

Analisis dan Desain Filter Pasif Terhadap Harmonisa Pada Suatu Gedung Perkantoran

Analysis and Design of Passive Filters for Harmonics in an Office Building

Usamah¹ dan Budi Sudiarto²

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok

²Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
usamah11@ui.ac.id

ABSTRAK

Abstrak—Penelitian ini dilakukan di suatu gedung perkantoran yang terletak di daerah Jl. TB Simatupang no 18, Jakarta Selatan. Pada gedung ini banyak menggunakan beban non-linear yang memicu adanya harmonisa. Adanya gejala harmonisa ditandai dengan tingginya nilai THD₁. Nilai THD₁ yang terukur dari transformator PUTR-1 sebesar 20,1% dan arusnya sebesar 1.525,80 A. Pada penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai *derating factor* akibat adanya gangguan harmonisa, mendesain filter harmonisa (*single passive tuned filter*), menghitung seberapa besar pengaruh filter terhadap harmonisa dan menghitung seberapa besar investasi yang akan dikeluarkan jika filter diterapkan. Metode yang digunakan adalah memasukkan rumus-rumus kedalam aplikasi Microsoft Excel. Berdasarkan dari hasil perhitungan, nilai dari *derating factor* terbesar sebelum difilter yaitu sebesar 96,35% dari pembebanan maksimalnya. Untuk meminimalisasi kerugian yang dihasilkan harmonisa, pada penelitian ini mencoba mendesain filter harmonisa (*single passive tuned filter*) dengan parameter-parameter C, L dan R pada orde harmonisa ke-3, 5, 11 dan 17. Dari desain tersebut dapat menurunkan TDD maksimal di ke-3 fasa (R, S dan T) dapat menurunkan rugi-rugi daya sebesar 36,37% dari semula dan dapat menaikkan nilai *derating factor* terbesar menjadi 98,73% . Perkiraan investasi total jika filter diterapkan sebesar \$8.000 (sebesar Rp120.000.000 dengan asumsi \$1 = Rp15.000) selama 5 tahun 1 bulan.

Kata kunci: Perkantoran ; Harmonisa; filter pasif (*single passive tuned filter*); investasi; Transformator distribusi

ABSTRACT

Abstract— *This research was conducted in an office building located in the Jl. TB Simatupang no 18, South Jakarta. This building uses a lot of non-linear loads which trigger harmonics. The presence of harmonic symptoms is indicated by a high THD₁ value. The THD₁ value measured from the PUTR-1 transformer is 20.1% and the current is 1,525.80 A. This research aims to find the value of the derating factor due to harmonic interference, design a harmonic filter (single passive tuned filter), calculate how big the influence is. filter for harmonics and calculate how much investment will be incurred if the filter is applied. The method used is entering formulas into the Microsoft Excel application. Based on the calculation results, the value of the largest derating factor before filtering is 96,35% of the maximum load. To minimize losses resulting from harmonics, in this research we try to design a harmonic filter (single passive tuned filter) with parameters C, L and R in the 3rd, 5th, 11th and 17th harmonic orders. From this design we can reduce the maximum TDD at The 3 phases (R, S and T) can reduce power losses by 36,37% from the original and can increase the derating factor value to 98.73%. The estimated total investment if the filter is applied is \$8,000 (IDR 120,000,000 assuming \$1 = IDR 15,000) for 5 years 1 months.*

Keywords *Office; Harmonics; passive filter (single passive tuned filter); investment; Distribution transformer*

1. PENDAHULUAN

Dalam distribusi sistem tenaga listrik, gedung perkantoran adalah salah satu sektor pengguna energi listrik terbesar. Ini dikarenakan sebagian besar peralatan yang digunakan dalam perkantoran adalah peralatan listrik. Peneliti [1] mengatakan bahwa hampir semua peralatan listrik merupakan peralatan elektronik (mikro elektronik). Sebagai contoh *air conditioner* (AC), kipas angin, mesin pompa air, komputer dan sebagainya. Peneliti [2] mengatakan bahwa dalam sistem tenaga listrik, alat elektronik mempunyai dua sisi, disatu sisi dapat memudahkan pekerjaan namun disisi lain dapat mempengaruhi kualitas daya yang didapat dari transformator karena alat elektronik merupakan beban elektronik, salah satunya adalah harmonisa.

