

ANALISIS DISTORSI HARMONISA DAN PERENCANAAN FILTER HARMONISA AKIBAT INSTALASI ELECTROLYZER

Ersalina Werda Mukti

Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
E-mail: ersalinawm@gmail.com

Abstract

The installation of three units Electrolyzer added in the electrical system of PT Wilmar Gresik caused a failure in the installation of three winding rectifier transformer. The initial hypothesis of the problem was due to high harmonic level which causes current and voltage waveform are largely distorted. The high current and voltage harmonics should be filtered so that the existing harmonics are kept within the standard range so that the electrical system can be operated normally. This paper examined the method of harmonic reduction in the electrical system of PT Wilmar Gresik by combining single tuned filter and high pass damped filter which are classified as passive filter. The harmonic analysis has been done by using the IEEE standard 519-1992 while the system is modeled by using ETAP software. The harmonic reduction is limited to the filter installed at the medium voltage level 10.5 kV, the electrical system is in a steady state condition, and loads are operated. The simulation result shows that the installation of harmonic filter has effectively reduced the harmonic voltage level by 6.6% at bus PLN SS-B and 6.71% at bus PLN SS-C as well as increased power factor to be 95.2% shown at bus PLN SS-B and bus PLN SS-C from 89.8% and 84% respectively.

Keywords: *harmonic reduction, single tuned passive filter, high pass damped filter, ETAP 7.0*

PENDAHULUAN

Upaya mengurangi distorsi harmonisa telah menyita perhatian sejak lama yang disebabkan oleh beban non linier antara lain peralatan elektronika daya dan peralatan yang mudah tersaturasi medan magnetnya. Harmonisa pada transformator umumnya disebabkan oleh ketidaklinearan dari rangkaian inti besi (Nelson 2004). Harmonisa mengakibatkan peningkatan panas dan rugi-rugi energi pada transformator (Utomo and Putri 2021) sehingga mengalami penurunan efisiensi, umur pakai, malfungsi, dan bahkan kerusakan (Nicolae and Nicolae 2011).

Metode yang banyak dipilih untuk kompensasi harmonisa adalah dengan menggunakan filter (Nassif and Xu 2007) diantaranya filter aktif, hibrida, dan pasif (Fujita and Akagi 1991). Filter pasif menunjukkan kehandalan performa (Utomo and Rafita 2021), efisien dari segi biaya (Yang and Le 2015), dan mudah dalam perawatan sehingga banyak dipilih untuk mitigasi harmonisa (Rahmadani, Atmam, Zondra 2019).

Selain mengurangi harmonisa, filter pasif juga berfungsi sebagai kompensator daya reaktif (Nassif and Xu 2007).

Penambahan tiga unit beban *Electrolyzer* di sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik mengalami kegagalan instalasi yang diduga diakibatkan oleh tingginya distorsi harmonisa arus dan tegangan. Upaya mengatasi kegagalan tersebut dilakukan dengan mengimplementasikan *Single Tuned Filter* (STF) dan *High Pass Damped Filter* (HPF). Makalah ini membahas pengurangan harmonisa di sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik dengan menggunakan STF dan HPF yang disimulasikan menggunakan *software* ETAP.

METODE PENELITIAN

Beban Eksisting PT Wilmar Gresik

Pada kondisi eksisting sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik, transformator penyearah tiga belitan pada beban *Electrolyzer* terdiri dari satu unit transformator tiga belitan 3000/1500/1500 kVA $\Delta/Y/Y$ *solid grounding* dan penyearah enam pulsa. Penyearah ini terdiri dari dua penyearah tiga pulsa terhubung Y/Y. Transformator penyearah tiga belitan ini menggunakan DC Rectifier manufaktur Zhuzhou Kori Convertors Co.Ltd China. Untuk mengkompensasi daya reaktif, kapasitor bank dipasang dengan metode kompensasi individual di sisi tegangan rendah 0,4 kV pada beban *Fractionation, Refinery, Soap Beading, FA/GLY & HYDRO*, dan *NPK Plant*. Tabel 1 menunjukkan karakteristik transformator penyearah tiga belitan.

Tabel 1
Karakteristik impedansi transformator tiga belitan.

