

Analisis Ketidakseimbangan Fasa Dan Harmonisa Pada Sistem Air Handling Unit (Ahu) Di Pt. Medion Farma Jaya

Dewi Purnama Sari¹, Een Taryana², Giri Angga Setia³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531
deewipsari@gmail.com

Abstract

One of the problems faced by PT Medion Farma Jaya is the phase and harmonic imbalance in the AHU system. The cause of these problems is due to the imposition of input current for an unbalanced evaporator fan, as well as the use of variable speed drive (VSD) which is one of the non-linear equipment used to regulate the speed of the motor blower on the AHU system. This equipment provides harmonic currents to the power system network in low harmonic orders such as 3rd, 5th, 7th, 9th, 11th and 13th harmonics. Therefore, it is necessary to balance the current load current, and to harmonize the filter to reduce the harmonics. The filter used is a double tuned filter which is transformed from 2 single tuned filters which have 2 different frequencies. The design and simulation of the filter installation on bus 3 and bus 5 is done using ETAP power station 12.6 software. From the results of the research that has been done there is a decrease in THDi value on bus 3 by 74.38% to 12.33%, while on bus 5 it is 74.71% to 12.39%. In the end, the THDi value in the AHU system is close to the standard set by IEEE Standard 519-1992. Whereas for phase imbalances decreased by 4% with a decrease in load current in phase R of 26.1 A.

Keywords: Phase imbalance, Harmonics, VSD, double tuned, ETAP 12.6.0.

Abstrak

Salah satu permasalahan yang dihadapi oleh PT Medion Farma Jaya adalah ketidakseimbangan fasa dan harmonisa pada sistem AHU. Permasalahan tersebut akibat dari pembebanan arus masukan untuk fan evaporator yang tidak seimbang, serta penggunaan *variable speed drive* (VSD) yang merupakan salah satu peralatan non linier yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor blower pada sistem AHU. Peralatan ini memberikan arus harmonisa ke jaringan sistem tenaga pada orde harmonisa rendah seperti harmonisa ke-3, 5, 7, 9, 11 dan 13. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyeimbangan arus beban perfasa, serta melakukan filterisasi harmonisa untuk mereduksi harmonisa tersebut. Filter yang digunakan adalah filter *double tuned* yang ditransformasi dari 2 buah filter *single tuned* yang memiliki 2 frekuensi yang berbeda. Perancangan dan simulasi pemasangan filter pada bus 3 dan bus 5 dilakukan menggunakan *software ETAP power station 12.6*. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terjadi penurunan nilai THDi pada bus 3 sebesar 74,38% menjadi 12,33%, sedangkan pada bus 5 sebesar 74,71% menjadi 12,39%. Pada akhirnya, nilai THDi pada sistem AHU mendekati nilai standar yang ditetapkan IEEE Standar 519-1992. Sedangkan untuk ketidakseimbangan fasa mengalami penurunan sebesar 4% dengan penurunan arus beban pada fasa R sebesar 26,1 A.

Kata kunci: Ketidakseimbangan fasa, Harmonisa, VSD, *double tuned*, ETAP 12.6.0.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan beban non linier ini menyebabkan beberapa gangguan diantaranya ketidakseimbangan fasa, harmonisa dan dapat menyebabkan naik turunnya faktor daya. Dalam sistem tata udara terdapat beberapa beban non linier, diantaranya adalah VSD, motor blower dan komponen lainnya yang terpasang pada sistem AHU tersebut, maka untuk mengurangi harmonisa yang terjadi pada sistem perlu dipasang sebuah

filter pada sistem serta menyeimbangkan arus beban perfasa pada sistem [1].

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa. Ketidakseimbangan fasa merupakan besarnya ketidakseimbangan arus yang mengalir antar tiap fasa pada titik netral yang mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara titik netral dengan ground. Masalah ini mampu memberikan dampak dengan mengalirnya arus pada titik netral maka tidak terpenuhinya

tegangan nominal pada titik netral, yang mengakibatkan tegangan fasa ke netral menurun.

Kemungkinan ketidakseimbangan fasa ada tiga yaitu [2] pertama, masing-masing vektor seimbang namun tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. Kedua, masing-masing vektor tidak seimbang namun membentuk sudut 120° satu sama lain. Ketiga, masing-masing vektor tidak seimbang dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Pada saat keadaan seimbang, penjumlahan vektor arus pada masing-masing fasanya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol. Namun pada keadaan seimbang terdapat arus netral (I_N) yang mengakibatkan penjumlahan ketiga vektor tersebut tidak sama dengan nol. Nilai arus netral bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya [2].

Dengan mengalirnya arus netral mengakibatkan pembebanan yang tidak seimbangan tersebut menimbulkan rugi-rugi daya (*power losses*). Dalam besarnya ketidakseimbangan fasa kita harus memperhitungkan ketidakseimbangan tersebut dengan perhitungan berikut untuk membandingkan besarnya kondisi kualitas daya dengan hasil pengukuran dari alat ukur yang digunakan dengan beberapa parameter yang sesuai dengan standar PLN dan IEEE power quality [2].

Harmonisa merupakan gelombang arus sinusoidal yang mempunyai frekuensi sebesar kelipatan dari frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar adalah 50 Hz. Maka besar frekuensi pada harmonisa kedua adalah 100 Hz, dan harmonisa ketiga adalah 150 Hz, dan begitu seterusnya. Harmonisa menyebabkan distorsi bentuk gelombang tegangan dan arus, yang memiliki efek buruk pada peralatan listrik. *Total Harmonic Distortion* (THD) merupakan parameter harmonisa yang didefinisikan sebagai presentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus) [6].