Harmonisa merupakan bentuk gelombang periodik yang memiliki frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar suatu sistem. Peneliti [3] mengatakan, adanya harmonisa dapat mendistorsi gelombang fundamentalnya dan peneliti [4] mengatakan, harmonisa dapat membuat gelombang utama menjadi gelombang cacat dan tidak berbentuk sinusoidal seperti semestinya. Peneliti [5] mengatakan bahwa Harmonisa perlu mendapat perhatian karena tanpa disadari dapat menimbulkan kerugian yang relatif besar terutama pada pemakai energi yang besar seperti gedung perkantoran dan sektor industri. Berdasarkan peneliti-peneliti diatas, kajian mengenai harmonisa cukup penting untuk dibahas mengingat dalam sistem tenaga listrik kita masih menggunakan sumber arus *alternating current* (AC) dimana gelombang arusnya merupakan gelombang sinusoidal. Adanya gangguan dari harmonisa berdampak tidak hanya dari sisi *supplier energy* (PLN) tetapi dirasakan juga disisi konsumen.

Terkait dengan adanya gangguan harmonisa pada gedung perkantoran, para peneliti melakukan berbagai riset pada gedung di daerah masing-masing. Peneliti [6] [7] hanya melakukan pengukuran dan menganalisa nilai THD (arus dan tegangan) pada gedung masing-masing. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa masing-masing gedung terindikasi adanya gangguan harmonisa karena nilai dari THD_I diatas standar [8]. Peneliti [9] meneliti beberapa beban di suatu kantor. Hasil penelitian menyatakan beberapa beban terindikasi menghasilkan harmonisa yang cukup besar. Peneliti [10] melakukan simulasi harmonisa di suatu kampus. Penelitiannya adalah dengan mendesain ulang sistem kelistrikan disana, hasil simulasinya dapat mereduksi nilai THD_I dan THD_V dari sistem yang eksisting. Peneliti [11] [12] [13] [14] [15] melakukan simulasi mitigasi harmonisa di tempat masing-masing dengan merancang sebuah filter pasif. Hasil dari desain filter mereka ternyata efektif untuk mengurangi harmonisa.

Dari beberapa literatur diatas, Pada penelitian saat ini mengambil tema mitigasi harmonisa dengan mendesain filter pasif pada suatu gedung perkantoran beserta besar investasinya. Penelitian ini dilakukan pada salah satu gedung perkantoran yang terletak di daerah Pasar Minggu, Jakarta Selatan, di Jl. TB Simatupang no 18. Gedung ini memiliki 2 buah transformator daya untuk mendistribusikan daya ke beban-beban dikawasan gedung, yang diberi kode PUTR-1 (Panel Utama Tegangan Rendah 1) dan PUTR-2 (Panel Utama Tegangan Rendah 2). Seperti gedung kantor pada umumnya, gedung ini menggunakan banyak beban non-linear yang dapat memicu adanya gangguan harmonisa yang cukup besar. Hal ini dibuktikan dengan nilai THD_I yang terukur pada waktu jam kerja dan malam hari diatas standar [16]. Dampak dari adanya harmonisa yaitu semakin besarnya harmonisa, semakin besar rugi-rugi (*losses*) di inti dan belitan pada transformator PUTR-1 dan PUTR-2 yang menyebabkan kedua transformator menjadi cepat panas sehingga faktor *derating* semakin turun [2]. Kajian mengenai mitigasi kualitas daya pada suatu gedung 18-*Office Park*, pernah dilakukan oleh peneliti [17] pada tahun 2023. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa kedua transformator telah memenuhi standar yang berlaku dengan $THD_V < 5,0\%$ dan $IHD_V < 3,0\%$, kedua transformator belum memenuhi standar ketenagalistrikan dengan kedua nilai $TDD > 8,0\%$, nilai THD_I kedua transformator kedua transformator yaitu pada transformator 1 (PUTR-1) dengan parameter THD_I yang terukur sebesar 25,31% ketika arus pada saat tersebut sebesar 1195,60 A dan transformator 2 (PUTR-2) dengan parameter THD_I yang terukur sebesar 21,8% ketika arus pada saat tersebut sebesar 1.360 A, nilai THD_I kedua tranformator belum memenuhi standar karena terdapat orde harmonik dengan IHD arus diatas 7,0% dan 3,5% dan berdasarkan hasil faktor *derating*, kedua transformator memiliki hasil pembebanan maksimum baru diatas 80% sehingga apabila satu transformator tidak bisa bekerja maka transformator lainnya dapat menyuplai beban-beban tambahan tersebut, dan seterusnya.

