

PENENTUAN PERALATAN UNTUK MEREDAM HARMONISA BERDASAKAN JENIS SUMBER HARMONISA, ORDE DAN MAGNITUDE HARMONISA DENGAN MEMPERHITUNGKAN BIAYA INVESTASI

Rahmat Septian Wijanarko¹, Ontoseno Penangsang²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Gedung B, C & AJ Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Email: rahmatseptianid@gmail.com

Abstrak

Dalam proses industri, hampir selalu terdapat peralatan elektronika daya seperti Variable Speed Drive (VSD) dan Uninterruptible Power Supply (UPS). Dalam penggunaan VSD dan UPS sebagai komponen non-linear terdapat permasalahan yang ditimbulkan yaitu munculnya masalah kualitas daya berupa harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Peralatan yang umum digunakan untuk meredam harmonisa antara lain phase shifting transformer, filter harmonisa (aktif dan pasif) dan reaktor. Peralatan-peralatan tersebut memiliki biaya investasi dan tingkat efektivitas peredaman harmonisa yang berbeda-beda. Oleh karena itu, studi penentuan peralatan peredam harmonisa diperlukan untuk mengatasi permasalahan harmonisa dengan meminimalkan biaya investasi. Pada penelitian ini, software yang digunakan untuk proses simulasi adalah ETAP 7.0 dengan plantdi PT. Wilmar Nabati. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa melalui proses penentuan peralatan yang tepat, penggunaan phase shifting transformer dapat mengurangi pemasangan filter harmonisa sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp Rp 664.104.000,00.

Kata kunci: Penentuan Peralatan, Biaya Investasi, Harmonisa, PT. Wilmar Nabati

Pendahuluan

Latar belakang

PT. Wilmar Nabati Indonesia merupakan bagian dari perusahaan Wilmar Group yang berlokasi di Indonesia, tepatnya di Gresik, Jawa Timur. Perusahaan ini bergerak di bidang industri minyak nabati, oleo chemical, bio energy dan produk sampingan lain sebagai contohnya pupuk. Dalam pengoperasian unit bisnisnya, PT. Wilmar Nabati menggunakan berbagai macam peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive* (VSD), *uninterruptible power supply* (UPS), komputer dan lampu fluorescent. Peralatan-peralatan elektronika daya tersebut memiliki karakteristik beban non-linier yang dapat menimbulkan permasalahan kualitas daya (power quality) yaitu berupa munculnya gangguan harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Gangguan harmonisa dapat menyebabkan kesalahan operasi dan penurunan umur peralatan misalnya pada motor, kabel dan trafo.

Beberapa peralatan di industri yang umumnya digunakan untuk meredam gangguan harmonisa antara lain phase shifting transformer, filter harmonisa (aktif, pasif dan hybrid) dan reaktor. Peralatan-peralatan tersebut memiliki karakteristik, biaya investasi dan tingkat efektifitas peredaman harmonisa yang berbeda-beda. Oleh karena itu, studi penentuan peralatan peredam harmonisa diperlukan untuk mengatasi permasalahan harmonisa di PT. Wilmar Nabati dengan meminimalkan biaya investasi.

Data harmonisa yang digunakan untuk proses analisis dan simulasi pada studi ini adalah data pengukuran langsung yang diambil di panel-panel yang ada di PT. Wilmar Nabati Gresik dengan menggunakan fluke power analyzer 435. Selanjutnya dari data harmonisa, data single line diagram dan data peralatan (data generator, trafo dan data beban) selanjutnya akan disimulasikan menggunakan software ETAP 7.0.

Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini dijabarkan dalam 4 poin berikut:

1. Bagaimana mensimulasikan dan menganalisis kondisi eksisting sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati?
2. Bagaimana mensimulasikan dan menganalisis gangguan harmonisa berdasarkan data pengukuran langsung?
3. Bagaimanakah cara menentukan lokasi pemasangan peralatan *phase shifting transformer*, filter harmonisa dan reaktor untuk meredam gangguan harmonisa?
4. Bagaimanakah cara menentukan peralatan peredam harmonisa yang tepat sehingga dapat meminimalisir biaya investasi?