Dengan banyaknya penggunaan peralatan elektronik non-linier yang menggunakan teknologi peralatan berbasis *switching* elektronik seperti : komputer, *programmable logic control* (PLC), *adjustable speed drive* (ASD), *pulse width modulation* (PWM), *air conditioner*, *refrigerator*, dan peralatan listrik berbasis *switching* elektronik lainnya yang menyebabkan distorsi harmonisa arus pada titik sambung pelanggan dan sistem tenaga listrik dan yang selanjutnya akan berdampak pada kualitas listrik termasuk distorsi tegangan. Harmonisa timbul diakibatkan oleh

beban non-linier yang terhubung pada sistem tenaga listrik [7].

Beberapa penelitian terkait, diantaranya dilakukan oleh Prasetya, dkk [3] melakukan analisis terhadap ketidakseimbangan beban dan harmonisa pada transformator distribusi dengan perbandingan waktu terjadinya pada siang dan malam hari.

Penelitian lain dilakukan oleh Sugiarto, Hadi [4], melakukan analisis terhadap harmonisa arus dan tegangan serta dampak rugi-rugi yang muncul di gedung administrasi Politeknik Negeri Pontianak.

Selain itu, Jayabadi, dkk [5], melakukan penelitian mengenai ketidakseimbangan beban trafo terhadap rugi-rugi akibat arus netral dan suhu trafo menggunakan ETAP 12.6.

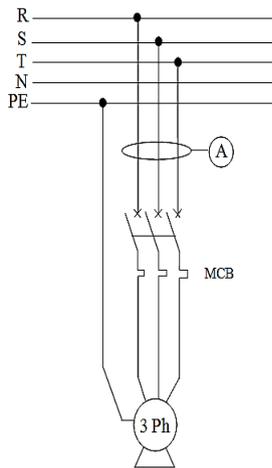
Salah satu permasalahan yang dihadapi oleh PT Medion Farma Jaya adalah ketidakseimbangan fasa dan harmonisa pada sistem AHU. Sebagai solusi dalam permasalahan tersebut dapat ditanggulangi dengan melakukan penyeimbangan beban per fasa pada sistem AHU dan pemasangan filter pasif *double tuned* pada jaringan sistem AHU sehingga permasalahan ketidakseimbangan fasa dan harmonisa yang terjadi pada sistem mampu tereduksi. Oleh karena itu, penulis memiliki ketertarikan untuk memberikan solusi dari permasalahan diatas dengan melakukan *Analisis Ketidakseimbangan Fasa dan Harmonisa Pada Sistem Air Handling Unit (AHU) PT Medion Farma Jaya*.

II. METODE

Untuk mendapatkan solusi dari permasalahan ketidakseimbangan fasa dan harmonisa tersebut, dilakukan penyeimbangan beban per fasa pada sistem AHU dan melakukan pemodelan sistem dengan membuat simulasi komputer dari efek harmonisa yang terjadi pada sistem AHU. Pemodelan dilakukan dengan pemasangan filter pada sistem untuk mereduksi harmonisa pada sistem kelistrikan AHU tersebut. Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengumpulkan data yang dibutuhkan dengan mengacu pada data faktor daya, harmonisa, dan total beban pada sistem AHU. Setelah data yang dibutuhkan untuk pemodelan terkumpul, langkah selanjutnya adalah membuat *single line diagram* dan pemasangan filter pada sistem dengan menggunakan *software ETAP Power Station 12.6*.

**Analisis Ketidakseimbangan Fasa Dan Harmonisa Pada Sistem Air Handling Unit
(Dewi Purnama Sari, Een Taryana, Giri Angga Setia : 13 - 22)**

A. Ketidakseimbangan Fasa



Gambar 1. Pengukuran menggunakan tang ampere pada AHU

Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa tang ampere untuk mengukur arus setiap mesin AHU.

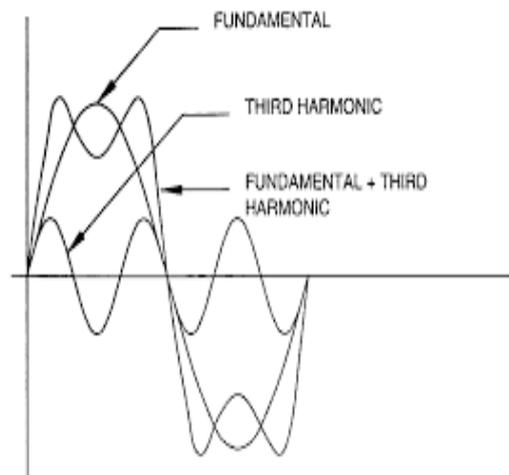
TABEL 1. KETIDAKSEIMBANGAN ARUS BEBAN PER FASA PADA MESIN AHU

NO	LOKASI	ARUS (A)		
		R	S	T
1	RUANG PERSIAPAN	11,9	7,6	8,1
2	RUANG STERILISASI	12,8	8,4	8,4
3	RUANG ALAT STERIL	15,5	11,3	11,3
4	KORIDOR STERIL	8,3	9,3	8,1
5	RUANG PRA 1	24,1	19,3	15,1
6	RUANG PRA 2	13,1	9,3	8,9
7	RUANG ND POST 1	7,2	8,2	6,8
8	RUANG ND POST 2	16,7	12,9	12,3
9	RUANG ND INO 1	7,7	8,6	7,2
10	RUANG ND INO 2	16,2	12,1	11,7
11	RUANG ND PANEN 1	8,4	7,4	6,8
12	RUANG ND PANEN 2	7,5	9	7,7
13	RUANG PASSAGE	15,9	12	11,6
14	RUANG GE INO	16,6	12,6	12,2

15	RUANG GE PANEN	8,3	9	8
16	RUANG GE POST	5,3	6,8	6
17	RUANG EDS POST	18,1	14,1	13,9
18	RUANG EDS INO	7,3	8,7	8
19	RUANG EDS PANEN	8,3	9,3	8,1
20	RUANG EMULSI 1	26,9	21,7	22,9
21	RUANG EMULSI 2	40,9	34,9	33,2
22	RUANG PPIC	24,8	20,1	21,4
23	RUANG ND INAKTIFASI 1	15,9	11,9	11,8
24	RUANG ND INAKTIFASI 2	16,4	11,7	11,4
Total		354,1	296,2	280,9

B. Harmonisa

Komponen-komponen sistem tata udara yang menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi permasalahan yang diakibatkan oleh harmonisa. Sehingga sudah dapat diperkirakan cara yang tepat untuk menekan kehadiran harmonisa tersebut. Maka diperlukan pengukuran untuk menentukan solusi dari permasalahan harmonisa pada sistem tata udara yang dianggap paling memiliki nilai harmonisa yang besar.