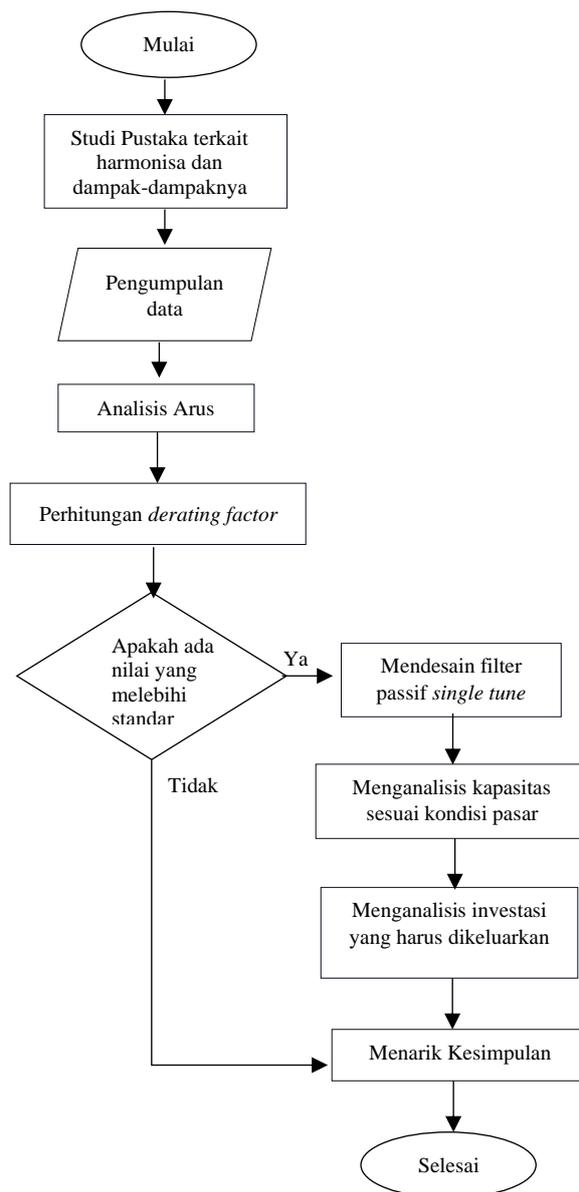
Pada penelitian saat ini, objek yang diamati sama dengan peneliti [17], namun yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah objek yang diamati hanya 1 transformator saja (PUTR-1) dan parameter THD_I yang terukur sebesar 20,1% ketika arus pada saat tersebut sebesar 1.525,80 A pada hari yang berbeda dengan penelitian sebelumnya.

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

Dalam penelitian bertujuan ini melihat beberapa dampak harmonisa pada Transformator 1 yaitu seberapa besar kemampuan batas maksimal transformator PUTR-1 dengan adanya harmonisa (*derating factor*), mendesain filter harmonisa (*single passive tuned filter*), menghitung seberapa besar pengaruh filter pasif terhadap harmonisa dan menghitung seberapa besar investasi yang akan dikeluarkan jika filter tersebut diterapkan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melakukan pendekatan yang bersifat kuantitatif karena penelitian ini ingin menghitung seberapa besar kerugian yang dihasilkan oleh harmonisa dan mendesain sebuah filter pasif (*single passive tuned filter*) untuk meminimalisasi adanya harmonisa. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menghitung dan mengolah data-data menggunakan rumus-rumus [8] ke dalam aplikasi Microsoft Excel. Gambar 1 adalah diagram tahapan-tahapan dari penelitian, yaitu :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah dengan berkonsultasi dengan pembimbing, yaitu dengan cara meminta bimbingan dan diskusi kepada dosen pembimbing. Setelah mendapatkan topik tersebut lalu

