Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah
Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

Analisis Penggunaan *Filter Harmonic* Untuk Mengurangi Efek Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Kapal Isap Produksi

Aseftian Wanda Putra [1*)]; Muhammad Jumnahdi [2]; Welly Yandi [3]

1. Jurusan Teknik Elektro Fakutas Teknik Universitas Bangka Belitung, Merawang, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung 33172, Indonesia

[*)]*Email:* aseftianw@gmail.com

Received: 10 Januari 2022 | Accepted: 14 Maret 2022 | Published: 1 Januari 2023

Abstract

Harmonics are disturbances caused by non-linear loads, the negative impact of the presence of harmonics, among others, overheating of motors, transformers, capacitors and neutral wires as a result of the emergence of harmonics. This research was conducted so that the value of harmonics that exceeds the standard value can be reduced by using a filter to reduce the effects caused by harmonics on the ship's electrical system. Based on Load Flow Analysis, it can be seen several values in the form of active power of 60 kW, reactive power of 39 kVAR, apparent power of 72 kVA, power factor of 84% and current flowing in the network of 103.2 A. Standard harmonics used are 8%, Single Tuned Harmonic Filter, the capacitor capacitance value is 19.2 kVAR, the capacitor value is 381 F. The value of the inductor on the 3rd order with a harmonic value of 2.85 and the inductor 0.0032 H. The value of the inductor on the 5th order with a harmonic value of 4.75 and the inductor 0.0012 H. The value of the inductor on the 7th order with a harmonic value of 6.65 and the inductor 0 .0005 H and the results of the installation of a single tuned harmonic Filter on the R, S, and T phases on the three orders of 3, 4 and 5 obtained a THD value that meets the 8% harmonic standard, a Single Tuned Harmonic Filter of Order 5 is suitable for reducing harmonics on ships. Main Production because it meets harmonic standards in each phase.

Keywords*: Harmonic, Harmonic Filters, Inductors, Capacitance, Load Flow Analysis*

Abstrak

Harmonisa merupakan gangguan yang disebabkan oleh beban non-linear, dampak negatif dari adanya harmonisa, antara lain, panas berlebih pada motor, trafo, kapasitor dan kawat netral sebagai akibat timbulnya harmonisa. Penelitian ini dilakukan agar nilai harmonisa yang melebihi nilai standar, dapat dikurangi dengan penggunaan filter untuk mengurangi efek yang ditimbulkan akibat harmonisa pada sistem kelistrikan kapal. Berdasarkan Load Flow Analysis dapat diketahui beberapa nilai yang berupa daya aktif sebesar 60 kW, daya reaktif sebesar 39 kVAR, daya semu sebesar 72 kVA, power factor sebesar 84% dan Arus yang mengalir pada jaringan sebesar 103,2 A. Standar harmonisa yang digunakan adalah 8%, Filter Harmonic Single Tuned didapatkan nilai kapasitansi kapasitor 19,2 kVAR, nilai kapasitor 381 *µF. Nilai Induktor pada orde 3 dengan nilai harmonisa 2,85% dan Induktor* 0,0032 *H. Nilai Induktor pada orde 5 dengan nilai harmonisa 4,75% dan Induktor 0,0012 H. Nilai Induktor pada orde 7 dengan nilai harmonisa 6,65% dan Induktor 0,0005 H dan hasil pemasangan Filter Harmonic Single Tuned pada phasa R, S, dan T pada ketiga orde yaitu 3, 5 dan 7 didapatkan nilai THD yang memenuhi standar harmonisa 8% adalah Filter Harmonic Single Tuned Orde 5 layak dipakai untuk mereduksi harmonisa pada Kapal Isap Produksi karena sudah memenuhi standar harmonisa pada setiap phasanya.*

Keyword*: Harmonisa, Filter Harmonic, Induktor, Kapasitansi, Load Flow Analysis*

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

1. PENDAHULUAN

PT Timah Tbk merupakan produsen dan eksportir logam timah, dan memiliki segmen usaha pertambangan timah terintegrasi mulai dari kegiatan eksplorasi, penambangan dan pengolahan hingga pemasaran. Ruang lingkup kegiatan perusahaan meliputi juga bidang pertambangan, perindustrian, perdagangan, pengangkutan dan jasa. Kegiatan utama perusahaan adalah sebagai perusahaan induk yang melakukan kegiatan operasi penambangan timah dan melakukan jasa pemasaran kepada kelompok usaha mereka. Perusahaan memiliki beberapa anak perusahaan yang bergerak dibidang perbengkelan dan galangan kapal, jasa rekayasa teknik, penambangan timah, jasa konsultasi dan penelitian pertambangan serta penambangan non timah.