Gambar 1. Bentuk gelombang fundamental dan gelombang yang sudah terdistorsi harmonisa [7]

Penelitian terfokus pada satu sampel yang diambil yaitu AHU-23. Pengukuran dilakukan dengan memasang alat ukur berupa power meter yaitu

PowerLogic PM5100 Series Power and Energy Meter dari Schneider.



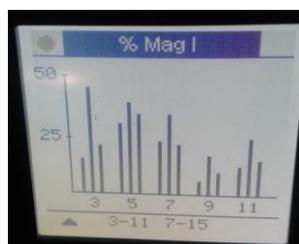
Gambar 3. Powermeter [8]

Powermeter tersebut dipasang pada panel AHU-23. Powermeter ini menghitung THD yang terjadi pada AHU-23. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut :

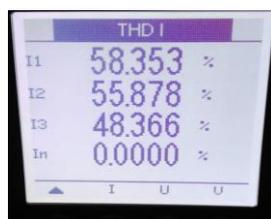
TABEL 2. TABEL THD HASIL PENGUKURAN PADA AHU-23

Parameter Yang diukur		Nama Mesin				
		AHU-23				
		Jam Pengecekan				
		07:30	11:30	14:30	19:30	21:30
THDi (%)	R	36,90	32,70	37,00	6,60	6,10
	S	35,20	36,30	34,40	8,90	9,20
	T	38,50	36,20	37,4	9,20	9,20
TDD (%)		32,30	31,80	32,20	32,60	32,70

terlihat nilai TDD pada mesin tersebut di atas 5%. Hal ini membuktikan bahwa harmonisa yang terjadi pada mesin tersebut cukup besar. Maka harmonisa tersebut harus direduksi agar kualitas daya pada sistem kelistrikan meningkat.



(a)



(b)

Gambar 4. Orde harmonisa (a) dan jumlah THD harmonisa arus (b)

Harmonisa yang ditimbulkan oleh penyearah yang terdapat pada sistem AHU perlu dikurangi agar tidak mengganggu kerja peralatan yang lain yang terhubung pada sumber yang sama yaitu dengan memasang filter pasif *single tuned* yang ditransformasikan menjadi filter pasif *double tuned*.

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam merancang filter *single tuned* yang kemudian akan ditransformasikan menjadi filter *double tuned* [6]:

1. Menentukan ukuran kapasitor Q, berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya dengan menggunakan persamaan 3.1
2. Menentukan reaktansi kapasitor (X_c) :

$$X_c = \frac{V^2}{Qc} \quad (1)$$

Keterangan :

V^2 = tegangan terminal filter.

3. Menentukan kapasitansi dari kapasitor (C) :

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_c} \quad (2)$$

Keterangan :

f_0 = frekuensi fundamental.

X_c = reaktansi kapasitif.

4. Menentukan reaktansi induktif dari induktor (X_{Ln}) pada saat resonansi seri :

$$X_{Ln} = \frac{X_c}{h_n^2} \quad (3)$$

Keterangan :

h_n = orde harmonisa yang dituning.

5. Menentukan induktansi dari induktor (L_n) :

$$L_n = 2\pi f_0 X_L \quad (4)$$

6. Menentukan reaktansi karakteristik (X_n) dari filter pada orde tuning :

$$X_n = \sqrt{X_{Ln} \cdot X_c} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

7. Menentukan tahanan (R) dari induktor :

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (6)$$

Berikut ini merupakan transformasi atau konversi dua buah filter *single tuned* pada frekuensi yang berbeda menjadi filter *double tuned* :

**Analisis Ketidakseimbangan Fasa Dan Harmonisa Pada Sistem Air Handling Unit
(Dewi Purnama Sari, Een Taryana, Giri Angga Setia : 13 - 22)**

8. Menentukan ekuivalen LC filter double tuned :

Dengan :

$$a = \frac{C_a}{C_b}; \quad \text{dan,}$$

$$X = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}}$$

$$C_1 = C_a + C_b \quad (7)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \quad (8)$$

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 + (L_a + L_b)^2} \quad (9)$$

$$R_2 = R_a \left[\frac{a^2 (1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right] + R_b \left[\frac{(1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right] + R_1 \left[\frac{a(1-a)(1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right] \quad (3.13)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b)(L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_a + L_b)^2} \quad (10)$$

$$R_3 = -R_a \left[\frac{a^2 x^4 (1-x^2)}{(1+ax^2)^2 (1+x^2)} \right] + R_b \left[\frac{(1-x^2)}{(1+ax^2)^2 (1+x^2)} \right] + R_1 \left[\frac{(1-x^2)(1-ax^2)}{(1+x^2)^2 (1+ax^2)} \right] \quad (3.15)$$

Keterangan :

C_a = kapasitansi kapasitor orde-5 pada filter *single tuned*.

C_b = kapasitansi kapasitor orde-7 pada filter *single tuned*.

L_a = induktansi induktor orde-5 pada filter *single tuned*.

L_b = induktansi induktor orde-7 pada filter *single tuned*.

a = perbandingan antara kapasitansi kapasitor pada filter *single tuned*.

X = perbandingan antara perkalian induktansi induktor dan kapasitansi kapasitor pada filter *single tuned*.

L_1 dan L_2 = induktansi induktor pada filter *double tuned*.