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

dilakukan studi pustaka yang berasal dari buku, jurnal ilmiah, makalah, laporan penelitian dan sebagainya yang sumber utamanya adalah media elektronik berkaitan dengan dampak Harmonisa. Setelah melakukan studi literatur, tahap berikutnya adalah mengumpulkan dan mengelompokkan data-data mengenai spesifikasi dari PUTR-1 seperti pada tabel 1 :

Tabel 1. Spesifikasi transformator PUTR-1 [17]

Keterangan	Transformator PUTR-1	
	Nilai	Satuan
Kapasitas Daya	2500	kVA
Tegangan Sisi Primer	20	kV
Tegangan Sisi Sekunder	400	V
Arus Tegangan Tinggi (HV Current)	72,17	A
Arus Tegangan Rendah (LV Current)	3608,44	A
Rasio Kumparan	50	-
Koneksi Kumparan	DELTA-WYE	-
Persen Impedansi	7	%
Load Losses	28000	W
No Load Losses	2800	W
Arus Eksitasi	2	%
Frekuensi	50	Hz
Berat Total	6171	kG
Suhu Sekitar	40	°C
Kenaikan Suhu	60/65	°C

Data lain yang dibutuhkan adalah data dari THD_1 (Total Harmonic Distortion arus) dan TDD dengan persamaan sebagai berikut [17]:

$$THD_1 = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana THD_1 merupakan THD pada komponen arus dalam satuan persen, I_h merupakan nilai arus harmonisa pada orde ke h dalam satuan Ampere, I_1 merupakan nilai arus fundamental dalam satuan Ampere dan h merupakan dari orde harmonisa, baik I maupun I_h didapatkan dengan menggunakan alat ukur power quality analyzer HIOKI 3169-20 diatur pada konfigurasi kabel 3P4W (*three-phase-four-wire*). Setelah mendapatkan nilai THD_1 tertinggi selama periode pengukuran, lalu mencari nilai TDD pada waktu tersebut dengan menggunakan persamaan berikut [17]:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hmax} I_h^2}}{I_L} \quad (2)$$

Dimana TDD merupakan nilai THD_1 pada komponen arus maksimal dalam satuan persen, I_h merupakan nilai nilai arus harmonisa pada orde ke h dalam satuan Ampere, I_L merupakan nilai arus fundamental pada saat beban puncak dalam satuan Ampere dan h merupakan orde harmonisa (3,5,7, dst). Dari hasil penelitian sebelumnya didapatkan bahwa TDD pada transformator 1 sebesar 20,1 %.

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

Setelah mendapatkan nilai TDD yang menggambarkan seberapa besar harmonisa maksimal yang ada pada sistem, maka data yang diperlukan berikutnya yaitu nilai dari IHD_1 pada saat dimana nilai THD-nya tertinggi dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$IHD_1 = \frac{\sqrt{I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana IHD_1 merupakan nilai IHD arus pada orde harmonik ke-h dalam satuan persen, I_h merupakan nilai arus harmonik pada orde ke-h dalam satuan Ampere, I_1 merupakan nilai arus fundamental dalam satuan Ampere. Parameter IHD_1 ini nanti dibutuhkan untuk mendesain filter pasif pada orde harmonisa tertentu.

Nilai IHD_1 selain digunakan untuk mendesain filter, nilai ini dapat digunakan untuk menghitung penurunan kinerja dari transformator (*Derating Factor*). Untuk menghitung nilai *Derating Factor*, dapat menggunakan persamaan [17]:

$$Derating Factor = \frac{1}{K} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana nilai dari *Derating Factor* menunjukkan seberapa besar transformator dapat diberikan pembebanan maksimal yang diakibatkan adanya harmonisa. Untuk menghitung nilai faktor K, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [17]:

$$K = \left[1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I} \right)^2 \sum_{n=2}^{n=N} n^q \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Dimana e merupakan Rugi arus eddy akibat arus sinusoidal pada frekuensi fundamental dibagi terhadap rugi akibat arus DC pada suhu acuan, q merupakan Konstanta eksponensial (nilai yang digunakan adalah 1,7), I_1 merupakan Arus fundamental (A), dan I_n merupakan Arus harmonik orde ke-n (A).

