spesifik. Nilai rms lebih besar dapat menyebabkan pemanasan lebih dan nilai puncak lebih besar yang dapat membuat alat ukur terganggu kinerjanya sehingga memberikan indikasi yang salah. Frekuensi mempengaruhi impedansi kabel dan dengan frekuensi 400 Hz atau lebih maka akan sulit untuk mengatasi jatuh tegangan. Fenomena resonansi dapat terjadi pada frekuensi tertentu dan dapat menyebabkan arus meningkat[10].

Secara khusus efek yang ditimbulkan harmonik pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi:

a. Efek negatif jangka pendek

1. Tegangan harmonik dapat mengganggu pengendalian yang digunakan pada sistem elektronik.

2. Harmonik dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip induksi magnetik.

b. Efek yang bersifat kontinu dan yang dapat mengakibatkan pemanasan.

1. Pemanasan kapasitor

Kapasitor sensitif terhadap perubahan beban maka ketika terjadi harmonik akan menyebabkan rugi-rugi meningkat. Ketika terjadi harmonik, beban semakin reaktif sehingga kapasitor harus mencatu lebih banyak daya reaktif kepada sistem.

2. Pemanasan pada mesin-mesin listrik

Akibat harmonik pada mesin adalah bertambahnya rugi-rugi pada mesin. Hal ini diakibatkan oleh meningkatnya rugi-rugi pada stator dan perbedaan kecepatan yang diakibatkan oleh medan yang dihasilkan oleh harmonik dengan rotor. Arus harmonik juga menimbulkan panas lebih dan apabila mesin terus-menerus dioperasikan pada kondisi ini akan mengurangi umur dan merusak mesin[11].

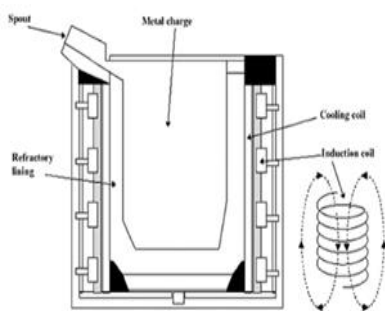
3. Transformator

Transformator distribusi yang mencatu daya beban non linear akan menimbulkan arus harmonik kelipatan tiga ganjil. Harmonik ini akan menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa. Akibatnya terjadi peningkatan temperatur pada kawat netral. Dampak lanjutannya, akan terjadi sirkulasi arus urutan nol pada belitan delta sehingga temperatur meningkat. Hal ini akan mengakibatkan penurunan efisiensi transformator dan dapat mengakibatkan kerusakan. Rugi-rugi yang terjadi pada transformator adalah rugi-rugi inti dan rugi-rugi belitan. Rugi-rugi inti karena fluks yang dibangkitkan di dalam inti bila transformator dieksitasi. Rugi-rugi belitan yang terdiri dari I²R dan *stray losses* dibangkitkan oleh arus yang mengalir melalui transformator. Akibat dari harmonik lain ialah interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya sistem komunikasi letaknya berdekatan dengan sistem tenaga listrik. Sistem pengaman seperti relay dapat berkurang kemampuannya untuk merasakan gangguan ketika terjadi harmonik karena sifar relay itu sendiri yang sensitif terhadap perubahan frekuensi dan arus[12].

2.5. Induction Furnace

Induction furnace adalah tungku listrik dimana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam. Keuntungan dari tungku induksi adalah, proses peleburan hemat energi dan baik dikendalikan bersih dibandingkan dengan kebanyakan cara lain peleburan logam. Secara umum tanur induksi digolongkan sebagai tanur pelebur (*melting furnace*) dengan frekuensi kerja (50 atau 10000 Hz) atau lebih tinggi dan tanur penahan panas (*holding furnace*) yang bekerja pada frekuensi jala-jala. *Induction furnace* bekerja dengan prinsip transformator dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder.

Kumparan sekunder yang diletakkan di dalam medan magnet kumparan primer akan menghasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan oleh bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkannya. Sesuai dengan frekuensi kerja yang digunakan, tanur induksi dikategorikan sebagai tanur induksi frekuensi jala-jala (50 Hz – 60 Hz) dengan kapasitas lebur diatas 1 ton/jam dan tanur induksi frekuensi menengah (150 Hz – 10000 Hz) untuk tanur dengan kapasitas lebur rendah frekuensi jala-jala pada tanur induksi frekuensi menengah diubah terlebih dahulu dengan menggunakan thyristor menjadi frekuensi yang lebih tinggi sebelum dialirkan kekumparan primer[1].