Tujuan penelitian

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Memodelkan, menganalisis dan mensimulasikan sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati, Gresik menggunakan software ETAP 7.0.
2. Memberikan saran untuk penentuan peralatan yang tepat sebagai peredam gangguan harmonisa sehingga dapat meminimalisir biaya investasi.
3. Mengetahui letak penempatan peralatan peredam gangguan harmonisa yang sesuai di sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati, Gresik.
4. Mendapat perhitungan yang tepat untuk merancang peralatan peredam gangguan harmonisa yang sesuai di sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati, Gresik.

Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tahapan sebagai berikut :

1. Pengumpulan data
Data permodelan sistem berupa data *single line diagram*, data peralatan dan *library* harmonisa didapatkan dari hasil pengukuran langsung di PT. Wilmar Nabati, Gresik dengan menggunakan peralatan ukur FLUKE – 435.
2. Pemodelan dan simulasi
Pemodelan sistem kelistrikan PT. Wilmar Nabati dilakukan dalam bentuk simulasi menggunakan ETAP 7.0. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi aliran daya dan harmonisa (*harmonic load flow*).
3. Analisis
Hasil simulasi aliran daya digunakan untuk analisis awal kondisi sistem kelistrikan pada beban *peak* dan *normal*. Kemudian, simulasi harmonisa digunakan untuk melihat besar gangguan harmonisa pada semua bus.

Dasar Teori Harmonisa

Definisi harmonisa dapat dijelaskan sebagai gelombang terdistorsi secara periodik pada keadaan steady-state yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinus sistem pada frekuensi fundamental dengan komponen gelombang lain yang merupakan frekuensi kelipatan integer dari frekuensi fundamental sumber. Untuk sistem tenaga dengan frekuensi 50 Hz, maka harmonisa pertama atau frekuensi fundamental dari sistem tenaga tersebut adalah 50 Hz, harmonisa kedua (100 Hz) merupakan kelipatan kedua dari harmonisa pertama, harmonisa ketiga (150 Hz) merupakan kelipatan ketiga dari harmonisa pertama, maka harmonisa ke-n merupakan kelipatan n dari frekuensi fundamental. Perubahan bentuk dari gelombang arus dan tegangan yang disebabkan harmonisa akan mengganggu sistem distribusi listrik dan menurunkan kualitas daya sistem.

Total harmonic distortion

Untuk mengetahui besarnya pengaruh harmonisa pada sistem tenaga listrik digunakan istilah *Total Harmonic Distortion* (THD) yang didefinisikan sebagai sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus). THD dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \text{ dan } THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \tag{1}$$

Dimana : THD_V dan THD_I adalah THD tegangan dan THD arus

V_h dan I_h adalah tegangan dan arus harmonisa

V_1 dan I_1 adalah tegangan dan arus fundamental

Standar harmonisa IEEE 519-1992

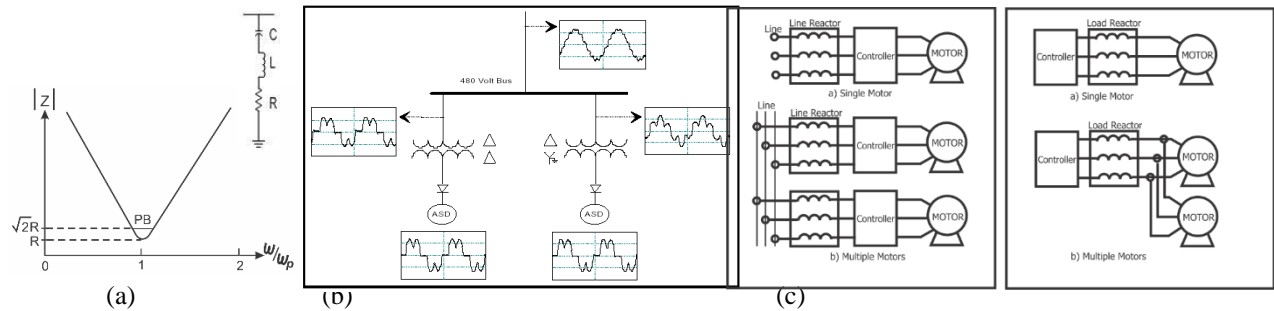
Besarnya THD maksimum yang diijinkan untuk tiap negara berbeda tergantung standar yang digunakan. Standar untuk THD yang paling sering dipakai dalam sistem tenaga listrik adalah standar dari IEEE 519-1992.