Penambangan yang dilakukan oleh PT Timah Tbk yang berada dilaut menggunakan kapal isap dan kapal keruk. Dalam proses penambangan yang dilakukan oleh kapal isap dan kapal keruk menggunakan beberapa peralatan elektronika dan beban *non-linier*. Pemakaian beban *non-linier* diantaranya seperti AC, kulkas, printer, lampu hemat daya, televisi, komputer, GPS, alat las dan beberapa alat lain nya. Efek dari penggunaan peralatan-peralatan yang terdapat pada kapal tersebut dapat menimbulkan permasalahan berupa munculnya gangguan harmonisa dalam kelistrikan yang ada pada kapal. Gangguan harmonisa yang muncul akan menyebabkan panas dari rugi-rugi daya yang akan menyebabkan terjadinya penurunan umur peralatan seperti motor, kabel dan trafo.

Kapal Isap Produksi (KIP) banyak memiliki beban motor yang dipakai untuk melakukan operasional penambangan yang dimana dengan nilai harmonisa yang tinggi dapat menyebabkan beberapa dampak negative pada motor. Pada motor induksi dan motor sinkron, urutan polaritas yang berbeda dari harmonisa yang dihasilkan oleh motor, rugi-rugi panas tambahan yang sebagian besar dihasilkan oleh motor, terutama motor induksi, yang polaritasnya bisa positif atau negatif. Dilihat dari perubahan urutan polaritas harmoniknya, yaitu urutan polaritas harmonik ke-5 negatif (-), dan urutan polaritas harmonik ke-7 positif (+), keduanya memiliki pengaruh masing-masing. Ketika motor menghasilkan harmonik dengan urutan polaritas negatif, sistem distribusi daya akan menghasilkan medan magnet berputar maju (*Forward*). Untuk polaritas harmonik negatif, itu akan menyebabkan medan magnet berputar terbalik. Urutan polaritas positif dan polaritas negatif dari harmonik adalah penyebab pemanasan motor. Oleh karena itu, kapasitas mesin akan berkurang karena harmonik yang terlalu panas, dan umur mesin juga akan berkurang. Selain itu, polaritas harmonisa urutan nol ini menyebabkan terjadinya interferensi pada kabel saluran telekomunikasi. Frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadinya kerugian daya.

Dalam standar kualitas kelistrikan pada sebuah sistem kelistrikan, salah satu aspek yang dapat menyebabkan berkurannya kualitas kelistrikan adalah harmonisa. Nilai harmonisa yang tinggi dapat mempengaruhi pada sistem kelistrikan karena dapat menimbulkan kerugian. Berdasarkan standar mengenai harmonisa yang mengacu pada IEEE Std 519-1992, diketahui bahwa nilai sebuah harmonisa memiliki batas berdasarkan hasil perbandingan antara nilai Isc dan IL. Pada KIP 19 perbandingan antara nilai Isc dan IL sebesar 28,01% sehingga dapat diketahui berdasarkan IEEE Std 519-1992 nilai harmonisa yang diperbolehkan adalah sebesar 8%. Maka dari itu perlu dilakukan sebuah kajian mengenai perbaikan nilai harmonisa yang terdapat pada kapal isap dan kapal keruk yang terdapat pada PT Timah Tbk dengan menggunakan sebuah *filter* harmonisa pasif ataupun aktif. Dengan adanya kajian ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam melakukan perbaikan terhadap kualitas listrik di kapal-kapal PT Timah Tbk dengan cara memperbaki nilai harmonisa yang terkandung.

Filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *filter* RCL. *Filter* RCL dapat digunakanan pada sumber tegangan baik satu fasa maupun tiga fasa. *Filter* RCL merupakan *filter*

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

yang terdiri dari komponen pasif berupa sebuah induktor, sebuah reistor, dan sebuah kapasitor. *Filter* RCL lebih efektif bila dibandingkan *filter* L biasa, hal ini disebabkan karena Induktor digunakan lebih kecil untuk harmonisa.

2. METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini sebagai berikut:

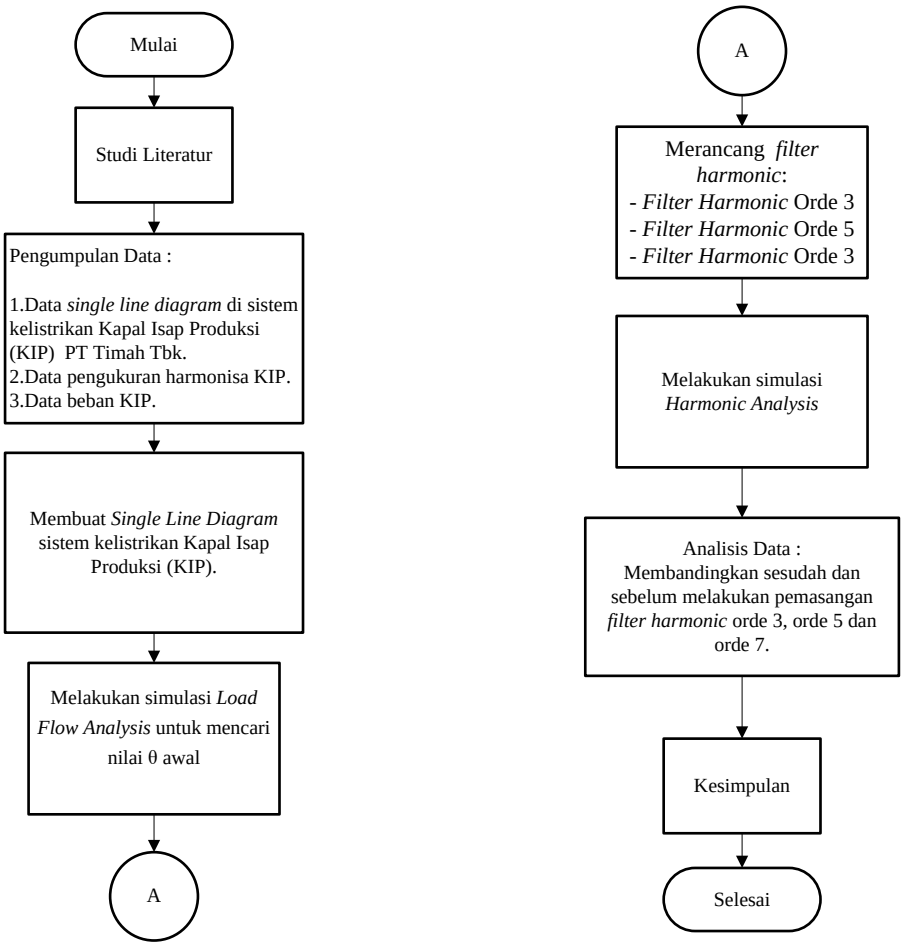
1. Data *single line diagram* di sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP) PT Timah Tbk.
2. Data spesifikasi peralatan yang terdapat pada KIP.
3. Data pengukuran harmonisa KIP.
4. Data beban Kapal Isap Harmonisa (KIP).

B. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software* penganalisis sebuah sistem kelistrikan
3. *Software* pembuat diagram dan *flowchart*.

C. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Kelistrikan Kapal Isap Produksi

Sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi pada phasa R memliki beban *non linier* berupa lampu, printer, TV, Radio, AC, Komputer dan beberapa motor listrik. Phasa S memiliki bebana berupa kamera, kulkas, mesin cuci, kompresor dan pompa air tawar. Sedangkan phasa T memliki beban berupa amplifier TOA, blower, kipas angin dan *charger* aki. Diketahui bahwa phasa R memiliki beban non linier lebih banyak dibandingkan dengan phasa S dan phasa T sehingga memungkinkan phasa R memiliki kandungan harmonisa lebih besar dibandingkan dengan phasa yang lain nya.

