

Analisis Penggunaan Filter *Damped* untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Klungkung

I Kadek Arya Wiguna¹, I Wayan Rinas², I Wayan Arta Wijaya³

Abstract— The operation of non-linear load are causing harmonic. The level of distortion or called Total Harmonic Distortion (THD) is high potential to degrade the quality of electrical energy is distributed. In this study was conducted measurement of the THD at each Sub Distribution Panel (SDP) in Klungkung Hospital. The results of the initial measurements indicate the highest I_{THD} value contained in the SDP P.AC amounted to 45.73% and the lowest is 3.93% at SDP UGD. While the value of the initial measurement result V_{THD} an average of 5.3%. Referenced standard is IEEE Standard 519-2014, wherein I_{THD} standard limit is 8.0%, and the standard limit of V_{THD} is 8.0%. THD value which passed the standard is analyzed and simulated in software ETAP with the addition of a damped filter to reduce the value of THD which passed the standard. Based on the simulation results after the addition of a damped filter, I_{THD} value has decreased in each of the SDP. However, only a few SDP with I_{THD} in accordance with the standard. The decrease I_{THD} highest is 10.63% at SDP P.AC, and the lowest is 2% at SDP IPSRS. V_{THD} value at each SDP after the addition of a damped filter also decreased with an average decrease of 1.74%.

Intisari— Pengoperasian beban non linier merupakan penyebab timbulnya harmonisa. Tingkat distorsi atau disebut Total Harmonic Distortion (THD) yang tinggi berpotensi menurunkan kualitas energi listrik yang disalurkan. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran THD pada tiap Sub Distribution Panel (SDP) di RSUD Klungkung. Hasil pengukuran awal menunjukkan nilai THD_I tertinggi terdapat pada SDP P.AC sebesar 45,73% dan terendah pada SDP UGD sebesar 3,93%. Sedangkan nilai THD_V hasil pengukuran awal rata-rata sebesar 5,3%. Standar yang dijadikan acuan adalah IEEE Standard 519-2014, dimana batas standar THD_I adalah 8,0%, dan batas standar THD_V adalah 8,0%. Nilai THD yang melewati standar dianalisis dan disimulasikan pada perangkat lunak ETAP dengan penambahan Damped Filter untuk mereduksi nilai THD yang melewati standar. Berdasarkan hasil simulasi setelah penambahan Damped Filter, nilai THD_I mengalami penurunan di tiap-tiap SDP. Namun hanya beberapa SDP dengan kandungan THD_I yang sesuai dengan standar. Penurunan THD_I tertinggi terdapat pada SDP P.AC sebesar 10,63%, dan penurunan terendah terdapat pada SDP IPSRS sebesar 2%. Nilai THD_V pada tiap-tiap SDP setelah penambahan Damped Filter juga

mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 1.74%.

Kata kunci : Beban non linier, Total Harmonic Distortion, Sub Distribution Panel, Damped Filter

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi memiliki peran penting dalam proses penyaluran energi listrik dari sumber PLN ke konsumen. Energi listrik yang disalurkan harus memiliki kualitas yang baik dan tanpa adanya gangguan. Kualitas daya listrik menjadi hal penting yang harus dijaga karena melayani banyak beban-beban listrik yang menuntut kualitas daya listrik sebaik mungkin untuk kelancaran operasional suatu sistem. Terdapat beberapa faktor yang menimbulkan penurunan kualitas daya listrik, salah satunya adalah distorsi harmonisa [1].

Penggunaan beban-beban listrik dalam jumlah yang besar khususnya beban nonlinier merupakan penyebab timbulnya harmonisa. Saat ini permasalahan terkait dengan harmonisa menjadi hal yang perlu diwaspadai karena memberikan implikasi negatif terhadap sistem seiring dengan berkembangnya peralatan-peralatan listrik dengan beban nonlinier [2]. Salah satu contohnya yaitu sarana publik seperti rumah sakit dengan pengoperasian peralatan-peralatan medis yang merupakan beban nonlinier. Beban nonlinier memiliki bentuk gelombang yang tidak sinusoidal karena telah terdistorsi oleh arus harmonisa. Distortion (kerusakan) gelombang sinusoidal yang mengalir pada sistem tenaga listrik disebut dengan Total Harmonic Distortion (THD) yang dinyatakan dalam satuan persen (%).