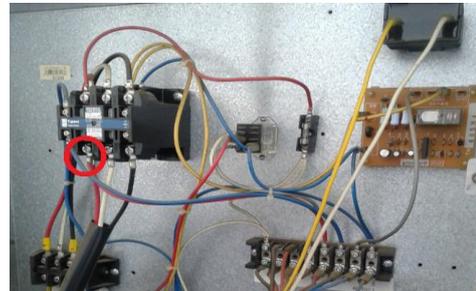
Umumnya R_1 tetap sedangkan R_2 dan R_3 dimodifikasi sehingga mendekati resonansi yang mana dalam prakteknya sama.

III. ANALISIS DAN HASIL

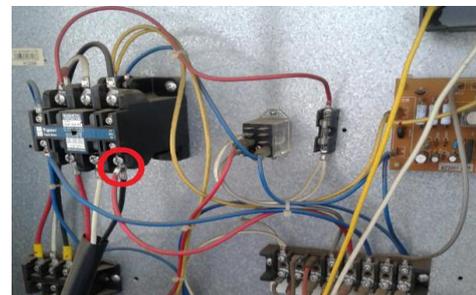
A. Analisis Ketidakseimbangan Fasa

Setelah pengukuran dilakukan, melalui perhitungan jumlah beban maka dilakukan pemindahan beban secara rata. Karena mesin

AHU yang adadi PT Medion Farma Jaya berjumlah 24 unit, untuk mendapatkan keseimbangan beban di setiap fasanya maka perfasa dibagi menjadi masing-masing fasa dibebani 8 unit mesin AHU. Pemindahan arus beban pada FCU berikut dilakukan secara manual untuk menyeimbangkan arus beban perfasa pada sistem AHU.



Gambar 5. Fasa R yang akan dipindahkan yang ditandai dengan lingkaran merah



Gambar 6. Fasa R setelah dipindah ke Fasa T yang ditandai dengan lingkaran merah

Berikut merupakan hasil pemindahan lokasi arus yang dipindahkan dibagi menjadi rata sesuai dengan jumlah AHU yang berada di PT Medion Farma Jayayaitu 24 AHU, maka dibagi dengan masing-masing fasa dengan jumlah 8 AHU.

TABEL 3. LOKASI FASA ARUS BEBAN PADA AHU SETELAH DIPINDAH

NO	LOKASI	Fasa Awal	Fasa Setelah dipindah
1	RUANG PERSIAPAN	R	T
2	RUANG STERILISASI	R	T
3	RUANG ALAT STERIL	S	S
4	KORIDOR STERIL	R	T
5	RUANG PRA 1	R	R
6	RUANG PRA 2	R	R
7	RUANG ND POST 1	R	T
8	RUANG ND POST 2	R	T

9	RUANG ND INO 1	S	S
10	RUANG ND INO 2	R	R
11	RUANG ND PANEN 1	S	S
12	RUANG ND PANEN 2	S	S
13	RUANG ND INAKTIFASI 1	R	T
14	RUANG ND INAKTIFASI 2	R	T
15	RUANG PASSAGE	R	R
16	RUANG GE INO	R	R
17	RUANG GE PANEN	S	S
18	RUANG GE POST	S	S
19	RUANG EDS POST	R	R
20	RUANG EDS INO	S	S
21	RUANG EDS PANEN	S	S
22	RUANG EMULSI 1	R	R
23	RUANG EMULSI 2	R	R
24	RUANG PPIC	R	T

TABEL 4. ARUS BEBAN PADA AHU SETELAH DIPINDAH

NO	LOKASI	ARUS (A)		
		R	S	T
1	RUANG PERSIAPAN	8,1	7,6	11,9
2	RUANG STERILISASI	8	8,4	12,8
3	RUANG ALAT STERIL	15,5	11,3	11,3
4	KORIDOR STERIL	8,1	9,3	8,3
5	RUANG PRA 1	24,1	19,3	15,1
6	RUANG PRA 2	13,1	9,3	8,9
7	RUANG ND POST 1	6,8	8,2	7,2
8	RUANG ND POST 2	12,3	12,9	16,7
9	RUANG ND INO 1	7,7	8,6	7,2
10	RUANG ND INO 2	16,2	12,1	11,7
11	RUANG ND PANEN 1	8,4	7,4	6,8
12	RUANG ND PANEN 2	7,5	9	7,7
13	RUANG PASSAGE	15,9	12	11,6
14	RUANG GE INO	16,6	12,6	12,2
15	RUANG GE PANEN	8,3	9	8
16	RUANG GE POST	5,3	6,8	6
17	RUANG EDS POST	18,1	14,1	13,9
18	RUANG EDS INO	7,3	8,7	8
19	RUANG EDS PANEN	8,3	9,3	8,1
20	RUANG EMULSI 1	26,9	21,7	22,9
21	RUANG EMULSI 2	40,9	34,9	33,2
22	RUANG PPIC	21,4	20,1	24,8
23	RUANG ND INAKTIFASI 1	11,8	11,9	15,9
24	RUANG ND INAKTIFASI 2	11,4	11,7	16,4
Total		328	296,2	307

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian dapat diidentifikasi besar hasil dari pemindahan fasa tersebut dapat mengurangi ketidakseimbangan fasa yang terjadi sebagai berikut :

$$I_{rata-rata} = \frac{328+296,2+306,6}{3} = 310,27 \text{ A}$$

$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{([a-1]+[b-1]+[c-1])}{3} \times 100\%$$