Gambar 1. Skema Arus Induksi Pada Induction Furnace

2.6. Prinsip Kerja Induction Furnace

Prinsip pemanasan pada benda yang diletakkan di antara medan *electromagnetic* arus bolak-balik akan ditembus oleh medan listrik

induksi mengakibatkan naiknya temperatur bahan. Laju kenaikan temperatur akan berbeda-beda untuk setiap jenis maupun ukuran bahan sebab resistansi dari setiap bahan tersebut berbeda. Sebatang silinder logam diletakkan pada sebuah kumparan yang dialiri arus bolak-balik, maka medan magnet yang terbentuk oleh kumparan akan menimbulkan arus induksi pada silinder logam. Silinder logam menjadi panas oleh energi panas joule yang timbul akibat lompatan elektron dari arus induksi yang terhambat oleh resistansi dari logam. Pada pemanasan dengan induksi seperti ditunjukkan pada gambar 1, gelombang magnetis dipancarkan dari kumparan permukaan benda serta menembus benda tersebut hingga kedalaman tertentu, maka sepanjang penampang medan magnet ini akan timbul arus induksi.

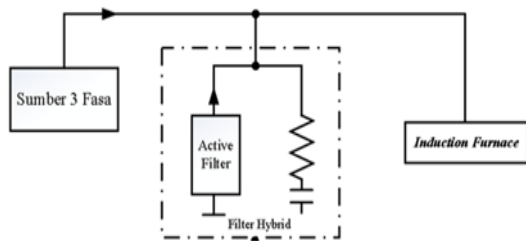
Pada penelitian ini merupakan suatu perancangan filter *hybrid* dimodelkan dalam bentuk kombinasi antara pemasangan filter *hybrid* dan filter pasif. Pada penelitian ini filter *hybrid* diharapkan dapat mengkompensasi munculnya harmonisa pada sistem. Filter *hybrid* dimodelkan dalam bentuk kombinasi antara pemasangan filter aktif dan filter pasif bertujuan untuk mencegah meluasnya harmonisa filter aktif dipasang seri dengan beban non linear sedangkan, filter pasif dipasang secara paralel terhadap beban non linear, tujuannya untuk menggagalkan daya arus harmonisa menuju sumber filter aktif juga dapat mengkompensasi faktor daya atau fungsi yang lain.

2.7. Proses Penelitian

Melakukan penelitian yang baik dan benar tidak lepas dari perencanaan dan proses penelitian yang sudah dirancang sebelumnya. Pada tahapan-tahapan dalam proses penelitian ini difungsikan sebagai pedoman dalam mengambil data-data parameter yang diperlukan. Adapun tahapan dan proses penelitian sebagai berikut :

1. Merancang konfigurasi sistem *induction furnace* pada Simulink di software Matlab R2016a.
2. Penelitian ini menggunakan *induction furnace*
3. Penelitian ini membandingkan filter pasif, dan filter *hybrid* dengan melakukan analisis nilai THDv dan THDi apakah sudah sesuai dengan standart IEEE 519-1992.

Pada penelitian ini merupakan suatu sistem ekstraksi harmonisa pada *induction furnace* akibat pengaruh beban non linier yang menghasilkan suatu harmonisa. Untuk mengekstraksi harmonisa dilakukan dengan memasukkan sumber arus dan tegangan pada *induction furnace* sebagai input atau data pembelajaran, berupa sinyal harmonisa yang sudah dipisahkan dengan sinyal fundamental. Dengan menggunakan filter *hybrid* dihasilkan dengan menggunakan filter *hybrid* dapat mereduksi harmonisa yang muncul sehingga hasil yang didapat lebih baik serta memiliki nilai THDv dan THDi sesuai dengan standart IEEE 519-1992 seperti ditunjukkan pada gambar 2.