Tabel 1 Limit distorsi tegangan berdasarkan IEEE 519-1992

Tegangan Bus Pada PCC	Distorsi Tegangan Individual (%)	THD (%)
69 kV dan ke bawah	3,0	5,0
69,001 kV sampai 161 kV	1,5	2,5
161,001 kV dan ke atas	1,0	1,5

Tabel 2 Limit distorsi harmonisa arus untuk sistem distribusiberdasarkan IEEE Std 519-1992

Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam % terhadap I_1						
I_{sc}/I_1	Orde Harmonisa Individual					TDD
	<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤35	35≤h	
< 20*	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20 – 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 – 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100 – 1000	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20



Gambar 1 (a) Rangkaian Filter *Single-Tuned* dan Grafik Impedansi Filter Terhadap Frekuensi
 (b) Gambar Skematik *Phase Shifting Transformer*
 (c) Gambar Pemasangan *Line* dan *Load Reactor*

Filter harmonisa pasif single-tuned

Filter harmonisa pasif digunakan untuk mereduksi harmonisa orde frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Prinsip kerja utama dari filter harmonisa pasif adalah resonansi (gambar 1a), yaitu menurunkan impedansi sekecil mungkin pada frekuensi yang ditala. Pada filter harmonisa pasif jenis *single-tuned*, hanya ada satu orde yang ditala. Dengan penambahan filter harmonisa pada sistem tenaga listrik yang mengandung harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu, pemasangan filter harmonisa pasif juga dapat mengkompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya. Berikut persamaan impedansi filter *single-tuned*

$$Z(\omega) = R + j(\omega L - 1/\omega C) \tag{2}$$

Phase shifting transformer

Phase shifting transformer atau trafo penggeser fasa dapat digunakan untuk mereduksi harmonisa. Prinsip kerjanya adalah dengan mensuper-posisi komponen-komponen harmonisa arus yang signifikan dari dua cabang beban sistem sehingga saling meniadakan. Gambar 1b adalah gambar skematik trafo penggeser fasa, dimana terlihat satu trafo menggunakan belitan delta-delta dan trafo yang lain menggunakan belitan delta-wye.

Reaktor

Reaktor adalah sebuah peralatan induktor yang dipasang secara seri pada saluran. Reaktor dirancang untuk mengurangi arus yang mengalir pada saluran terutama saat terjadi hubung singkat. Dalam beberapa kasus (pada gambar 1c), penggunaan reaktor juga dapat mengurangi harmonisa, contohnya saat dipasang antara motor dan VSD (dinamakan *load reactor*) atau antara VSD ke bus trafo (dinamakan *line reactor*).