Setelah mendapatkan nilai *Derating Factor*, tahapan selanjutnya yaitu mendesain filter pasif. Filter ini berfungsi untuk meminimalisasi adanya gangguan dari harmonisa. Pada tahapan ini, data yang diperlukan adalah nilai-nilai IHD_1 untuk mengetahui pada orde berapa harmonisanya tidak sesuai standar [16]. Setelah mengetahui orde harmonisa yang tidak sesuai dengan standar, lalu mendesain sebuah filter pasif untuk mereduksi harmonisa pada orde tersebut. Beberapa parameter untuk mendesain filter tersebut yaitu kapasitor (C), Induktor (L) dan Resistor (R) untuk setiap ordenya dengan rumus [11]:

$$X_C = \frac{V^2}{Q_{comp}} \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (7)$$

$$X = \frac{1}{2\pi f n C} \quad (8)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f n} \quad (9)$$

$$R = \frac{2\pi f L}{Q} \quad (10)$$

Setelah mendesain filter, langkah berikutnya adalah menghitung impedansi dari transformator. Nilai ini dibutuhkan untuk mencari seberapa besar arus IHD_1 yang menuju transformator. Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai impedansi transformator [18]:

$$Z_{12} = (\%Z) \frac{V}{S} \quad (11)$$

$$Z_0 = 3 Z_{12} \quad (12)$$

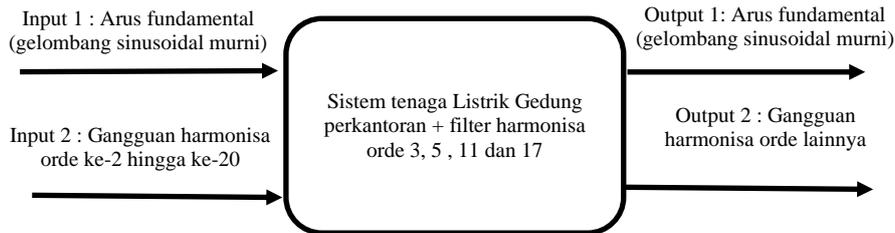
Analisis dan Desain Filter Pasif ...

Dimana Z_{12} adalah impedansi urutan positif dan negatif pada transformator (Ω), Z_0 adalah impedansi urutan 0 pada transformator, $\%Z$ merupakan persen impedansi dari transformator (%), V_p adalah tegangan pada sisi sekunder (V) pada transformator, S adalah kapasitas dari transformator (VA).

Setelah mendesain menghitung impedansi, langkah berikutnya menghitung seberapa lama investasi berlangsung. Untuk menghitung lama investasinya dengan persamaan berikut :

$$T = \frac{I_t}{P_{PH}} \quad (13)$$

Dimana T merupakan lama investasi dalam satuan tahun, I_t merupakan biaya total investasi dalam satuan Rupiah, dan P_{PH} merupakan biaya efektifitas filter terhadap kerugian yang diakibatkan harmonisa (Rupiah/ tahun). Adapun diagram blok sistem pada penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 2 Blok diagram sistem

Gambar 2 merupakan blok diagram diatas menggambarkan sistem kelistrikan di gedung perkantoran ini mendapatkan input berupa arus listrik yang berasal dari PLN dan gangguan harmonisa dari beban-beban non-linear yang terpasang. Setelah input tersebut masuk kedalam sistem yang sudah di desain filter harmonisa, maka otomatis gangguan harmonisa tersebut berkurang. Sehingga output yang keluar dari sistem yaitu arus fundamental dan gangguan harmonisa, namun gangguan harmonisa relatif lebih kecil karena gangguan terbesarnya sudah difilter, sehingga harmonisa orde sisa tersebut masih dibawah standar [16].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya harmonisa dalam suatu sistem kelistrikan ternyata menimbulkan kerugian, kerugian yang dihasilkan tidak hanya dapat mengganggu kinerja dari suatu beban namun ternyata dapat menambah biaya pada tagihan listrik. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba menghitung seberapa besar kerugian-kerugian yang dapat dihitung akibat adanya harmonisa.

Seperti yang disinggung pada penjelasan sebelumnya, fokus pada penelitian ini yaitu parameter TDD yang terukur sebesar 20,1% ketika arus pada saat tersebut paling tinggi yaitu sebesar 1.525,80 A pada fasa R, dari hasil tersebut didapatkanlah nilai IHD_1 ketika di jam kerja.