Dengan :

$$a = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} = \frac{328}{310,27} = 1,05 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} = \frac{296,2}{310,27} = 0,95 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_t}{I_{rata-rata}} = \frac{306,6}{310,27} = 0,98 \text{ A}$$

maka, Ketidakseimbangan =

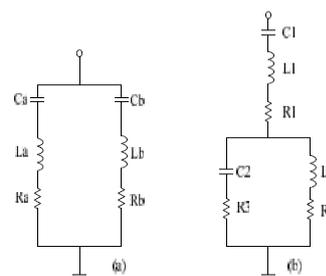
$$\frac{([a-1]+[b-1]+[c-1])}{3} \times 100\% =$$

$$\frac{([1,05-1]+[0,95-1]+[0,98-1])}{3} \times 100\% =$$

$$\frac{(0,12)}{3} \times 100\% = 4\%$$

B. Analisis Harmonisa

Pada penelitian kali ini filter pasif yang digunakan adalah *double tuned* yang perancangannya akan dipasang pada jala-jala distribusi mesin AHU. Sebelum melakukan filterisasi diperlukan perhitungan secara tepat untuk mendapatkan parameter LC yang sesuai dengan harmonisa yang diperoleh dalam pengukuran pada sistem sehingga diperoleh harga yang sesuai standar IEC 61000-3-2. Parameter dihitung dengan menggunakan perhitungan parameter filter *single tuned* yang kemudian ditransformasi menjadi parameter filter *double tuned* sehingga diperoleh parameter yang tepat.

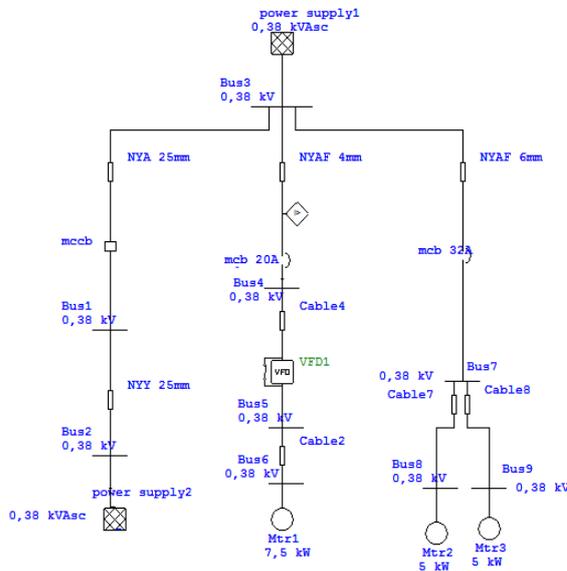


Gambar 7. Konversi filter *single tuned* menjadi *double tuned*.

(a). Filter *single tuned* paralel, (b). Ekuivalen filter *double tuned*.

**Analisis Ketidakseimbangan Fasa Dan Harmonisa Pada Sistem Air Handling Unit
(Dewi Purnama Sari, Een Taryana, Giri Angga Setia : 13 - 22)**

Karena menggunakan sumber tiga fasa maka dalam perancangan tiap fasa diberi rangkaian filter pasif harmonisa. Filter yang dirancang disini adalah filter pasif LC yang digunakan untuk mereduksi harmonisa yang dominan pada harmonisa ke-5 dan ke-7. Perancangan pemasangan filter harmonisa ini menggunakan software yaitu ETAP Power Station 12.60. berikut SLD AHU sebelum dipasang filter.



Gambar 8. SLD AHU-23 menggunakan ETAP 12.6

Adanya harmonisa arus atau tegangan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan rugi-rugi daya atau losses. Oleh karena itu diperlukan pemasangan filter harmonisa untuk kasus seperti ini digunakan filter *single tuned* yang ditransformasikan menjadi filter *double tuned* untuk mereduksi harmonisa yang terjadi. Dengan mentransformasi atau konversi dua buah filter *single tuned* pada frekuensi yang berbeda menjadi filter *double tuned* seperti yang ditampilkan pada tabel berikut :

TABEL 5. PARAMETER SINGLE TUNED SEBELUM DITRANSFORMASI

Parameter	R (Ω)	L (mH)	C (μF)
Filter h-5(a)	$6,4 \times 10^{-6}$	4,1	98
Filter h-7(b)	4×10^{-6}	1,91	98

$$a = \frac{C_a}{C_b};$$

$$\text{dan } x = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}}$$

$$= \frac{98\mu F}{98\mu F} = 1 \qquad = \sqrt{\frac{1,91 \times 98}{4,1 \times 98}} = 0,3$$

$$C_1 = C_a + C_b$$

$$C_1 = 98\mu F + 98\mu F = 196\mu F$$

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 + (L_a + L_b)} \qquad L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b}$$

$$= \frac{(4,1 \cdot 98 - 1,91 \cdot 98)^2}{(98 + 98)^2 + (4,1 + 1,91)} = \frac{4,1 \cdot 1,91}{4,1 + 1,91}$$

$$L_2 = 3,71 \text{ mH} \quad L_1 = 1,3 \text{ mH}$$

$$R_2 = R_a \left[\frac{a^2 (1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right] + R_b \left[\frac{(1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right]$$

$$+ R_1 \left[\frac{a (1-a)(1-x^2)}{(1+a)^2 (1+x^2)} \right]$$

$$= 6,4 \times 10^{-6} \left[\frac{1^2 (1-0,3^2)}{(1+1)^2 (1+0,3^2)} \right] + 4 \times 10^{-6} \left[\frac{(1-0,3^2)}{(1+1)^2 (1+0,3^2)} \right]$$

$$+ R_1 \left[\frac{1 (1-1)(1-0,3^2)}{(1+1)^2 (1+0,3^2)} \right] = 2,08 \times 10^{-6}$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b)(L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_a + L_b)}$$