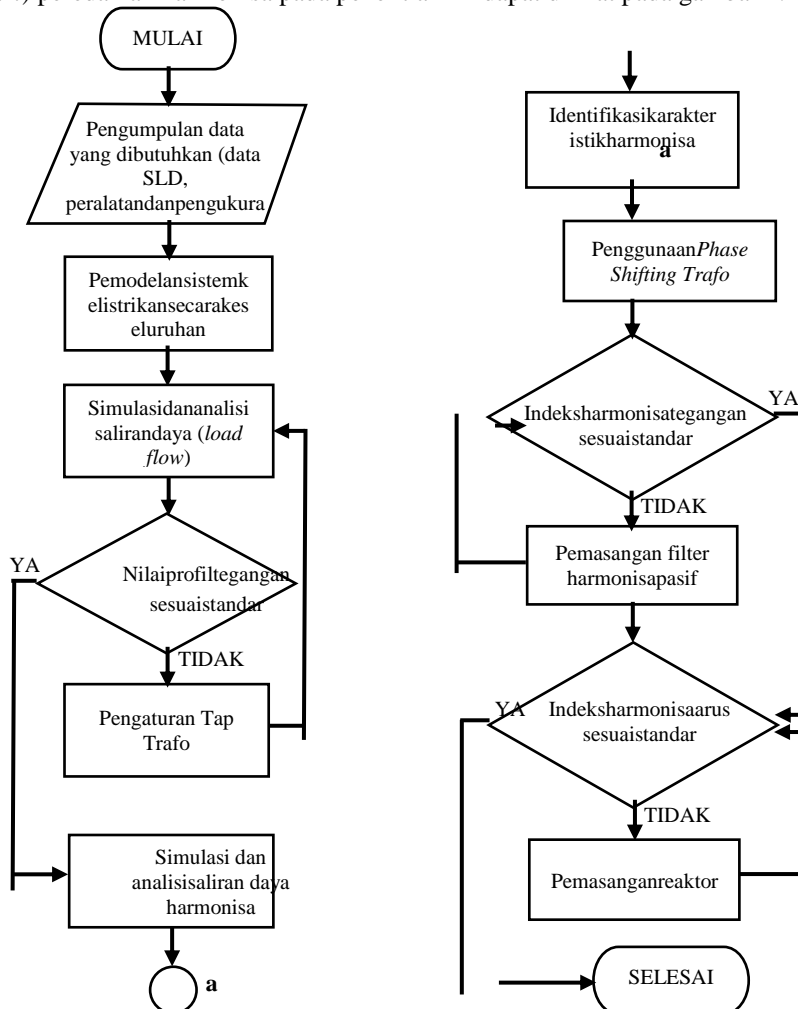
Sistem kelistrikan pt. Wilmar nabati

Sistem kelistrikan di pabrik PT. Wilmar Nabati, Gresik menggunakan suplai listrik dari PLN Segara Madu 8.963 MVA sc di tegangan 20kV dan 9 generator di tegangan 0.4kV (keterangan lengkap pada lampiran tabel 1 dan tabel 2). Sementara, jenis trafo yang digunakan menyalurkan daya pada beban motor dan beban-beban yang lain adalah jenis trafo dua belitan. Beban motor listrik di PT. sebagian besar adalah motor induksi. Motor-motor tersebut memiliki peran yang cukup bervariasi dalam menunjang proses produksi. Motor mill drive berfungsi untuk menggerakkan mill dalam putaran dan torsi yang tinggi, motor fan berfungsi sebagai pendingin memiliki karakter kecepatan tinggi dan torsi yang rendah. Motor-motor tersebut berada pada tegangan rendah, selain itu juga terdapat beban lump dan kapasitor bank. Pola pembebanan yang ada di PT. Wilmar Nabati dibagi menjadi 2 yaitu beban penuh (*peak load*) dan beban normal (*normal load*). Pembahasan pada penelitian ini dibatasi pada kasus *peak load*. Sementara untuk kasus *normal load*, cara yang digunakan sama, namun dengan nominal beban berbeda sesuai pada tabel 10 di lampiran.