Berikut adalah tabel nilai IHD_1 sesuai pembagian waktu diatas:

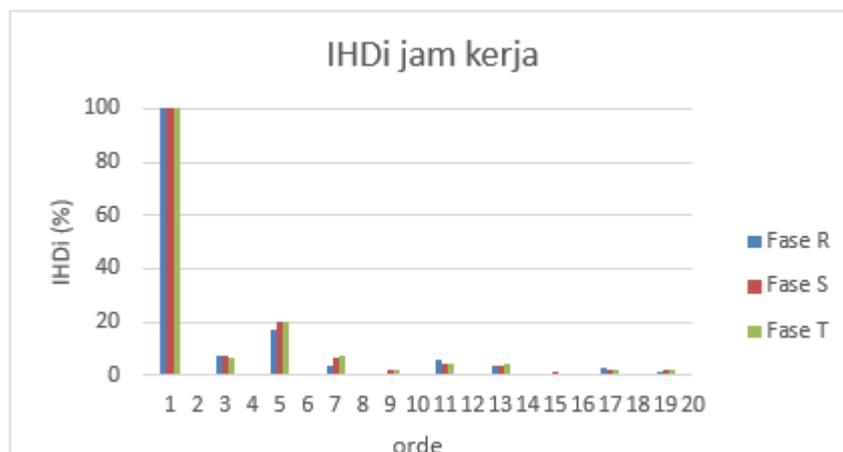
Tabel 2. Tabel IHD_1 ketika hari senin - jumat pada jam 06.01 WIB – 18.00 WIB (Fasa R, S dan T)

Orde	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	[A]	IHD_1 (%)	[A]	IHD_1 (%)	[A]	IHD_1 (%)
1	1495,90	100	1389,80	100	1335,20	100,00
2	4,50	0,30	3,80	0,27	3,60	0,27
3	109,00	7,29	99,00	7,12	87,90	6,58
4	0,90	0,06	1,30	0,09	0,30	0,02
5	252,90	16,91	278,00	20,00	263,70	19,75
6	0,50	0,03	0,80	0,06	0,50	0,04

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

Orde	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	[A]	IHD _i (%)	[A]	IHD _i (%)	[A]	IHD _i (%)
7	54,20	3,62	88,20	6,35	96,40	7,22
8	0,90	0,06	0,20	0,01	0,30	0,02
9	8,90	0,59	24,00	1,73	25,00	1,87
10	0,60	0,04	0,60	0,04	0,30	0,02
11	82,20	5,50	59,70	4,30	60,70	4,55
12	0,60	0,04	0,40	0,03	0,20	0,01
13	51,40	3,44	52,50	3,78	56,60	4,24
14	0,90	0,06	0,50	0,04	0,50	0,04
15	11,00	0,74	15,40	1,11	11,40	0,85
16	0,50	0,03	0,40	0,03	0,10	0,01
17	39,00	2,61	26,30	1,89	26,20	1,96
18	0,30	0,02	0,30	0,02	0,20	0,01
19	21,00	1,40	31,30	2,25	27,70	2,07
20	0,30	0,02	0,00	0,00	0,20	0,01

Tabel 2 merupakan hasil pengukuran IHD_i pada saat jam kerja. Pada tabel tersebut terlihat bahwa arus orde 1 pada fasa R merupakan arus tertinggi selama proses pengukuran, berikutnya fasa S dan fasa T. Oleh karena itu, dalam mendesain orde filter pasif akan mengacu kepada fasa R. Gambar 3 merupakan grafik IHD_i arus 3 fasa selama jam kerja



Gambar 3 Grafik IHD arus 3 fasa (R, S dan T) selama jam kerja

Dari hasil perhitungan, didapatkanlah nilai SC_{ratio} sebesar 35,71. Nilai ini dibandingkan dengan standar [16] yang mengatur bahwa batas maksimal dari nilai IHD_i sebesar 7%, 3,5%, 2,5%, 1,0% atau 0,5%. Berdasarkan standar tersebut, orde harmonisa yang diatas standar [16] (fasa R yang diberi warna merah) adalah orde ke-3, orde ke-5, orde ke-11 dan orde ke-17 (hari kerja pada jam kerja). Oleh karena itu, kedepannya akan didesain filter harmonisa pada orde tersebut dengan frekuensinya sebesar 150 Hz, 250 Hz, 550 Hz dan 850 Hz.