3.2. Hasil Load Flow Analysis

Analisis yang dilakukan ini merupakan tahapan dari metode ke 5 mengenai *load flow analysis*. *Load Flow Analysis* dilakukan untuk mengetahui nilai aliran daya pada sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP). Dalam melakukan simulasi ini menggunakan *software* penganalisis sebuah sistem kelistrikan. Dari hasil simulasi dapat diketahui beberapa nilai yang berupa daya aktif sebesar 60 kW, daya reaktif sebesar 39 kVAR, daya semu sebesar 72 kVA, *power factor* sebesar 84% dan Arus yang mengalir pada jaringan sebesar 103,2 A. Dari data yang telah didapatkan dari hasil simulasi *load flow analysis* bisa digunakan untuk menghitung nilai standar harmonisa yang ada paada sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP) berupa nilai IL dan nilai ISC**.** Nilai *standard* harmonisa adalah 8% dikarenakan nilai perbandingan ISC dan IL , >20. Dikarenakan nilai harmonisa yang melebihi standar yang telah ditentukan maka perlu dilakukan perbaikan dengan cara menambahkan filter harmonic pada jaringan, maka dari itu tahapan selanjutnya adalah merancang filter harmonic yang akan digunakan untuk mengurangi harmonisa agar tidak melebihi standar yang telah ditentukan.

3.3. Merancang *Filter Harmonic Single Tuned*

Perancangan ini untuk menentukan spesifikasi *Filter harmonic* yang akan dipakai pada sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP). Dimana pada perancangan ini akan mencari nilai *Filter Harmonic Single Tuned* yang berbeda berdasarkan orde nya. Spesifikasi *Filter Harmonic Single Tuned* orde 3, orde 5 dan orde 7 adalah sebagai berikut:

Orde 3	**Orde 5**	**Orde 7**
$Qc = 19{,}2\ kVAR$	$Qc = 19{,}2\ kVAR$	$Qc = 19{,}2\ kVAR$
$Xc = 8{,}34\ \Omega$	$Xc = 8{,}34\ \Omega$	$Xc = 8{,}34\ \Omega$
$C = 381\ \mu F$	$C = 381\ \mu F$	$C = 381\ \mu F$
$XL = 1{,}026\ \Omega$	$XL = 0{,}37\ \Omega$	$XL = 0{,}188\ \Omega$
$L = 0{,}0032\ H$	$L = 0{,}0012\ H$	$L = 0{,}0005\ H$
$R = 0{,}00021\ \Omega$	$R = 0{,}00021\ \Omega$	$R = 0{,}00021\ \Omega$

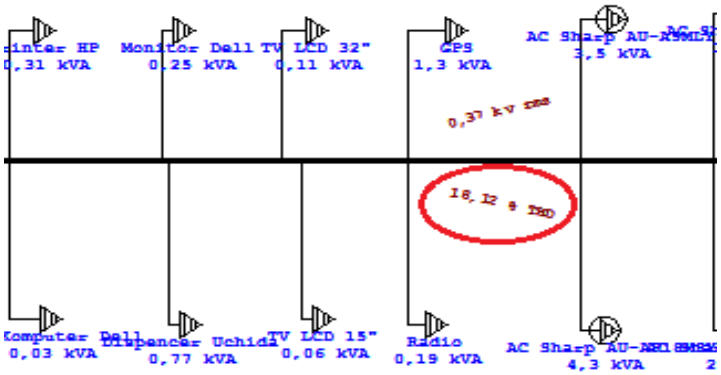
3.4. Simulasi Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic*

Simulasi yang dilakukan adalah simulasi *Harmonic Analysis* yang merupakan tahapan dari meotde 7 mengenai simulasi *harmonic analysis* yang bertujuan untuk mengetahui nilai *harmonic* yang terdapat pada sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP). Simulasi yang dilakukan kali ini bertujuan untuk membandingkan nilai *harmonic* sebelum dan sesudah dipasang dengan *Filter Harmonic Single Tuned* yang dilakukan per phasa dikarnakan nilai *harmonic* tiap phasa memiliki nilai yang berbeda. Kemudian dilakukan perbedaan gelombang arus yang terdapat pada sistem kelistrikan Kapal Isap Produksi (KIP).