Langkah-langkah peredaman harmonisa di PT. Wilmar Nabati, Gresik diawali dengan pengumpulan keseluruhan data single line diagram, data peralatan (*grid*, generator, trafo dan beban) dan data pengukuran harmonisa, kemudian disimulasikan menggunakan ETAP 7.0. Simulasi yang pertama adalah simulasi aliran daya/*load flow*. Dari hasil simulasi, akan dilakukan analisis perhitungan tap trafo untuk memperbaiki profil tegangan di semua bus sehingga memenuhi standar (98-102%). Apabila tegangan di semua bus telah sesuai standar, selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya harmonisa/ *harmonic load flow* untuk melihat nilai indeks harmonisa (THD_V dan THD_I) serta karakteristik harmonisa (orde dan *magnitude*) di keseluruhan sistem. Pada simulasi *harmonic load flow*, data *library* harmonisa VSD dimodelkan sesuai dengan hasil pengukuran.

Kemudian untuk peredaman harmonisa, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menggunakan trafo penggeser fasadi beberapa lokasi yang terdapat dua atau lebih trafo terpasang secara paralel dalam satu bus yang sama. Penggunaan trafo penggeser fasa menyebabkan penurunan nilai indeks harmonisa tegangan di sisi bus bebannya. Nilai indeks harmonisa tegangan setelah penggunaan trafo penggeser fasa dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992, apabila belum memenuhi standar, maka akan dilanjutkan pada langkah kedua. Langkah kedua adalah dengan memasang filter harmonisa pasif. Pemasangan filter harmonisa pasif inimerlukan perhitungan yang tepat, menyesuaikan dengan karakteristik harmonisa di bus lokasi pemasangan sehingga sehingga indeks

harmonisa tegangan dapat memenuhi standar. Namun, ada beberapa kasus dimana indeks harmonisa arus belum memenuhi standar meskipun nilai indeks tegangan telah memenuhi standar. Oleh karena itu pemasangan filter harmonisa saja belum cukup untuk meredam gangguan harmonisa. Langkah ketiga adalah dengan memasang reaktor. Pemasangan reaktor ini perlu memperhatikan besarnya penurunan tegangan, karena bila impedansi reaktor yang digunakan terlalu besar maka penurunan tegangan juga akan semakin besar sehingga tidak memenuhi standar tegangan. Oleh karena itu, perlu adanya perhitungan reaktor secara tepat untuk menurunkan indeks harmonisa arus sehingga dapat memenuhi standar harmonisa, namun nilai tegangan juga tetap memenuhi standar tegangan. Diagram alir (*flowchart*) peredaman harmonisa pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



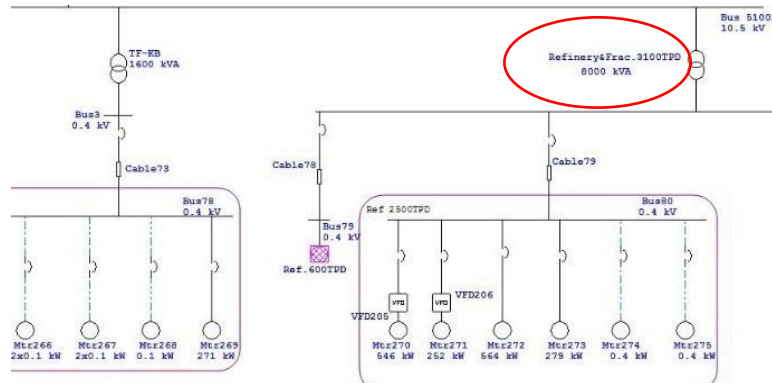
Gambar 2 Diagram Alir Peredaman Harmonisa di PT. Wilmar Nabati, Gresik

Hasil Simulasi dan Analisis

Dari hasil simulasi aliran daya, pada kondisi beban penuh hampir semua bus mengalami *undervoltage*, sehingga diperlukan pengaturan tap trafo untuk memperbaiki tegangan di bus-bus tersebut (tabel 3).