Belitan Trafo	Impedansi Urutan Positif		Impedansi Urutan Nol	
	%Z	X/R	%Z	X/R
Primer-Sekunder	5,77	0,77	5,77	0,77
Primer-Tersier	5,77	0,77	5,77	0,77
Sekunder-Tersier	5,77	0,77	5,77	0,77

Pemodelan Beban *Electrolyzer* dan Harmonisa

Analisis harmonisa sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik diawali dengan simulasi aliran daya sistem pada kondisi eksisting menggunakan *software* ETAP 7.0. Pemodelan dilakukan dengan menggambar *single line diagram* (SLD) sistem, memasukkan variabel simulasi aliran daya yang didapatkan data lapangan menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer Fluke 43B*. Data diambil saat beban dalam kondisi beban penuh yaitu

semua beban beroperasi dan dalam keadaan tunak. Data yang dijadikan acuan dalam pemodelan aliran daya adalah faktor daya rata-rata tiap bus tegangan 10,5 kV.

Di *software* ETAP, harmonisa pada beban *Electrolyzer* dimodelkan pada unit *charger* dan transformator tiga belitan. Sumber harmonisa *DC Charger* dipilih *current source harmonic* manufaktur oleh ABB dengan model DCS500 6P sedangkan transformator tiga belitan dipilih *current source harmonic* manufaktur oleh *Typical IEEE* dengan model *6 Pulse 1*. Beban *Electrolyzer* membangkitkan harmonisa dominan orde 5 yang memenuhi persamaan $h=kp\pm 1$ dimana $h=(1\times 6)-1=5$.

Pemodelan harmonisa menggunakan standar IEC frekuensi 50 Hz. Data yang diperlukan untuk pemodelan adalah data pengukuran harmonisa tegangan (THD_V) bus tegangan 10,5 kV. Karakteristik beban antara lain terdapat motor induksi yang dikontrol menggunakan VFD dan *charger* yang beroperasi pada sistem DC. Sisanya berupa beban *lump* dengan tipe beban yaitu 80% beban motor dan 20% beban statis.

Desain Filter Pasif

Persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya didefinisikan sebagai *Total Harmonic Distortion* (THD) di persamaan (1):

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^k U_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{U_1} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana U_n adalah komponen harmonisa, U_1 adalah komponen fundamental, k adalah komponen harmonisa maksimum yang diamati. Standar IEEE 519-1992 digunakan untuk menentukan tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus (IEEE 1992). Penalaan frekuensi STF dan besarnya nilai resistor R, induktor L, dan kapasitor C untuk STF dan HPF ditunjukkan dalam persamaan (2) hingga (5).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$C = \frac{kVAR}{2\pi f (V_c)^2} \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f_h)^2} \quad (4)$$

$$R = \frac{(n \cdot X_L)}{Q} \quad (5)$$

Dimana f adalah frekuensi penalaan tunggal, kVAR adalah daya reaktif yang diperlukan untuk kompensasi faktor daya, V_c adalah tegangan bus line to line dipasangnya kapasitor, f_h adalah frekuensi penalaan harmonisa, X_L adalah induktansi, dan n adalah orde harmonisa.

Pada STF, frekuensi penalaan tidak dipilih tepat pada frekuensi harmonisa yang hendak ditala, tetapi dipilih frekuensi yang lebih rendah untuk mencegah resonansi. Faktor kualitas redaman (Q) menentukan ketajaman peredaman pada derajat lebar pita frekuensi peredaman dimana rentang antara 30 hingga 60 untuk STF dan antara 0,5 hingga 5 untuk HPF (Arrillaga and Watson 2003). Kriteria utama dalam perencanaan filter adalah ketepatan pemilihan kapasitas kapasitor yang juga berfungsi untuk kompensasi faktor daya (Yousif, Wanik, and Mohamed 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

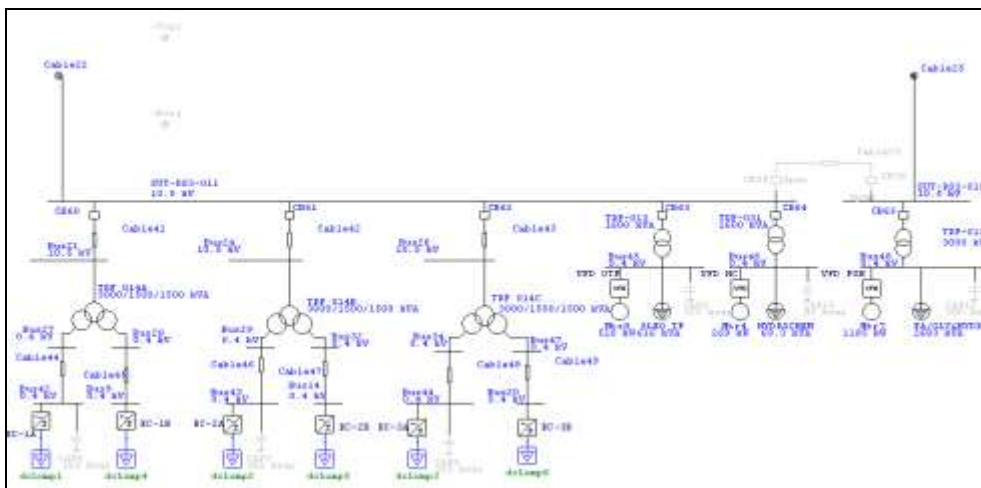
Aliran Daya Eksisting Sistem Kelistrikan PT Wilmar Gresik