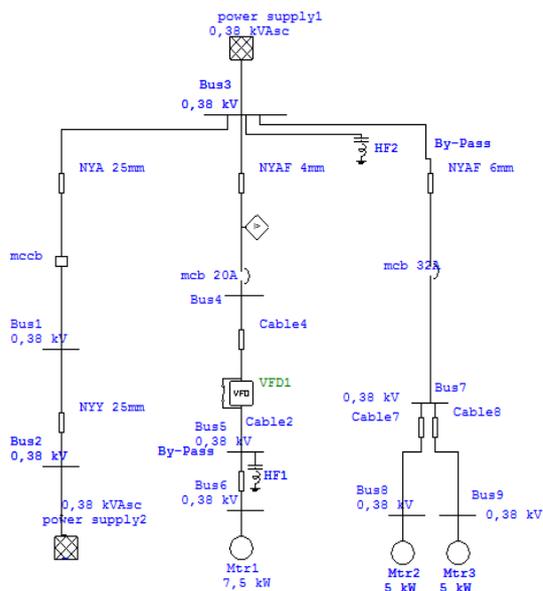
$$= \frac{98 \times 10^{-6} \cdot 98 \times 10^{-6} (98 \times 10^{-6} + 98 \times 10^{-6})(4,1 \times 10^{-3} + 1,91 \times 10^{-3})^2}{(4,1 \times 10^{-3} \cdot 98 \times 10^{-6} - 4,1 \times 10^{-3} + 1,91 \times 10^{-3})}$$

$$= 190,1 \mu F.$$

TABEL 6. PARAMETER FILTER DOUBLE TUNED

Sisi	kV	Komponen	Double tuned	
Bus 3	0,38	Qc (kVAR)	2,97	2,97
		Orde h-	5	7
		R (Ω)	0,1	0,0208
		L (mH)	1,3	3,71
		C (μF)	196	190,1
Bus 5	0,38	Qc (kVAR)	2,97	2,97
		Orde h-	5	7
		R (Ω)	0,1	0,0208
		L (mH)	1,3	3,71
		C (μF)	196	190,1

Setelah pengukuran selesai dan parameter didapatkan nilainya, maka mulai dengan membuat sebuah simulasi dengan ETAP 12.6. Penganalisan peletakkan filter yang direncanakan sesuai Tabel 6. Berikut hasil pengaplikasian parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.

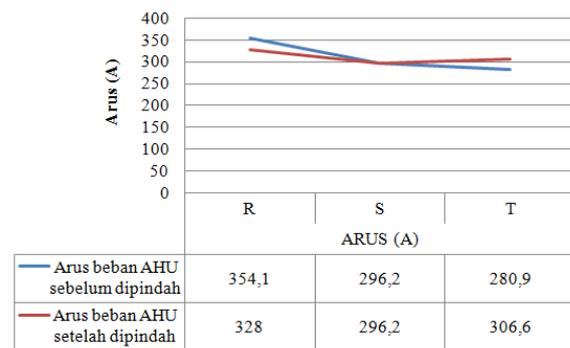


Gambar 9. Simulasi Pemasangan Filter Harmonisa Pada Sistem AHU-23

C. Hasil Analisis Ketidakseimbangan Fasa

Setelah melakukan penyeimbangan arus beban per fasa dan melakukan analisis ketidakseimbangan fasa pada sistem AHU. Dapat diperoleh hasil sebagai berikut :

Hasil Penyeimbangan Arus Beban AHU



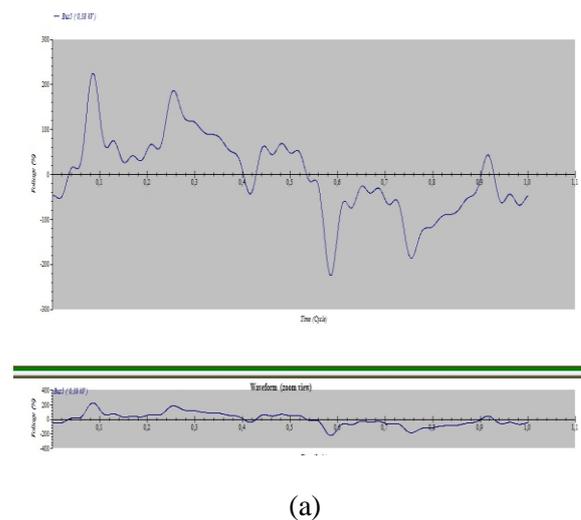
Gambar 10. Hasil penyeimbangan arus beban AHU

Dari Grafik 1 menunjukkan penurunan ketidakseimbangan fasa pada sistem AHU untuk arus R sebesar 26,1 A. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setelah melakukan pengujian dan penyeimbangan beban pada sistem AHU di PT. Medion terjadi penurunan ketidakseimbangan fasa sebesar 5,6%. Dengan nilai awal ketidakseimbangan sistem AHU di PT. Medion sebesar 9,6% turun menjadi 4%.

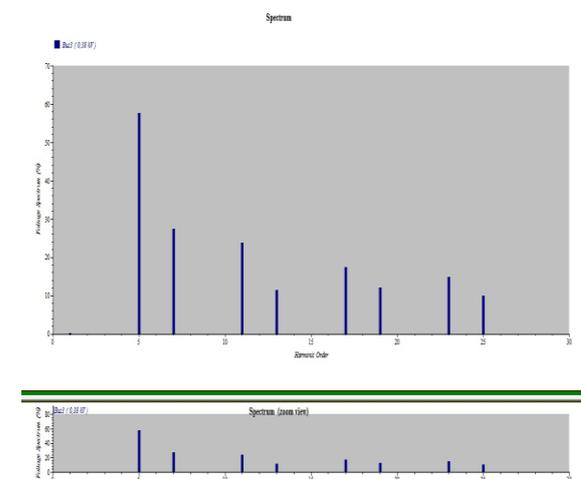
D. Hasil Analisis Harmonisa

Dengan melakukan simulasi pemasangan filter harmonisa pada dua bus, yaitu bus 3 dan bus 5.