Tabel 3 Perbaikan nilai tegangan setelah pengaturan tap trafo pada kondisi *peak load* di sebagian bus di PT. Wilmar Nabati,

Trafo ID	Tap trafo	Bus ID	Peak Load		
			%V sebelum	%V setelah	%V standar
Biodiesel	primer (-5%)	58	95.55%	101.08%	98-102%
Biodiesel 3	primer (-5%)	152	95.11%	100.66%	
CPKO	primer (-5%)	50	94.35%	99.93%	
		51	94.48%	100.05%	



Gambar 3 Penentuan Phase Shifting Trafo antara trafo TF-KB dan trafo Refinery&Frac 3100 TPD

Tabel 4. Data perubahan nilai thd sebelum dan sesudah penggunaan trafo penggeser fasa pada kondisi peak load

Trafo ID	Bus ID	Data Nilai THD		
		sebelum menggunakan trafo penggeser fasa	setelah menggunakan trafo penggeser fasa	Standar
Refinery-Fract 3100 TPD	80	7.09%	5.85%	5%

Tabel 5 Data perubahan nilai ihd sebelum dan sesudah penggunaan trafo penggeser fasa pada kondisi peak load

Trafo ID	Bus ID	or-de	Data Nilai IHD		
			sebelum menggunakan trafo penggeser fasa	setelah menggunakan trafo penggeser fasa	Standar
Refinery-Fract 3100TPD	80	5	4.74%	3.08%	3%
		11	3.40%	3.40%	3%
TF - KB	78	5	3.34%	2.57%	3%

Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya harmonisa untuk mengetahui bus-bus yang memiliki indeks harmonisa melebihi standar (THD_v dan THD_i). Langkah pertama untuk meredam harmonisa adalah dengan menggunakan trafo penggeser fasa, salah satunya adalah pada bus 51002. Terdapat dua trafo pada bus tersebut namun berdasarkan simulasi menggunakan ETAP didapatkan solusi terbaik adalah ketika trafo Refinery&Frac 3100TPD dioperasikan sebagai trafo penggeser fasa (gambar 3).

Pada tabel 4 dan tabel 5, menunjukkan pengurangan indeks harmonisa tegangan pada bus trafo TF-KB dan telah memenuhi standar sehingga pada bus-bus tersebut tidak memerlukan pemasangan filter harmonisa. Namun pada bus trafo Refinery & Fract 3100TPD, indeks harmonisa tegangan masih belum memenuhi standar sehingga diperlukan pemasangan filter harmonisa pasif. Berikut adalah rumus untuk perhitungan filter harmonisa pasif jenis *single-tuned*

Desain filter di Bus 80 Outgoing Trafo Refinery-Frac. 3100TPD)

a. Single Tuned Orde 5, frekuensi Tuning (ω_n)= 250 Hz

Faktor daya sebelum 90.2% PF sesudah 95%

$$\Delta Q = 5623x (\tan \theta_{awal} - \tan \theta_{target}) = 5414 x (\tan (\cos^{-1} 0.902) - \tan (\cos^{-1} 0.95)) = 843.2191kVar \tag{3}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 845 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_l^2 \times \omega_0} = \frac{845 kVAR}{0.4^2 \times (2 \times 3.14 \times 50)} = 16819.27 \mu F \tag{4}$$

Nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 250)^2 \times 16819.27 \mu F} = 0.0241 \text{ mH} \tag{5}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 50) \times 0.0131 \text{ mH} = 0.00757 \Omega \tag{6}$$

$$X_C = X_L = X_0 = 0.00757 \Omega \tag{7}$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi Q = 30) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.00757}{30} = 0.000252 \Omega \tag{8}$$

Single tuned orde 11, frekuensi Tuning (ω_n)= 550 Hz

PF sebelum 95% PF sesudah 98%

$$\Delta Q = 5620 \times (\tan \theta_{awal} - \tan \theta_{target}) = 5620 \times (\tan(\cos^{-1} 0.95) - \tan(\cos^{-1} 0.98)) = 706.015 \text{ kVar} \tag{9}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 706 kVar. Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{706 \text{ kVAR}}{0.4^2 \times (2 \times 3.14 \times 50)} = 14052.55 \mu F \tag{10}$$

nilai induktorsebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 550)^2 \times 14052.55 \mu F} = 0.0059 \text{ mH} \tag{11}$$