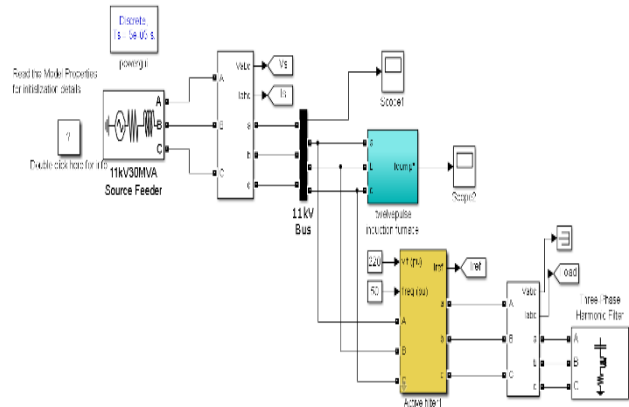


Gambar 2. Diagram Perancang Proses Penelitian

2.8. Pemodelan Filter Daya Hybrid

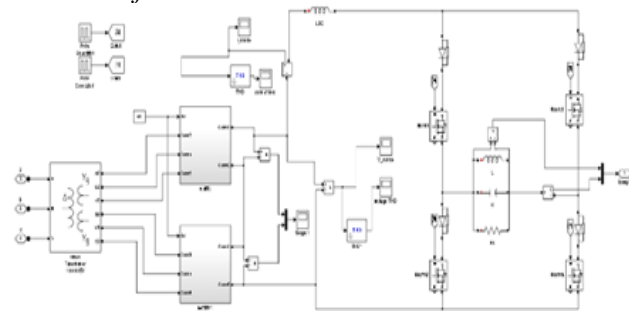
Untuk pemasangan filter daya *hybrid* yang terdiri dari filter aktif seri dan filter pasif *shunt* yang dipasang secara bersamaan. Filter aktif dipasang seri dengan beban non-linear sedangkan filter pasif dipasang secara paralel terhadap beban non-linear. Filter aktif adalah filter hamonisa yang terdiri dari komponen-komponen aktif, seperti inverter yang dikontrol secara khusus dan secara aktif dapat mendeteksi komponen arus harmonisa di jaringan. Dengan cara sederhana yaitu menyuntikkan arus harmonisa yang fasanya dibuat berbeda, sehingga saling menghilangkan yang tujuannya untuk menggagalkan arus harmonisa menuju sumber. Filter aktif juga dapat mengkompensasi faktor daya atau fungsi yang lain. Berbeda dengan filter pasif yang hanya dapat memfilter satu harmonisa pada satu link filter pasif, filter aktif bisa mengkompensasi banyak harmonisa hanya dengan satu link filter aktif. Gambar 3 merupakan

sebuah sistem yang telah di desain dengan menggunakan filter daya *hybrid*.



Gambar 3. Rangkaian Filter Daya Hybrid

Pada penelitian ini menggunakan beban non-linear berupa *induction furnace* dengan frekuensi kerja 50 – 10000 Hz. Pemodelan *induction furnace* bisa dilihat pada gambar 4 dengan rangkaian simulink beban non linier yaitu *induction furnace*.



Gambar 4. Pemodelan Induction Furnace

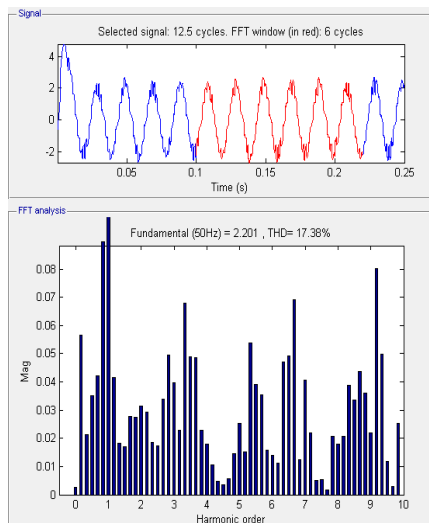
Tabel 3. Parameter yang digunakan dalam simulasi

Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan Sumber 3 fasa	380	V
Frekuensi Sumber	50	Hz
Suplay Transformator 3 Fasa ($\gamma - \gamma - \Delta$)	$4e6$	VA
	50	Hz
Induction Furnace	7.5	Ton
	12	Pulse
Injeksi Transformator	1:10	
	R= 0,001	pu
	X= 0,04	pu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan Filter

Pada sistem awal ini disimulasikan tanpa menggunakan filter *hybrid* gelombang arus dan gelombang tegangan tidak berbentuk sinusoidal dikarenakan gelombang fundamental sudah bercampur dengan komponen harmonisa sehingga dapat dilihat pada gambar 5 dengan nilai THDi 17.38%, yang dianalisa menggunakan analisa *Fast Fourier Transform* (FFT).