1. Simulasi Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Phasa R

Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah
Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

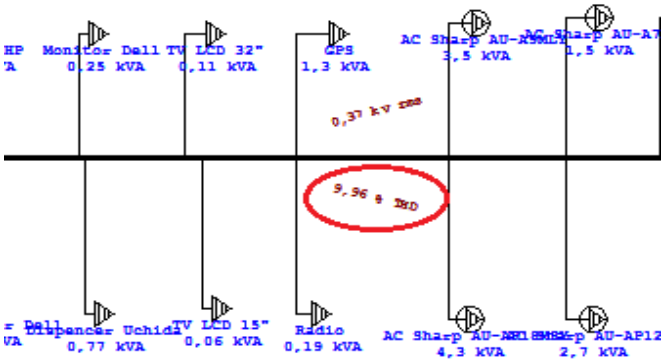
a. Sebelum Pemasangan Filter *Harmonic Single Tuned*



Gambar 2. Nilai THD Sebelum Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Phasa R

Nilai THD yang terdapat pada phasa R sebesar 18,32%. Berdasarkan *standard* THD yang telah ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai THD yang terdapat pada phasa R telah melebihi dari batas *standard* yang telah ditentukan yaitu sebesar 8% sehingga diperlukan perbaikan untuk mengurangi nilai harmonisa yang terdapat pada phasa R. Dengan cara melakukan pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* untuk mereduksi *harmonic* yang melebihi dari batas *standard* yang sudah ditentukan.

2. Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned*
   a. *Filter Harmonic Single Tuned Orde 3*

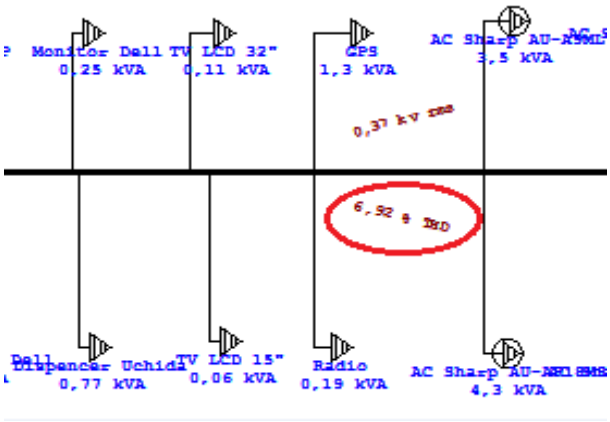


Gambar 3. Nilai THD Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 3 Phasa R

Nilai THD yang terdapat pada phasa R mengalami penurunan sebesar 8% setelah pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 3 sehingga menjadi 9,96%. Berdasarkan *standard* THD yang telah ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai THD yang terdapat pada phasa R masih melebihi dari batas *standard* yang telah ditentukan yaitu sebesar 8% sehingga bisa disimpulkan bahwa *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 3 belum bisa mereduksi harmonisa mencapai standar yang ditentukan.

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

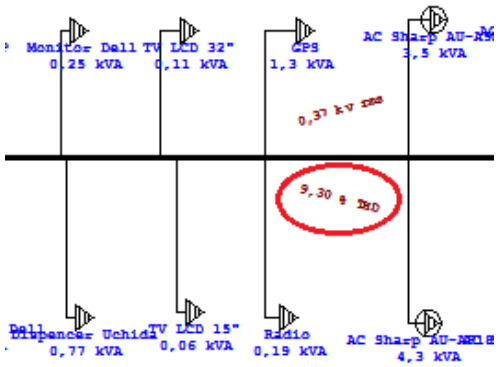
b. *Filter Harmonic Single Tuned Orde 5*



Gambar 4. Nilai THD Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 Phasa R

Nilai THD yang terdapat pada phasa R mengalami penurunan sebesar 11% setelah pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 sehingga menjadi 6,92%. Berdasarkan *standard* THD yang telah ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai THD yang terdapat pada phasa R telah sesuai dengan *standard* yang telah ditentukan yaitu sebesar 8% sehingga bisa disimpulkan bahwa *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 bisa mereduksi harmonisa mencapai standar yang ditentukan.

c. *Filter Harmonic Single Tuned Orde 7*



Gambar 5. Nilai THD Sesudah Pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 7 Phasa R

Nilai THD yang terdapat pada phasa R mengalami penurunan sebesar 9% setelah pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 7 sehingga menjadi 9,30%. Berdasarkan *standard* THD yang telah ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai THD yang terdapat pada phasa R masih melebihi dari batas *standard* yang telah ditentukan yaitu sebesar 8% sehingga bisa disimpulkan bahwa *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 7 belum bisa mereduksi harmonisa mencapai standar yang ditentukan.