Tingkat THD yang tinggi pada saluran distribusi sehingga melebihi standar yang ditetapkan dapat dikategorikan sebagai gangguan sistem. Semakin besar THD-nya maka semakin besar rugi-rugi (*losses*) pada saluran sehingga efisiensinya akan semakin menurun [2]. Upaya untuk meminimalisasi harmonisa pada sistem distribusi dapat dilakukan dengan penggunaan filter harmonik, dan salah satu jenis filter harmonik adalah *damped filter* yang dapat mengurangi harmonisa pada frekuensi yang tinggi. Damped filter tidak begitu sensitif terhadap perubahan temperatur, perubahan frekuensi, dan rugi-rugi kapasitor. Pada sejumlah kasus, penggunaan satu atau lebih damped filter dapat menjadi alternatif yang dapat diterima [3].

RSUD Klungkung memiliki 2 buah transformator distribusi 20kV/400V dengan kapasitas maksimum masing-masing sebesar 200kVA. Terdapat masing-masing 1 buah

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Br. Dinas Wates Tengah, Duda Timur, Selat, Karangasem 80862 INDONESIA (telp: 085739083303; e-mail: dekarya94@gmail.com)

^{2,3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: rinas@unud.ac.id, artawijaya@unud.ac.id)



Main Distribution Panel (MDP) pada kedua transformator yang terpasang yang kemudian dibagi menjadi 18 *Sub Distributin Panel* (SDP). Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran awal terhadap kandungan THD baik tegangan maupun arus saat beban puncak di tiap-tiap SDP yang terpasang di RSUD Klungkung. Hasil pengukuran yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar IEEE 519 tahun 2014 yang dijadikan sebagai acuan analisis. Setelah dilakukan pengukuran awal diketahui bahwa rata-rata THD tegangan (THD_V) pada transformator 1 dan transformator 2 yaitu sebesar 1.51%, dan 1.78%. Sedangkan rata-rata THD arus (THD_I) pada transformator 1 dan transformator 2 yaitu sebesar 16.73%, dan 13.04%. Berdasarkan standar IEEE 519 tahun 2014 bahwa batasan THD_V sistem dengan tegangan nominal dibawah 1kV yaitu sebesar 8%. Sedangkan untuk menentukan batasan THD arus (THD_I) disesuaikan dengan nilai rasio hubung singkat (SC ratio). Hasil perhitungan rasio hubung singkat yang telah dilakukan, rata-rata nilai SCratio-nya yaitu sebesar 25. Dengan SCratio sebesar 25 maka batasan THD_I adalah sebesar 8%. Sehingga diketahui bahwa THD_V untuk Transformator 1 dan 2 masih memenuhi standar, sedangkan THD_I pada transformator 1 maupun transformator 2 yang terukur tidak memenuhi standar.

Berdasarkan data awal yang diperoleh, maka tingginya tingkat THD_I yang telah melewati standar akan direduksi dengan menggunakan *damped filter* sehingga dapat menurunkan nilai THD dari saluran distribusi di RSUD Klungkung.

II. KUALITAS DAYA LISTRIK DAN *TOTAL HARMONIC DISTORTION*

A. Kualitas Daya Listrik

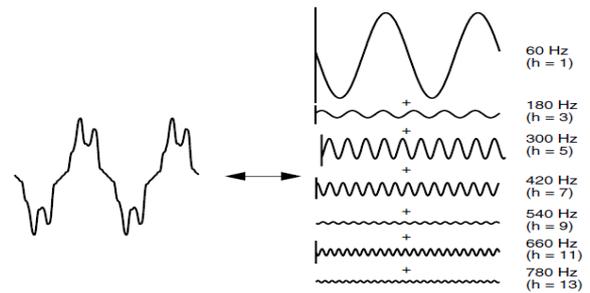
Kualitas daya listrik menunjukkan setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik. Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, dimana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Satuan untuk daya listrik dinyatakan dalam Watt atau *Horsepower* (HP), dimana 1 HP setara dengan 746 Watt. [2]

B. Total Harmonic Distortion

Harmonic Distortion atau distorsi harmonisa muncul karena pengoperasian beban non linier pada suatu sistem tenaga listrik. Beban non linier memiliki karakteristik arus yang tidak proporsional terhadap sumber, atau dengan kata lain gelombang tegangan yang berbentuk sinusoidal murni telah terdistorsi oleh arus harmonisa. [2]

Beban non linier pada umumnya merupakan komponen semikonduktor yang pada proses kerjanya bekerja sebagai saklar (*switch*) yang bekerja pada setiap setengah siklus gelombang atau beban yang membutuhkan arus listrik tidak

tetap pada setiap periode waktunya. Proses kerjanya inilah yang akan menghasilkan gangguan atau distorsi arus maupun tegangan yang tidak sinusoidal.