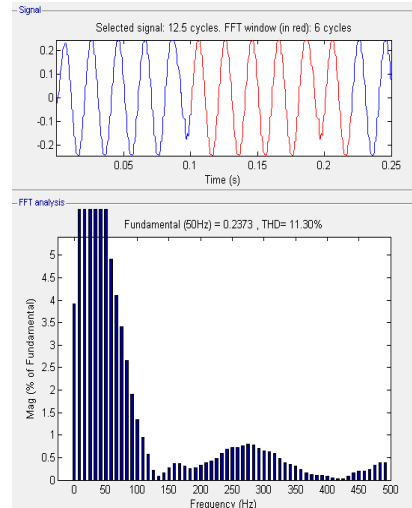


Gambar 5. Nilai THDi sebelum menggunakan filter

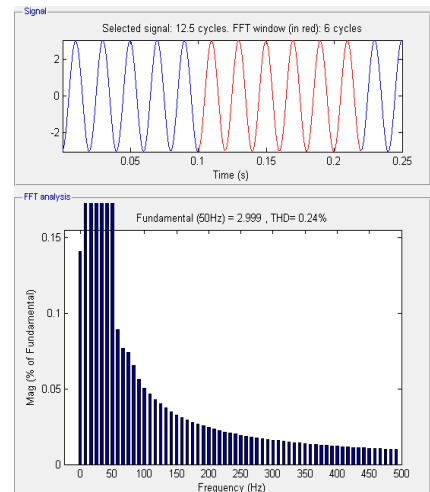
Nilai THD didapatkan dari *FFT Analysis Powergui* pada *scope* yang terhubung dengan salah satu pengukur tegangan dan arus sebelum dikonsumsi oleh *induction furnace*. Pada gambar 5 menunjukkan gelombang tegangan sebelum penambahan filter, sumbu vertikal menunjukkan nilai tegangan dalam satuan volt dan sumbu horizontal menunjukkan orde waktu simulasi dalam detik.

3.2. Simulasi Suhu Titik Leleh 1550°C

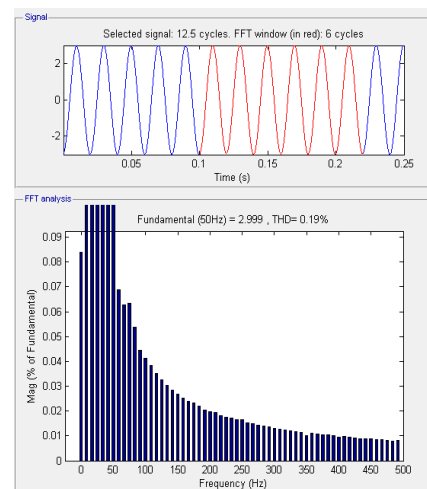
Pada kasus permasalahan pertama yaitu temperatur proses suhu titik leleh 1550°C pada *induction furnace*. Analisa diambil pada saat sebelum dan sesudah menggunakan filter pada sistem *induction furnace*. Sehingga besar THDi pada titik *PCC grid* saat menggunakan filter (baik filter pasif maupun filter *hybrid*).



Gambar 6. THDi pada suhu titik leleh 1550°C tanpa filter



Gambar 7. THDi pada suhu titik leleh 1550°C dengan filter pasif



Gambar 8. THDi pada suhu titik leleh 1550°C dengan filter hybrid

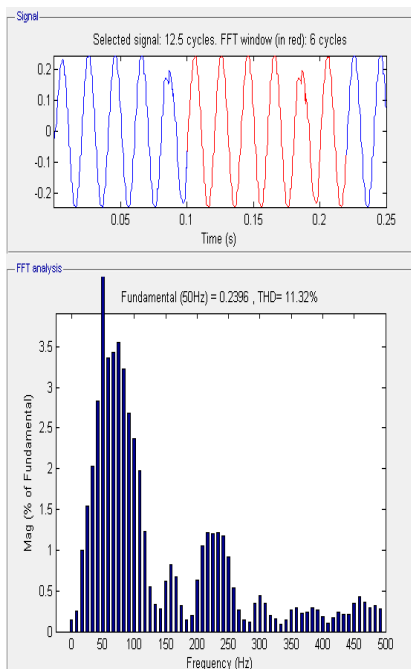
Tabel 4. Besar THDi pada suhu titik leleh 1550°C

Temperatur Proses Suhu Titik Leleh	THD arus dalam persen (%)		
	Tanpa Filter	Dengan Filter Pasif	Dengan Filter Hybrid
1550°C	11.30%	0.24%	0.19%