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

3.5. **Perbandingan Hasil Simulasi *Filter Harmonic Single Tuned***

Dari simulasi yang telah dilakukan terhadap phasa R, S dan T yang dipasang dengan *Filter Harmonic Single Tuned* memiliki hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Hasil Simulasi *Filter Harmonic Single Tuned*

Filter Harmonic	**Phasa**	**Nilai Harmonisa (THDi)**		**IEEE Std 519-1992**	**Kesimpulan**
		Sebelum	**Sesudah**		
Filter Harmonic Orde 3	R	18,32%	9,96%	8,00%	Tidak sesusai standar
	S	8,18%	6,70%		Sesuai Standar
	T	7,42%	6,48%		Sesuai Standar
Filter Harmonic Orde 5	R	18,32%	6,92%	8,00%	Sesuai Standar
	S	8,18%	4,32%		Sesuai Standar
	T	7,42%	4,39%		Sesuai Standar
Filter Harmonic Orde 7	R	18,32%	9,30%	8,00%	Tidak sesusai standar
	S	8,18%	4,43%		Sesuai Standar
	T	7,42%	4,59%		Sesuai Standar

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 3 bisa mereduksi dan menurunkan harmonisa hingga ke batas standar nya pada phasa S dan T saja sedangkan untuk phasa R masih belum sesuai dengan standar yang ada. *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 bisa mereduksi dan menurunkan harmonisa hingga ke batas standar nya pada phasa R, S dan T sehingga *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan. *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 7 bisa mereduksi dan menurunkan harmonisa hingga ke batas standar nya pada phasa S dan T saja sedangkan untuk phasa R masih belum sesuai dengan standar yang ada.Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka dapat ditentukan bahwa *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 sebaiknya dipakai untuk mereduksi harmonisa dikarenakan dengan pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 dapat mereduksi nilai harmonisa yang terdapat pada setiap phasa menjadi sesuai dengan standar yang telah ditentukan yaitu 8%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Berdasarkan hasil *Load Flow Analysis* dapat diketahui beberapa nilai yang berupa daya aktif sebesar 60 kW, daya reaktif sebesar 39 kVAR, daya semu sebesar 72 kVA, *power factor* sebesar 84% dan Arus yang mengalir pada jaringan sebesar 103,2 A. Didapatkan nilai dari Isc = 2886,83 A dan nilai IL = 103,1 A, dan standar harmonisa yang didapatkan 8% dikarenakan nilai perbandingan Isc dan IL, >20.
2. Berdasarkan hasil perhitungan *Filter Harmonic Single Tuned* nilai kapasitansi kapasitor sesuai kebutuhan kompensasi faktor daya Qc =19,2 kVAR, nilai kapasitor C $= 381$ μF. Nilai Induktor pada orde 3 dengan nilai h = 2,85 dan L $= 0{,}0032$ H. Nilai Induktor pada orde 5 dengan nilai h = 4,75 dan L = 0,0012 H. Nilai Induktor pada orde 7 dengan nilai h = 6,65 dan L = 0,0005 H.
3. Berdasarkan hasil simulasi *harmonic analysis* diketahui bahwa nilai THDi sebelum melakukan pemasangan *filter harmonic* yaitu phasa R sebesar 18,32% , phasa S sebesar

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

8,18% dan phasa T sebesar 7,42%. Berdasarkan hasil simulasi *harmonic analysis* dengan melakukan pemasangan *filter harmonic* pada sistem kelistrikan. Pada saat pemasangan *filter harmonic* orde 3 nilai harmonisa pada phasa R sebesar 9,96%, phasa S sebesar 6,70% dan phasa T sebesar 6,48%. Pada saat pemasangan *filter harmonic* orde 5 nilai harmonisa pada phasa R sebesar 6,92%, phasa S sebesar 4,32% dan phasa T sebesar 4,39%. Pada saat pemasangan *filter harmonic* orde 7 nilai harmonisa pada phasa R sebesar 9,30%, phasa S sebesar 4,43% dan phasa T sebesar 4,59%.