Selain itu, penelitian ini melakukan perhitungan mengenai nilai *Derating factor* dari Tansformator 1 dengan menggunakan persamaan (4) dan (5), nilai yang didapat pada fasa R, S dan T secara berturut-turut adalah 96,60%, 96,35% dan 96,49%. Nilai fasa *derating factor* S paling rendah ini menandakan gangguan harmonisa terbesar pada fasa S.

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

Dalam mendesain filter passif tersebut persamaan yang digunakan adalah persamaan (6)(7)(8)(9)(10), yang perlu diperhatikan adalah nilai $Q_{\text{compensator}}$ sebesar 200 KVAR dikarenakan nilai Q (Daya Reaktif) pada saat nilai THD maksimal sebesar 50 kVAR dan nilai Q (faktor kualitas) sebesar 50. Tabel 3 adalah hasil dari desain filter tersebut :

Tabel 3. Parameter-parameter dalam mendesain filter pasif

Parameter	orde 3	orde 5	orde 11	orde 17
C	$3,3 \times 10^{-4} F$			
L	$34 \times 10^{-5} H$	$12 \times 10^{-5} H$	$5,6 \times 10^{-5} H$	$3,6 \times 10^{-5} H$
R	$2,2 \times 10^{-3} \Omega$	$7,7 \times 10^{-4} \Omega$	$3,5 \times 10^{-4} \Omega$	$2,3 \times 10^{-4} \Omega$

Setelah mendesain filter pasif untuk harmonisa, tahapan berikutnya yaitu menghitung seberapa besar biaya investasi ketika filter tersebut jika diterapkan. Besar total investasi jika filter tersebut diterapkan yaitu sebesar \$8.000,00 atau Rp 120.000.000,00 (dengan asumsi \$1 = Rp 15.000,00) selama 5,1 tahun (kurang lebih 5 tahun 1 bulan). Filter ini ketika di terapkan akan diletakkan dekat dengan transformator PUTR-1 pada Bus keluaran trafo sisi tegangan rendah. Berdasarkan pada hitungan yang dilakukan, nilai IHD_1 rata-rata pada orde 3, 5, 11 dan 17 disesuaikan dengan perbandingan antara nilai R dari filter dan impedansi transformator dikali dengan arus IHD_1 yang lama, maka didapatkan nilai TDD maksimal di ke-3 fasa (R, S dan T) pada jam kerja secara berurutan adalah 5,74%, 7,83%, dan 8,27% yang sebelumnya bernilai 20,1%, 21,54% dan 20,69%. Walaupun nilai TDD pada fasa T setelah difilter diatas 8%, namun arus RMS fasa T dibawah arus RMS pada fasa R di tabel 3. sehingga nilai TDD yang diperhatikan yaitu TDD pada fasa R. Selain dapat mengurangi nilai TDD, filter tersebut dapat menaikkan *derating factor* pada fasa R, S dan T secara berturut-turut menjadi 99,25%, 98,77% dan 98,73% serta mengurangi rugi-rugi daya yang dapat diubah menjadi nominal rupiah. Nominal kerugian ketika filter tidak diterapkan sebesar Rp 5.419.044/ bulan, lalu nominal kerugian jika filter diterapkan sebesar Rp 3.448.148 /bulan (pengurangannya sebesar 36,67 % dari semula).