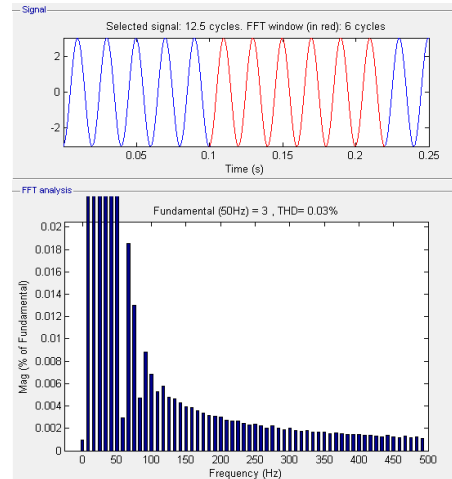
Dari hasil analisa besar THD pada titik grid seperti disajikan pada tabel 4, terlihat sama hasil THDi saat sebelum menggunakan filter pasif dan filter *hybrid* lebih rendah, namun besar nilai arus pada *grid* sesudah menggunakan filter pasif lebih baik dan menggunakan filter *hybrid* lebih baik daripada sebelum menggunakan filter dengan, hal ini menunjukkan setelah menggunakan filter pasif dan filter *hybrid* mendapatkan hasil yang lebih baik sebesar 0.24% dan 0.19%.

3.3. Simulasi Suhu Holding 1490°C

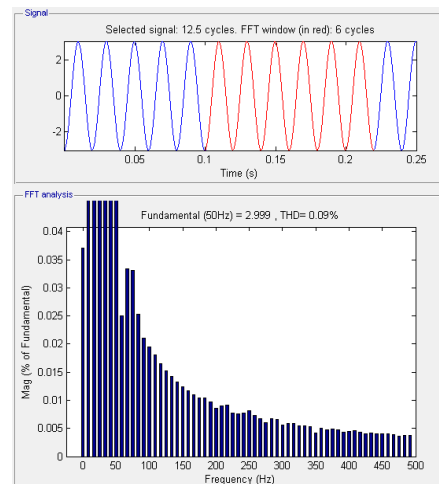
Pada kasus permasalahan kedua ini merupakan hasil running *spectrum* harmonisa dan bentuk gelombang dari THD arus pada *induction furnace* dapat dilihat pada gambar 9 bahwa terjadinya cacat terhadap bentuk gelombang arus yang diakibatkan pengoperasian *induction furnace* pada saat proses peleburan.



Gambar 9. THDi Pada Suhu Holding 1490°C Tanpa Filter



Gambar 10. THDi pada suhu holding 1490°C dengan filter pasif



Gambar 11. THDi pada suhu holding 1490°C dengan filter *hybrid*

Berdasarkan hasil THDi pada suhu holding 1490°C simulasi setelah dipasang filter pada titik PCC *grid* secara keseluruhan memperlihatkan bahwa terjadi penurunan arus harmonik. Terlihat untuk nilai sama sebelum pemasangan filter sebesar 11.32% dan sesudah pemasangan filter pasif sebesar 0.03% sedangkan untuk filter *hybrid* sebesar 0.09%, telah sesuai dengan ketentuan IEEE 519.

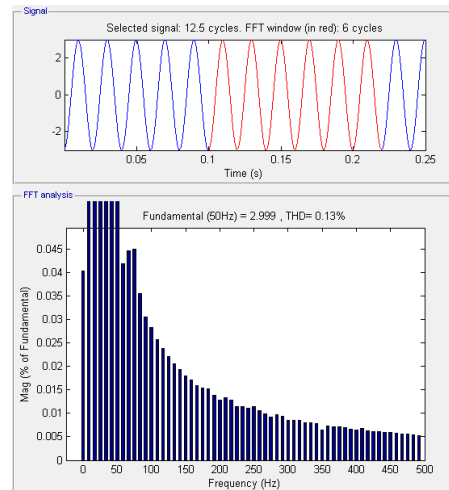
Tabel 5. Besar THDi pada suhu holding 1490°C

Temperatur Proses	THD arus dalam persen (%)
-------------------	---------------------------

Suhu <i> Holding</i>	Tanpa Filter	Dengan Filter Pasif	Dengan Filter <i> Hybrid</i>
1490°C	11.32%	0.03%	0.09%

3.4. Simulasi Suhu Tapping 1500°C

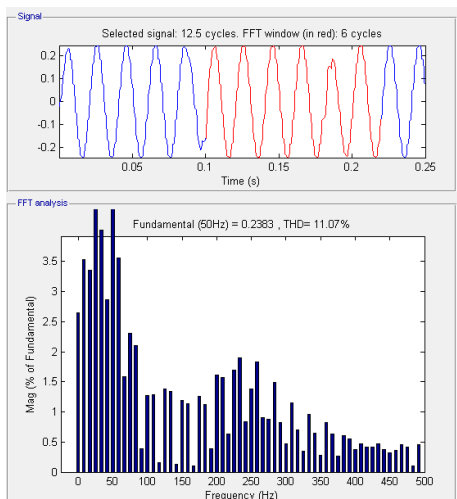
Pengoperasian *induction furnace* setelah peleburan masih menyebabkan nilai distorsi harmonik berada di atas *standard*. Terlihat gelombang arus pada titik PCC *grid* masih cukup tinggi belum menyerupai sinusoidal murni dan muncul *ripple* yang menandakan terjadi harmonik. Maka bentuk gelombang sinusoidal mengalami cacat gelombang atau terdistorsi.