Maka diperoleh hasil bahwa pemasangan filter yang optimal dengan hasil sebagai berikut :

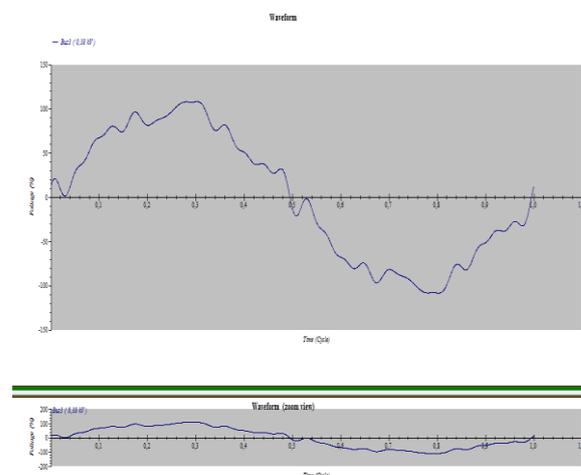


(a)

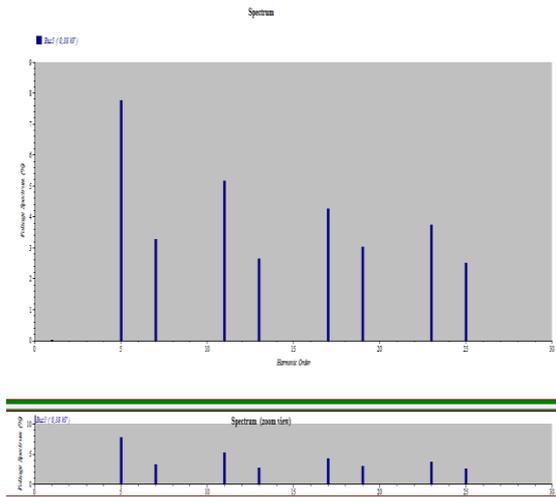


(b)

Gambar 11. Grafik Gelombang (a) dan spektrum harmonisa (b) pada sistem sebelum pemasangan filter



(a)



(b)

Gambar 12. Grafik Gelombang (a) dan spektrum harmonisa (b) pada sistem setelah pemasangan filter

Dari gambar sebelumnya, terlihat ada penurunan jumlah THD yang terjadi setelah dilakukan pemasangan filter terlihat penurunan bila dibandingkan dengan sebelum dilakukan pemasangan filter harmonisa pada sistem seperti yang diperlihatkan pada Gambar 12 sampai 13, maka dapat diperoleh komponen fundamental dan komponen harmonisa tegangan pada bus 3 dan bus 5 setelah pemasangan filter adalah sebagai berikut:

$$V_{(t)} = 0,0037 \sin \omega t + 0,0774 \sin 5 \omega t + 0,0329 \sin 7 \omega t + 0,0516 \sin 11 \omega t$$

$$V_{1 \text{ rms}} = \frac{V_1}{\sqrt{2}} = \frac{0,0037}{\sqrt{2}} = 2,61 \times 10^{-3} \text{V}$$

$$V_{5 \text{ rms}} = \frac{V_5}{\sqrt{2}} = \frac{0,0774}{\sqrt{2}} = 0,0547 \text{V}$$

$$V_{7 \text{ rms}} = \frac{V_7}{\sqrt{2}} = \frac{0,0329}{\sqrt{2}} = 0,0232 \text{V}$$

$$V_{11 \text{ rms}} = \frac{V_{11}}{\sqrt{2}} = \frac{0,0516}{\sqrt{2}} = 0,0364 \text{V}$$

Maka nilai efektif sinyal non-sinus pada bus 3 dapat dihitung :

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_{1 \text{ rms}}^2 + V_{5 \text{ rms}}^2 + V_{7 \text{ rms}}^2 + V_{11 \text{ rms}}^2}$$

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{(2,61 \times 10^{-3})^2 + 0,0547^2 + 0,0232^2 + 0,0364^2}$$

$$V_{\text{rms}} = 0,098 \text{V}$$

Komponen fundamental dan komponen harmonisa arus pada bus 3 dan bus 5 adalah sebagai berikut:

$$I_{(t)} = 0,0261 \sin (\omega t - 30) + 0,0516 \sin (5 \omega t - 60)$$

$$+ 0,0219 \sin (7 \omega t - 85) + 0,0343 \sin (11 \omega t - 100)$$

$$I_{1 \text{ rms}} = \frac{I_1}{\sqrt{2}} = \frac{0,0261}{\sqrt{2}} = 0,0184 \text{A}$$

$$I_{5 \text{ rms}} = \frac{I_5}{\sqrt{2}} = \frac{0,0516}{\sqrt{2}} = 0,0364 \text{A}$$

$$I_{7 \text{ rms}} = \frac{I_7}{\sqrt{2}} = \frac{0,0219}{\sqrt{2}} = 0,0154 \text{A}$$

$$I_{11 \text{ rms}} = \frac{I_{11}}{\sqrt{2}} = \frac{0,0343}{\sqrt{2}} = 0,0242 \text{A}$$

Maka nilai efektif arus sinyal non-sinus pada bus 3 dan 5 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3] :

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_{1 \text{ rms}}^2 + I_{5 \text{ rms}}^2 + I_{7 \text{ rms}}^2 + I_{11 \text{ rms}}^2}$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{0,0184^2 + 0,0364^2 + 0,0154^2 + 0,0242^2}$$

$$I_{\text{rms}} = 0,0498 \text{A}$$

Sedangkan nilai efektif komponen harmonisa tegangan dan arus pada bus 3 dan 5 adalah sebagai berikut:

$$V_{h \text{ rms}} = \sqrt{V_{5 \text{ rms}}^2 + V_{7 \text{ rms}}^2 + V_{11 \text{ rms}}^2}$$

$$V_{h \text{ rms}} = \sqrt{0,0547^2 + 0,0232^2 + 0,0364^2}$$

$$V_{h \text{ rms}} = 0,0565 \text{V}$$

$$I_{h \text{ rms}} = \sqrt{I_{5 \text{ rms}}^2 + I_{7 \text{ rms}}^2 + I_{11 \text{ rms}}^2}$$

$$I_{h \text{ rms}} = \sqrt{0,0364^2 + 0,0154^2 + 0,0242^2}$$

$$I_{h \text{ rms}} = 0,0372 \text{A}$$

Maka diperoleh nilai THD dengan persamaan berikut [3]:

$$\text{THD}_i = \frac{I_{h \text{ rms}}}{I_{1 \text{ rms}}} \times 100\% = \frac{0,0372}{0,0184} = 74,69\%$$