4. Berdasarkan hasil dari simulasi sebelum dan sesudah pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Phasa R, S, dan T pada orde 3, 5, dan 7 didapatkan nilai THD yang memenuhi standar harmonisa 8% adalah *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 sebaiknya dipakai untuk mereduksi harmonisa yang terdapat pada Kapal Isap Produksi (KIP) dikarenakan dengan pemasangan *Filter Harmonic Single Tuned* Orde 5 dapat mereduksi nilai harmonisa yang terdapat pada setiap phasa.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alfama, Novix Jefri. 2013. Analisis Harmonik Dan Perancangan Single Tuned Filter Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 18 Bus Dengan Menggunakan Software Etap Power Station 4.0. Engineering Division, PT. Wijaya Karya Rekayasa Konstruksi

[2] Arrillaga, J., & Watson, N. R. 2003. Power System Harmonic. In John Wiley & Sons, Ltd

[3] Bagian Konversi Energi, 2019. Laporan Tahunan Kapal Isap Produksi (KIP) dan Kapal Keruk (KK) PT. Timah Tbk. Pangkal Pinang

[4] Cheng, J. (2014). 519-1992 Vs 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

[5] Divisi Keteknikan PT Timah Tbk 2019. Data Pengukuran Harmonisa KIP 19

[6] Divisi Keteknikan PT Timah Tbk 2019. Spesifikasi KIP 19

[7] Dugan, C. R., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W. (2002). Electrical Power Systems Quality (2nd ed.). The McGraw-Hill.

[8] Hanafi, Ramadhani. 2015. Analisis Pemasangan dan Pemanfaatan Filter Pasif Sebagai Peredam Harmonisa Menggunakan Software ETAP Di PT Karyadibya Mahardhika. Program Studi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang.

[9] IEEE. (1992). 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. In IEEE std 519-1992.

[10] IEEE, S. A. (1995). IEEE Std 1159-1995. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.IEEE Press.

[11] IEEE, S. A. (2014). 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE Press.

[12] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 1993. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. Intitute of Electrical and Electronics Engineers Standart 519-1992. NY 10017-2394. USA.

[13] Mustari, dkk. 2018. Analisa Perancangan Filter Pasif Untuk Meredam Harmonisa Dan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban Area Welding. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Islam 45 Bekasi.

[14] Prasetijo, Hari. 2012. Analisa Perancangan Filter Pasif Untuk Meredam Harmonisa Pada Instalasi Beban Nonlinear. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman.

Vol. 14, No. 2, Juli - Desember 2022, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042
https://doi.org/10.33322/energi.v14i2.1589

[15] Robby, dkk. 2015. Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Derating Pada Transformator Distribusi Di Fakultas Teknik Universitas Riau. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau.

[16] Sartika dan Oktaviani. 2015. Penanganan Harmonisa Terhadap Peningkatan Kualitas Daya Listrik Berbasis Software ETAP (Studi Kasus: Pabrik Semen Tonasa V). Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

[17] SPLN. (2012). D5.004-1: 2012. SPLN Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker dan Ketidakseimbangan Tegangan).

[18] Suryadi, Aris. 2016. Studi Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjinering Indorama. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Politeknik Enjinering Indorama Purwakarta.

[19] Stevenson, William D. 1983. Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. Bandung: Erlangga.

[20] Widhiatmaka, dkk. 2012. Pengujian Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi (LHE) Menurut Standar IEC 61000-3-2 Kelas C, IEEE 512-1992 Dan Power Factor PLN (Studi Kasus Untuk LHE 5 Watt). Puslitbangtek Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.

[21] Wirajaya, dkk. 2019. Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator Pada Penyulang Kerobokan. Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana.

[22] Zuhal, 1990. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. PT Gramedia: Jakarta.