Gambar 14. THDi pada suhu *tapping* 1500°C dengan filter *hybrid*

Setelah dilakukan pemasangan *single tuned filter* dan filter *hybrid* pada titik PCC *grid* didapati bahwa nilai distorsi harmonik pada suhu *tapping* 1500°C mengalami penurunan dan sudah memenuhi *standard*.

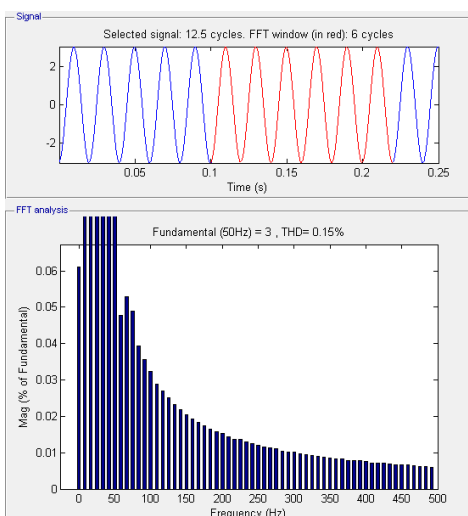
Tabel 6 menunjukkan data harmonik arus sebelum pemasangan filter sebesar 11.07% dan sesudah pemasangan filter pasif sebesar 0.15% sedangkan untuk filter *hybrid* sebesar 0.13%,. Pemasangan filter setiap orde harmonisa mengalami penurunan yang sesuai dengan standar IEEE 519 2014 yaitu nilai THD arus tidak boleh melebihi 5%.



Gambar 12 . THDi pada suhu *holding* 1500°C tanpa filter

Tabel 6. Besar THDi pada suhu *tapping* 1500°C

Temperatur Proses Suhu <i> Tapping</i>	THD arus dalam persen (%)		
	Tanpa Filter	Dengan Filter Pasif	Dengan Filter <i> Hybrid</i>
1500°C	11.07%	0.15%	0.13%

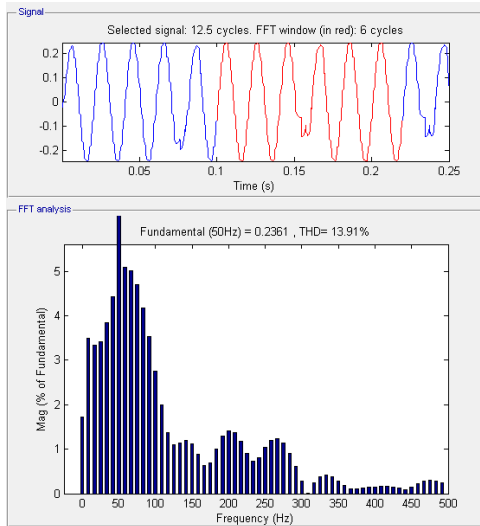


Gambar 13. THDi pada suhu *tapping* 1500°C dengan filter pasif

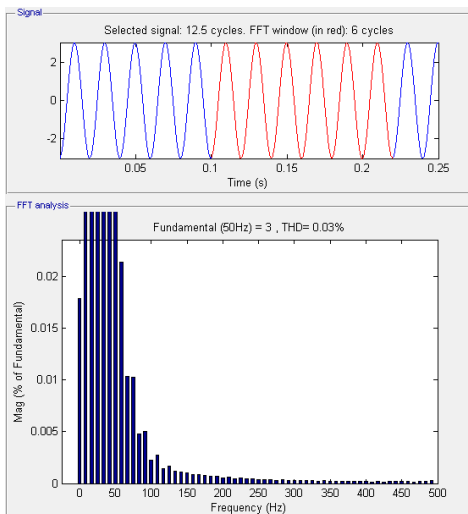
3.5. Simulasi Suhu *Pouring* 1300°C

Seperti telah dijelaskan pada tinjauan pustaka, pemasangan desain filter bertujuan agar tegangan dan arus harmonik dalam jaringan AC sampai ke tingkatan yang dapat diterima. Fungsi lain dari filter pasif dan filter *hybrid* adalah dapat menyediakan semua atau sebagian daya reaktif yang dikonsumsi oleh sumber harmonik atau

beban-beban lainnya karena filter pasif maupun filter *hybrid* terdiri dari elemen induktansi dan juga kapasitansi. Elemen-elemen tersebut harus didesain sedemikian rupa agar dapat mengendalikan harmonik dengan baik.