Setelah perhitungan THD_i diperoleh, selanjutnya dapat dihitung daya fundamental pada bus 3 dan 5 dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$P_n = \sqrt{3} \times V_n \times I_n \times \cos \phi$$

$$(4.3)$$

$$P_1 = \sqrt{3} \times (2,61 \times 10^{-3}) \times 0,0184 \times 0,90$$

$$P_1 = 7,48 \times 10^{-5} \text{ watt}$$

Komponen daya harmonisa dapat diperoleh dengan persamaan 4.3 sebagai berikut [3]:

$$P_5 = \sqrt{3} \times 0,0547 \times 0,0364 \times 0,9$$

$$P_5 = 3,1 \times 10^{-3} \text{ watt}$$

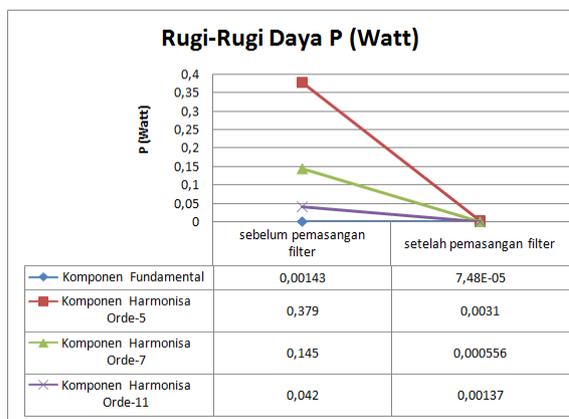
$$P_7 = \sqrt{3} \times 0,0232 \times 0,0154 \times 0,9$$

$$P_7 = 5,56 \times 10^{-4} \text{ watt}$$

$$P_{11} = \sqrt{3} \times 0,0364 \times 0,0242 \times 0,9$$

$$P_{11} = 1,37 \times 10^{-3} \text{ watt}$$

Hasil yang menunjukkan perubahan besar rugi-rugi daya yang terdapat di bus 3 dan bus 5 pada sistem AHU PT Medion Farma Jaya. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Grafik 2 sebagai berikut :



Gambar 13. Grafik rugi-rugi daya pada sistem AHU

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir yang dilaksanakan pada sistem AHU di PT MEDION FARMA JAYAdapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: Masalah Ketidakseimbangan Fasa dapat ditanggulangi dengan melakukan pembagian arus beban per fasa sehingga dalam sistem AHU mampu menurunkan ketidakseimbangan beban sebesar 4% dengan penurunan arus beban pada fasa R sebesar 26,1 A. Pada awalnya penggunaan beban pada arus beban fasa R untuk sistem AHU di PT. Medion itu sebesar 354,1A menjadi 328 A, untuk arus beban fasa S dengan nilai tetap karena tidak dilakukan pemindahan fasa yaitu sebesar 296,2A, sedangkan untuk arus beban fasa T sebesar 280,9 A menjadi 306,6 A.

Untuk mereduksi harmonisa yang terjadi pada sistem maka dilakukan pemasangan filter pasif.

Karena nilai harmonisa perfasanya berbeda maka diperlukan pembuatan filter pasif yang digunakan adalah *single tuned filter 5th* dan *single tuned filter 7th* yang ditransformasi menjadi filter pasif *double tuned* perencanaannya akan dipasang pada jala-jala distribusi mesin AHU.

Simulasi yang dilakukan menggunakan software ETAP 12.6 dengan memasang filter *single tuned* yang ditransformasikan menjadi *double tuned* pada bus 3 dan bus5 terbukti mampu menurunkan rugi-rugi daya pada sistem AHU dan mereduksi harmonisadengan penurunan nilai THDi pada bus 3 sebesar 74,38% menjadi 12,33%, sedangkan pada bus 5 sebesar 74,71% menjadi 12,39%..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] William D. Stevenson JR, "Analisis Sistem Tenaga" dalam terjemahan Budiono Mismail Jilid 1, Edisi IV, Malang: Universitas Brawijaya, 1983.
- [2] Sudaryatno Sudirham, "Analisis Rangkaian Sistem Tenaga (pembebanan seimbang, non-linier, tak seimbang)" jilid 3, Penerbit Darpublic, Bandung, 2012.
- [3] I Wayan Yoga Prasetya, I Nyoman Setiawan, I Gede Dyana Arjana. Analisis Ketidakseimbangan Beban dan Harmonisa pada Transformator Distribusi MI 0096 Penyulang Abianbase. Jurnal Spektrum, Vol. 7, No. 1, Maret 2020.
- [4] Hadi Sugiarto. Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak. Vokasi, Vol. 8, No. 2, 2012. ISSN 1693 – 9085. Hal 80 - 89
- [5] Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 GI Sronol Terhadap Rugi-rugi Akibat Arus dan Suhu Trafo Menggunakan ETAP 12.6. Jurnal Transient, Vol. 5, No. 4, Desember 2016. ISSN: 2302-9927, 426.
- [6] J.C. Das. "Power System Analysis (Short-Circuit, Load Flow, and Harmonics)". Penerbit Atlanta: Marcel Dekker, Inc, 2002.
- [7] Roger C Dugan, Mark F. Mcgranaghan, "Electrical Power Systems Quality: 3rd Edition", Edisi 3, PenerbitTata McGraw-Hill Education, 2012.
- [8] Schneider Electric. PowerLogic™ PM5100 Series Power and Energy Meter User Guide ", 2015.