Dari hasil simulasi aliran daya sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik, faktor daya sistem di sisi generator sebelum lima unit kapasitor bank dipasang tercatat 78,13%. Sebanyak sebelas bus beban faktor dayanya di bawah 85%. Hal ini disebabkan karakteristik sistem yang didominasi beban-beban induktif seperti motor listrik dan transformator. Pada kondisi eksisting setelah pemasangan lima unit kapasitor bank, faktor daya sistem di sisi generator diperoleh 79,5% sedangkan bus beban dengan faktor daya di bawah 85% turun menjadi sembilan bus beban. Faktor daya bus beban SUT-RS4-015 tercatat 73,1% yang disebabkan beban *NPK Plant* memiliki faktor daya buruk yaitu 69,6%.

Kapasitor bank yang terpasang dinilai kurang efektif dalam memperbaiki kualitas daya di sistem kelistrikan PT Wilmar Gresik. Keberadaan kapasitor memberikan kontribusi terhadap harmonisa berupa terjadinya resonansi paralel pada bus PLN SS-B dan PLN SS-C yang menyebabkan impedansi yang tinggi pada frekuensi harmonisa tertentu. Hal ini menyebabkan tegangan menjadi sangat tinggi hanya dengan masukan arus yang rendah pada bus.

Harmonisa Tegangan Sistem pada Kondisi Eksisting

Harmonisa tegangan (THD_v) bus beban level tegangan 10,5 kV seluruhnya melewati batas 5% dari standar IEEE 519-1992. Bus SUT-RS3-011 memiliki THD_v paling tinggi yaitu 9,19% dan merupakan bus dimana ketiga unit beban *Electrolyzer* dihubungkan ke sistem. Gambar 1 menunjukkan pemodelan beban *Electrolyzer* pada *software* ETAP.



Gambar 1. Pemodelan instalasi tiga unit beban *Electrolyzer* pada *software* ETAP.

Harmonisa Arus Sistem pada Kondisi Eksisting

Terdapat sebelas beban dimana tingkat distorsi harmonisa arus yang melebihi standar. Beban *NPK Plant* memiliki distorsi harmonisa arus yang paling tinggi sebesar 45,19% disebabkan oleh resonansi paralel akibat adanya kapasitor bank sebesar 300 kVAR. Tingginya distorsi harmonisa arus pada beban *Hydrochem* disebabkan oleh operasi *underload* dibandingkan beban *Oleo TF* pada bus SUT-RS3-011 sehingga arus harmonisa yang tinggi mengalir menuju impedansi *Hydrochem* yang kecil.