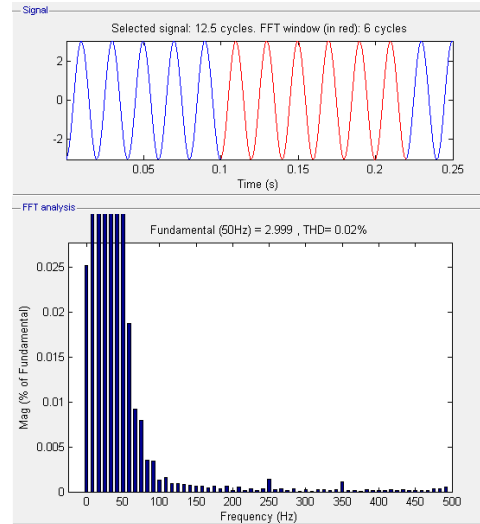


Gambar 15. THDi pada suhu pouring 1300°C tanpa filter



Gambar 16. THDi pada suhu pouring 1300°C dengan filter pasif

Spektrum harmonik arus memperlihatkan harmonik yang cukup besar terjadi pada saat sebelum dipasang filter. Ini menandakan distorsi harmonik masih mendominasi pada titik PCC grid. Besar harmonik arus pada Gambar 15 telah melewati standar IEEE 519 2014 seperti yang terdapat pada landasan teori.



Gambar 17. THDi pada suhu pouring 1300°C dengan filter *hybrid*

Besar THDi titik PCC grid adalah 13.91%. Dimana untuk harmonik arus nya berada diatas batas toleransi ($\leq 5\%$). Dengan kondisi tersebut, maka diperlukan pemasangan filter untuk mengeliminasi harmonik arus pada titik PCC *grid*.

Dengan menggunakan rangkaian pengukur harmonik maka menghasilkan THD arus, sehingga dapat diketahui berapa persen % nilai dari THD yang dihasilkan setiap harmonik.

Tabel 7. Besar THDi pada suhu pouring 1300°C

Temperatur Proses Suhu <i>Pouring</i>	THD arus dalam persen (%)		
	Tanpa Filter	Dengan Filter Pasif	Dengan Filter Hybrid
1300°C	13.91%	0.03%	0.02%

3.6. Rata – Rata THD

Setelah melakukan analisa besar THD pada *induction furnace* dengan 4 temperatur proses yang berbeda-beda dengan disimulasikan saat sebelum dan sesudah menggunakan filter pasif dan filter *hybrid* berbasis *PID controller* sebagai pemilah sinyal listrik berdasarkan pada frekuensi dari sinyal tersebut. Hasil analisa rata-rata besar THD yang dihasilkan dari setiap suhu yang berbeda-beda dari suhu titik leleh, suhu *holding*, suhu *tapping*, suhu *pouring* dikarenakan pada kasus permasalahan tersebut fokus pada analisa THD PCC *Grid*.

Tabel 8. Rata-Rata THD

Temperatur Proses	THD arus dalam persen (%)		
	Sebelum Terpasang Filter	Sesudah Terpasang Filter Pasif	Sesudah Terpasang Filter Hybrid
Suhu titik leleh 1550°C	11.30%	0.24%	0.19%
Suhu holding 1490°C	11.32%	0.03%	0.09%
Suhu tapping 1500°C	11.07%	0.15%	0.13%
Suhu pouring 1300°C	13.91%	0.03%	0.02%
Rata-rata	11.9%	0.11%	0.10%

Seperti ditunjukkan pada tabel 8, dimana dari analisa besar THD tersebut, rata-rata THD pada 4 temperatur proses yang meningkat saat sebelum menggunakan filter menghasilkan 11.9% THDi, pada saat sesudah menggunakan filter (baik filter pasif maupun filter *hybrid*) menghasilkan 0.01% THDi.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari simulasi serta analisa besar THD pada sistem *induction furnace* akibat temperatur proses yang berubah-ubah dengan filter pasif dan filter *hybrid* sebagai perbandingan pemilah sinyal listrik berdasarkan pada frekuensi dari sinyal tersebut, sehingga dapat menarik beberapa kesimpulan dari hasil simulasi sebagai berikut :