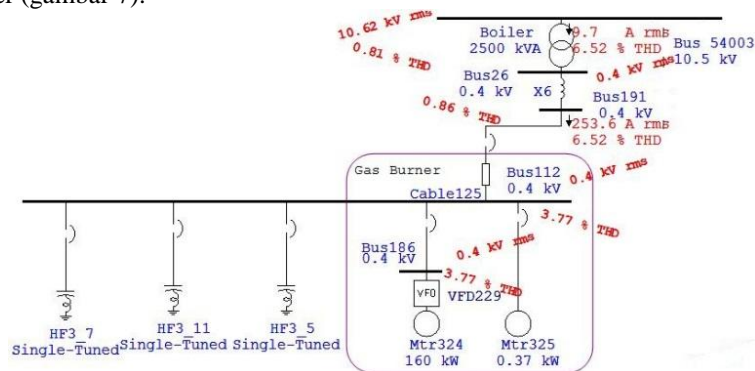
$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 50) \times 0.0059 \text{ mH} = 0.00187 \Omega \tag{12}$$

$$X_C = X_L = X_0 = 0.00187 \Omega \tag{13}$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi Q = 30) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.00187}{30} = 0.000062432 \Omega \tag{14}$$

Pemasangan filter harmonisa pasif pada semua bus yang indeks harmonisa tegangannya melebihi standar ternyata juga menurunkan harmonisa arus. Namun, masih terdapat 1 lokasi yang indeks THD_I masih melebihi standar yaitu di lokasi plant boiler (THD_I=65.05%, standar=15%), sehingga dibutuhkan pemasangan reaktor pada sisi *outgoing* trafo boiler (gambar 7).



Gambar 4. Pemasangan Reaktor pada Trafo Boiler (beban penuh)

Perhitungan biaya ekonomis

Penggunaan 2 trafo penggeser fasa di 2 lokasi yaitu pada trafo H2 Hydrochem 01 dan trafo Refinery&Fract 3100 TPD saat kondisi beban penuh, mampu meredam gangguan harmonisa atau setara dengan penggunaan 2 filter harmonisa pasif di panel TF OLEO Shipment dan di panel TF-KB.

Misalkan pada panel TF OLEO Shipment seharusnya dipasang filter dengan kapasitas 2642 kVA dan pada panel TF-KB seharusnya dipasang filter dengan kapasitas 1311 kVA. Sehingga, penghematan yang bisa didapat sebesar

$$12 \text{ \$/kVA} \times [2642 \text{ kVA} + 1311 \text{ kVA}] = 47.436 \text{ \$} = \text{Rp } 664.104.000,00 (1\text{\$}=\text{Rp } 14.000,00) \tag{15}$$

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan data pengukuran, orde harmonisa yang dominan di sistem kelistrikan PT.Wilmar Nabati, Gresik adalah orde 5,7,11 dan 13, maka digunakanlah filter jenis *single-tuned*.

2. Penggunaan trafo penggeser fasa dapat meredam harmonisa orde 5 dan 7 tapi tidak bisa meredam harmonisa orde 11. Selain itu tidak di semua lokasi dapat digunakan trafo penggeser fasa, sehingga digunakan filter harmonisa pasif.
3. Pemasangan filter harmonisa pasif dapat meredam semua gangguan harmonisa tegangan dan harmonisa arus sehingga memenuhi standar IEEE 519-1992, pada saat kondisi beban puncak, kecuali pada plant boiler.
4. Pemasangan reaktor pada sisi outgoing trafo *boiler* efektif untuk meredam harmonisa arus. Perhitungan reaktor perlu dilakukan secara tepat karena bila tidak, dapat menyebabkan penurunan tegangan yang terlalu besar.
5. Penggunaan trafo penggeser fasa dapat mengurangi penggunaan filter harmonisa sehingga dapat menghemat biaya investasi sebesar Rp 664.104.000,00 untuk peredaman harmonisa di sistem kelistrikan PT. Wilmar Nabati Gresik.