4. SIMPULAN

Dalam penelitian telah dihitung seberapa besar gangguan dari harmonisa, yaitu nilai dari *derating factor* terbesar sebesar 96,35% dari pembebanan maksimalnya. Untuk meminimalisasi kerugian yang dihasilkan harmonisa, pada penelitian ini mencoba mendesain filter harmonisa (*single passive tuned filter*) dengan parameter-parameter pada orde harmonisa ke-3 yaitu kapasitor sebesar 0,0033 F , induktor sebesar 0,34 mH, dan resistor sebesar 2,2 m Ω ; nilai kapasitor sebesar 0,0033 F , induktor sebesar 0,12 mH, dan resistor sebesar 0,77 m Ω dengan *quality factor* (Q) sebesar 50 untuk orde ke-5; nilai kapasitor sebesar 0,0033 F , induktor sebesar 0,056 mH, dan resistor sebesar 0,35 m Ω untuk orde ke-11; dan nilai kapasitor sebesar 0,0033 F , induktor sebesar 0,036 mH, dan resistor sebesar 0,23 m Ω untuk orde ke-17. Selain itu, pada penelitian kali ini telah dihitung seberapa besar investasi yang akan dikeluarkan jika filter tersebut diterapkan, besar perkiraan investasinya jika filter diterapkan adalah \$8.000,00 atau Rp 120.000.000,00 (dengan asumsi \$1 = Rp 15.000,00) selama 5,1 tahun (kurang lebih 5 tahun 1 bulan). Berdasarkan pada perhitungan, filter yang didesain dapat menurunkan nilai TDD maksimal di ke-3 fasa (R, S dan T), menaikkan nilai *derating factor* maksimal di ke-3 fasa (R, S dan T) dan dapat mengurangi rugi-rugi daya sebesar 36,37% dari semula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Mulyana, "Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik," Academia, Bandung.
- [2] E. Dermawan and A. M. , "Evaluasi Penentuan Rugi-rugi Transformator Dalam Pengaruh Arus Non-Sinusoidal," *Elektum*, vol. 13, pp. 7-15, 2016.
- [3] H. Sugiarto, "Kajian Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak," *Vokasi*, pp. 80 - 89, 2012.
- [4] A. D. Cahyoko and A. L. W. , "ANALISA HARMONISA DI GEDUNG GRAHA WIDYA UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA," UNTAG, Surabaya, 2020.

Analisis dan Desain Filter Pasif ...

- [5] A. Subari and S. M. , "Perencanaan Filter Pasif Untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik di Kampus Diploma III Fakultas Teknik UNDIP," Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] H. D. Saputro, Analisa Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro, Semarang: Universitas Negri Semarang, 2019.
- [7] H. N. K. N. and A. Setiarini, "Kajian Harmonisa Arus pada Gedung M.Nuh Lantai 3 Politeknik Negeri Madiun," *Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, vol. I, pp. 13-18, 2016.
- [8] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid Immersed and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents," IEEE Std C57.12.90, 2021, New York.
- [9] S. R. Alvarez, A. J. S.-M. and E. A. O.-S. , "Analysis of harmonic pollution caused by typical loads in offices," in *2015 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)*, Bogota, 2015.
- [10] A. B. S. Putri, K. and A. A. Z. , "Analisa Harmonisa Tegangan Dan Harmonisa Arus Pada Sistem Elektrikal Gedung Teknik PWK dan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro," *TRANSIENT*, pp. 526 - 531, 2020.
- [11] I. Ramadhani, Analisis Kualitas Daya Listrik pada Studi Kasus Gedung GK Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok: Universitas Indonesia, 2017.
- [12] Z. Aini and A. Mar'i, Design Single Tuned Passive Filter Terhadap Harmonisa pada Transformator Distribusi, Pekanbaru: Al-Mujtahadah Press, 2021.
- [13] W. Priambodo, Analisa Arus dan Tegangan Pada Gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2019.
- [14] T. Koerniawan and A. W. Hasanah, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT PLN Jakarta," *KILAT*, pp. 180-189, 2019.
- [15] T. K. Hariadi, A. J. N. F. and F. M. , "Current and Voltage Harmonics Analysis in Green Building Case Study in Universitas Muhammadiyah Yogyakarta," *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 4, no. 2, pp. 61-71, 2020.
- [16] P. P. (Persero), "Power Quality," PT PLN (Persero), Jakarta Selatan, 2012.
- [17] A. B. Ramadhan, Studi Evaluasi Efek Harmonisa Terhadap Kualitas Daya Beserta Nilai Derating Factor Transformator Pada Gedung 18 Office Park Tanjung Barat, Depok: Universitas Indonesia, 2021.
- [18] S. O. Nuriasa, Analisa Breaking Capacity Pada PMT Outgoing 20kV Penyulang UNG-01 Gardu Induk Ungaran PT. PLN (Persero), Semarang: Universitas Semarang, 2020.