1. Eliminasi harmonisa arus menggunakan filter pasif dan filter *hybrid* pada beban nonlinier yaitu *induction furnace* dengan temperatur proses yang berbeda adalah sebesar 20.72%, telah sesuai dengan standar ITHD yaitu sebesar 5%.
2. Nilai-nilai % THD dari arus sesudah pemasangan filter pasif dan filter *hybrid* sudah dapat diterima atau sesuai dengan standar THD yang ditentukan. Untuk % ITHD yaitu 0.36% dan untuk % ITHD sebelum dipasang filter pasif dan filter *hybrid* adalah 20.72%.
3. Penggunaan filter pasif dan filter *hybrid* mampu mengeliminasi % ITHD sebesar 19.82% dibandingkan dengan sebelum penggunaan filter pasif dan filter *hybrid*.

5.1 Saran

Untuk mencapai nilai THD yang telah ditentukan pada sistem *inducton furnace*, salah

satunya tercapainya nilai harmonik yang kecil sesuai batas standar yang telah ditetapkan, maka terdapat masukan untuk penelitian selanjutnya :

1. Untuk pengembangan sistem, filter Hybrid ini sebaiknya juga diaplikasikan untuk sistem yang menggunakan beban non-linear.
2. Melakukan penelitian mengenai pemasangan filter pada software yang berbeda untuk mendapat akurasi serta presisi yang lebih baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nugroho dan Y. Umardhani, “Karakterisasi Material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (Mgo) Guna Lining Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X Klaten,” dalam *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 2011.
- [2] D. dwi aprisetiawan Diki, I. Winarno, dan B. Y. Dewantara, “Penggunaan Filter Aktif Dengan Pi Controller Untuk Meredam Harmonisa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Solar Cell,” *KURVATEK*, vol. 6, no. 1, hlm. 69–80, 2021.
- [3] G. A. Patil, Y. N. Bhosale, dan V. S. Bolaj, “Passive filter design to mitigate harmonics in three phase induction furnace,” dalam *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, IEEE, 2017, hlm. 1–6.
- [4] E. Durna, İ. Yılmaz, dan M. Ermiş, “Suppression of time-varying interharmonics produced by medium-frequency induction melting furnaces by a HAPF system,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 32, no. 2, hlm. 1030–1043, 2016.
- [5] Y. Choi, H. Kwun, D. Kim, E. Lee, dan H. Bae, “Method of predictive maintenance for induction furnace based on neural network,” dalam *2020 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, IEEE, 2020, hlm. 609–612.
- [6] Z. Nikmah, “Reduksi Total Harmonic Distortion (THD) Menggunakan Filter Hybrid dengan Fuzzy PID Controller,”

Universitas Muhammadiyah Malang,
Malang, 2022.

- [7] Y. Tanoto, L. Limantara, dan K. K. Lestanto, “Simulasi Filter Pasif dan Perbandingan Unjuk Kerjanya dengan Filter Aktif dan Filter Aktif Hibrid dalam Meredam Harmonisa pada Induction Furnace,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, hlm. 53–58, 2005.
- [8] I. W. Rinas, “Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif Dan Filter Aktif Untuk Menanggulangi THD Pada Sistem Kelistrikan Di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 10, no. 1.2011, 2011.
- [9] I. W. D. Setiawan, I. W. Rinas, dan A. I. Weking, “Analisa Pemasangan Filter Hybrid Terhadap beban-Beban Non Linier Pada Blue Point Bay Villa dan Spa,” *E-Journal SPEKTRUM Vol*, vol. 5, hlm. 109–115, 2018.
- [10] D. N. Prabowo, M. Haddin, dan D. Nugroho, “Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis Matlab/Simulink,” *Media Elektrika*, vol. 8, no. 2, 2015.
- [11] I. G. M. Widiarsana, I. W. Rinas, dan I. W. A. Wijaya, “PENGUNAAN PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) CONTROLLER PADA FILTER AKTIF UNTUK MEREDAM HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER DI BALI NATIONAL GOLF RESORT,” *E-Jurnal SPEKTRUM*, vol. 4, 2017.
- [12] Y. Tanoto, L. Limantara, dan R. S. Dewi, “Simulasi Filter Aktif Hibrid Konfigurasi Seri-Seri dan Unjuk Kerjanya Untuk Meredam Harmonisa pada Beban Induction Furnace,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, 2006.