Daftar Pustaka

- J. Arrillaga, D. A. Bradley, P. S. Bodger, "Power Systems Harmonics", John Wiley & Sons, 1985.
- Hadi Saadat, Power System, McGraw-Hill Inc, USA, 1999.
- Stevenson, W.D., "Analisis Sistem Tenaga Listrik", edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- Sekar, T. C., Rabi, B. J., "A Review and Study of Harmonic Mitigation Techniques", International Conference Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), India, 2012.
- Mukti, Ersalina Werda, "Analisis Pemasangan Electrolyzer dan Perencanaan Filter Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan PT. Wilmar Gresik Untuk Meredam Tingkat Distorsi Harmonisa". Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2011.
- Sunarto, Setio Aji. "Analisa Penempatan Kapasitor Bank Dan Power Quality Menggunakan Etap Pada Sistem Kelistrikan Pt. Wilmar Nabati, Gresik". Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2012.
- Pujiantara, Annisa Eka Marini, "Perencanaan Filter Hybrid Untuk Mengurangi Harmonisa Pada PT. Semen Indonesia Pabrik Rembang". Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2014.
- IEEE Std. 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems".
- IEEE Std. 1531-2003, "Guide for Application and Specification of Harmonic Filters".

LAMPIRAN

Tabel 6 Data Grid PLN di PT. Wilmar Nabati, Gresik

ID	Tipe	kV Nominal	MW	Mvar	% PF
PLN Segara Madu	Power Grid	20	18,17	2.7	97.62

Tabel 7 Data Generator di PT. Wilmar Nabati, Gresik

ID	Tipe	kV Nominal	MW	Mvar	% PF
BPT 1	Generator Sinkron	0.4	9.4	5.4	86.71
BPT 2	Generator Sinkron	0.4	2.5	1.5	85.75
DEG 1	Generator Sinkron	0.4	1	0.6	85.75
DEG 2	Generator Sinkron	0.4	1.2	0.7	86.38
DEG 3	Generator Sinkron	0.4	1	0.6	85.75
DEG 4	Generator Sinkron	0.4	1.4	0.8	86.82
NGT	Generator Sinkron	0.4	6	3.5	86.38
STG 1	Generator Sinkron	0.4	14.2	8.5	85.8
STG 2	Generator Sinkron	0.4	14.2	8.5	85.8

Tabel 8 Data beberapa Transformator di PT. WilmarNabati

ID	Bus / Plant	Rating Daya (MVA)	Rating Tegangan (kV)
Refineryand Fractination 3100 TPD	Bus 58001	5.9	10.5 / 0.4
TF-KB	Bus 51002	1.6	10.5 / 0.4
Boiler	Bus 54003	2.5	10.5 / 0.4
Air Comp.	Bus 51001	1.25	10.5 / 0.4
Biodiesel	Bus 52001	5.7	10.5 / 0.4
Biodiesel 3	Bus 52001	5.7	10.5 / 0.4
Biorefinery	Bus 181	5.1	10.5 / 0.4
Blow Moulding	Bus 51003	1.6	10.5 / 0.4
BWRO	Bus 57001	1.6	10.5 / 0.4

Tabel 9 Data Kapasitor Bankdi PT. Wilmar Nabati, Gresik

ID kapasitor	Rating Daya (kVAR)	Rating Tegangan (kV)	Lokasi	Keterangan
CAP 2	60 kVAR	0.4 kV	Refinery & Fractination 3000T	Continuous
CAP 3	420 kVAR	0.4 kV	Fatty Acid 01+	Continuous
CAP 5	300 kVAR	0.4 kV	Hydrogenat-ion	Stand by

Tabel 10 DataBebandan VSD di PT. Wilmar Nabati,Gresik

Jenis Beban	Peak Load	Normal Load
Motor 3 fasa	68.3615 MW	52.9493 MW
Motor 1 fasa	0.0285 MW	0.0007 MW
Lump Load	1.48 MW	1.48 MW