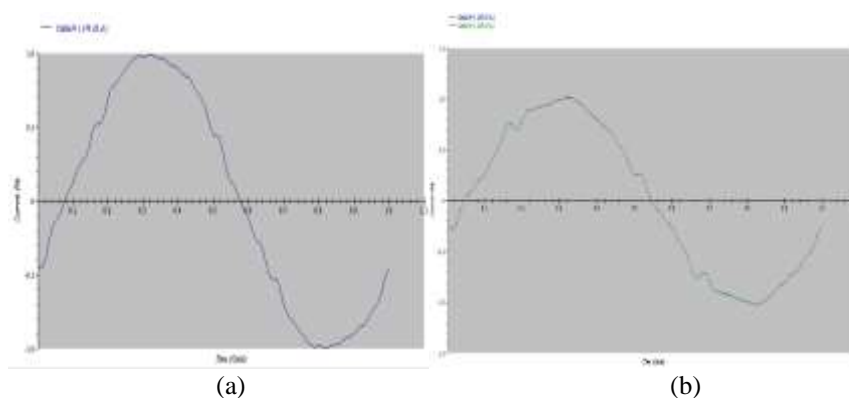
Harmonisa pada Beban *Electrolyzer*

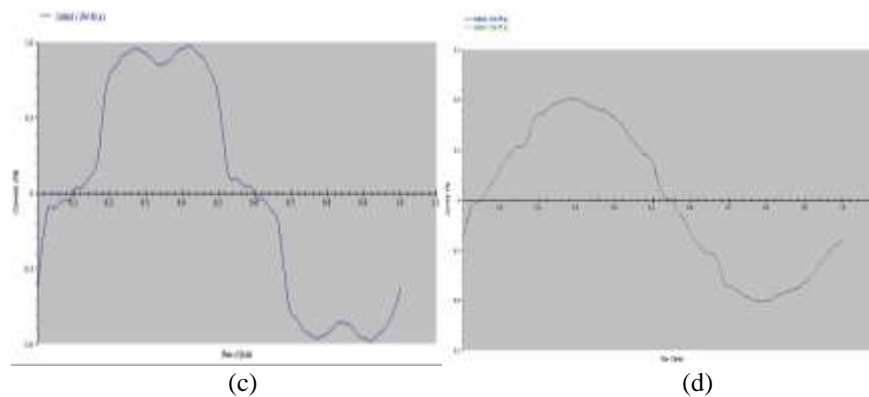
Tiga unit beban *Electrolyzer* terletak di bus SUT-RS3-011 bersama dengan beban *Oleo TF* dan *Hydrochem*. Dari hasil simulasi diketahui bahwa harmonisa arus dan tegangan yang timbul pada beban *Electrolyzer* dan bus SUT-RS3-011 sangat tinggi yaitu berkisar 30% dan 9,19%. Dilihat dari komponen penyusun beban *Electrolyzer*, selama proses komutasi, sejumlah harmonisa dibangkitkan dan sejumlah daya reaktif diperlukan untuk beban *DC Lump* yang merupakan beban non linier (Pomilio and Deckmann 2007). Arus harmonisa dan arus reaktif yang dibangkitkan oleh penyearah

akan mengalir dari sisi sekunder ke sisi primer transformator penyearah sehingga mempengaruhi tingkat harmonisa keseluruhan sistem. Harmonisa arus menyebabkan rugi-rugi arus *Eddy*, rugi-rugi tembaga, dan rugi-rugi fluks liar sedangkan harmonisa tegangan menyebabkan frekuensi yang lebih tinggi terinduksi pada inti besi (Li et al. 2010). Hal ini berdampak pada peningkatan panas yang melewati batas isolasi dan kapasitas peralatan listrik yang bersifat merusak (Arrillaga and Watson 2003). Orde harmonisa arus pada beban *Electrolyzer* dominan pada orde ke 5, 7, dan 11.

Aliran Daya dan Perbandingan Harmonisa setelah Pemasangan *Filter* Harmonisa

Hasil analisis harmonisa pada kondisi tanpa kompensasi daya reaktif menjadi landasan dalam mendesain filter. Tabel 2 menunjukkan jenis dan nilai komponen *filter* harmonisa yang telah didesain dan dihitung. STF orde 5 dan *HPF* dipasang pada bus PLN SS-B sedangkan STF orde 5, 7, dan *HPF* dipasang pada bus PLN SS-C. Unjuk kerja terbaik *filter* pasif dapat dicapai pada implementasi *filter* di bus tegangan menengah di atas 10 kV (Nassif and Xu 2007). Dari hasil simulasi aliran daya diperoleh kenaikan faktor daya pembangkit STG 1 dari 79,5 % menjadi 90,6 %. Faktor daya bus PLN SS-B ditingkatkan dari 89,8% menjadi 95,2% dan PLN SS-C ditingkatkan dari 84% menjadi 95,2%. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan *filter* harmonisa dapat memperbaiki faktor daya sistem. Tingkat harmonisa tegangan bus PLN SS-B dan PLN SS-C masih berada dalam standar yaitu 2,17% dan 2,27%. Efektivitas pengurangan harmonisa menggunakan *filter* dapat diamati dari perbandingan bentuk gelombang arus system sebelum dan sesudah penambahan filter seperti ditunjukkan pada Gambar 2.





Gambar 2. Bentuk gelombang arus existing bus PLN SS-B (a), setelah pemasangan filter bus PLN SS-B (b), existing bus PLN SS-C (c), dan setelah pemasangan filter bus PLN SS-C (d).

Harmonisa arus pada tujuh unit beban mengalami kenaikan dimana hal ini dapat terjadi pada metode peredaman grup di *level* tegangan menengah sehingga distorsi harmonisa arus pada beban *Electrolyzer* masih tetap tinggi. Namun, desain *filter* ini berhasil mengamankan sistem dari harmonisa tegangan yaitu *level* THD_v dalam batas aman standar IEEE 519-1992 dan peralatan dapat bekerja sesuai dengan *rating* tegangannya. Tingginya distorsi harmonisa arus pada beban *Electrolyzer* dikarenakan konfigurasi belitan transformator $\Delta/Y/Y$. Harmonisa yang lebih kecil dapat diperoleh dari konfigurasi belitan $\Delta/Y/\Delta$ dimana harmonisa kelipatan tiga dapat difilter oleh transformator dengan konfigurasi belitan Δ/Y (Chicco, Postolache, and Toader 2011)

Tabel 2
Jenis dan nilai komponen *filter* harmonisa

Bus	Jenis <i>Filter</i>	kVAR (3 fasa)	Q factor	Komponen <i>Filter</i> (3 fasa)		
				C (μ F)	L (μ H)	R (Ω)
PLN SS-B	STF 5 th order	365	30	10,54	0,039	0,413
	HPF 11 th order	850	15	24,58	0,005	23,994
PLN SS-C	STF 5 th order	1950	45	56,33	0,007	0,0515
	HPF 11 th order	1050	20	30,34	0,004	25,919

SIMPULAN

Resonansi frekuensi dan tingginya THD arus dan tegangan menyebabkan kegagalan penambahan tiga unit beban *Electrolyzer* berupa terbakarnya transformator penyearah tiga belitan. Melalui pemasangan STF orde 5 dan HPF pada bus PLN SS-B serta STF orde 5, 7, dan HPF pada bus PLN SS-C, permasalahan distorsi harmonisa sistem

kelistrikan PT Wilmar Gresik berhasil diselesaikan. Harmonisa tegangan pada bus PLN SS-B dan bus PLN SS-C masing-masing berkurang dari 8,77% menjadi 2,17% dan dari 8,98% menjadi 2,27%. Harmonisa arus beban *Electrolyzer* dimungkinkan untuk dikurangi dengan mengubah konfigurasi belitan transformator beban *Electrolyzer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrillaga, Jos;, and N. R. Watson. (2nd eds.) (2003). *Power System Harmonics*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Chicco, G., Petru, P., & Cornel, T. (2011). Triplen Harmonics: Myths and Reality. *Electric Power Systems Research*. 81 (7): 1541–1549.
- Fujita, H., & Akagi, H. (1991). A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-Series Connection of Passive and Active Filters. *Industry Applications, IEEE Transaction*.
- IEEE, S M. (1992). *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. IEEE Recommended Practices.
- Nassif, A B, & Wilsun, X. (2007). Passive Harmonic Filters for Medium-Voltage Industrial Systems: Practical Considerations and Topology Analysis. *39th North American Power Symposium, (NAPS)*.
- Nelson, J, P. (2004). A Better Understanding of Harmonic Distortion in the Petrochemical Industry. *IEEE Transactions on Industry Applications*.
- Nicolae, P, M., and Nicolae, I, D. (2011). The Impact of Currents Harmonics over the Voltage Transformers from a Power Group. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*.
- Pomilio, J, A., and Deckmann, S, M. (2007). Characterization and Compensation of Harmonics and Reactive Power of Residential and Commercial Loads. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
- Rahmadani, R., Atmam, A., & Zondra, E. (2019). Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Harmonisa Pada Transformator Rectifier Di PT Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. *Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri, (SainETIn)*.
- Utomo, H B, Rafita, M. (2021). Perancangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Kandungan Arus Harmonisa Pada Transformator Daya Berbasis SIMULINK. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar, (IRWNS)*.
- Utomo, H B, Putri, E B. (2021). Perhitungan Rugi-Rugi Pada Transformator Akibat Harmonisa dan Perancangan Filter Pasif Menggunakan MATLAB. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar, (IRWNS)*.
- Yang, N,-C., & Minh, D, L. (2015). Optimal Design of Passive Power Filters Based on Multi-Objective Bat Algorithm and Pareto Front. *Applied Soft Computing* 35 (October): 257–266.
- Yousif, S.N.A.L., Wanik, M, Z, C., & Mohamed, A. (2004). Implementation of Different Passive Filter Designs for Harmonic Mitigation. *Power and Energy Conference, (PECon)*.