Gambar 1. Distorsi gelombang akibat harmonisa [2]

Harmonisa tegangan dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan rugi besi (*core-loss*). Sedangkan harmonisa arus dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan rugi-rugi tembaga. Secara keseluruhan rugi-rugi yang timbul akibat harmonisa merujuk pada terjadinya pemanasan berlebih (*overheating*) pada transformator.

Secara umum ada tiga pengaruh harmonik pada peralatan listrik, yaitu :

- Nilai RMS arus atau tegangan menjadi lebih besar. Nilai RMS yang lebih besar dapat mengakibatkan pemanasan yang lebih tinggi pada konduktor [4], [5], [6].
- Nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus lebih besar. Nilai puncak lebih besar dapat mengganggu kerja dari alat ukur, sehingga dapat terjadi kesalahan pada pembacaan[4], [5], [6].
- Menurunnya frekuensi pada sistem. Pada frekuensi tertentu, fenomena resonansi dapat terjadi yang dapat mengakibatkan arus meningkat [4], [5], [6].

C. Standar Harmonisa pada Sistem Tenaga Listrik

Standar harmonisa yang saat ini digunakan sebagai acuan adalah IEEE 519-2014. Standar THD_V yang diperbolehkan diatur sesuai dengan *Point of Common Coupling* (PCC) dimana setiap tingkatan tegangan memiliki standar yang berbeda-beda, begitu pula untuk standar THD_I diatur sesuai PCC dan perhitungan rasio hubung singkatnya [7].

1) *Standar THD_V IEEE 519-2014*: Standar THD_V berdasarkan standar IEEE 519-2014 tentang nilai batas maksimum distorsi harmonik tegangan pada sistem dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
VOLTAGE DISTORTION LIMITS [7]

Bus Voltage (V) at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

2) Standar THD₁ IEEE 519-2014: Batas THD₁ yang direkomendasikan bagi pelanggan yang terhubung dengan sistem dimana tegangan berkisar antara 120 V sampai 169 kV disesuaikan dengan *Short Circuit Ratio* (rasio hubung singkat) [7]. *Short Circuit Ratio* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$$\text{Short Circuit Ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (1)$$

I_{SC} merupakan arus hubung singkat yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini [2]:

$$I_{SC} = \frac{S \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

I_L merupakan arus beban penuh yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini [2]:

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (3)$$

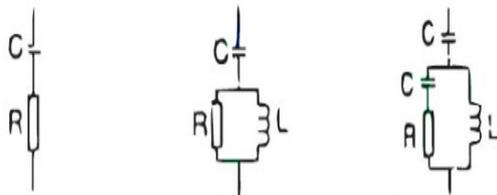
Dimana S adalah daya semu hasil pengukuran, V adalah tegangan hasil pengukuran, dan Z adalah impedansi saluran.

TABEL II
CURRENT DISTORTION LIMITS FOR SYSTEMS RATED 120 V THROUGH 69 KV [7]

Maximum Harmonic Current Distortion						
Individual Harmonic Order (odd harmonic)						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD (%)
< 20 °	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

D. Damped Filter

Damped Filter digunakan untuk memberikan pergantian selama rentang frekuensi yang luas. Ketika arus harmonik mencapai nilai-nilai yang besar, *damped filter* digunakan dalam hubungannya dengan Tuned Filter yang mengurangi frekuensi rendah, sedangkan *damped filter* mengurangi harmonik pada frekuensi yang tinggi [3]. Pada umumnya digunakan topologi *damped filter* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Damped Filter: first order, second order, dan third order [3]

I Kadek Arya Wiguna: Analisis Penggunaan Filter Damped...

Parameter *damped filter* yang dihitung dalam simulasi adalah sebagai berikut [3]:

- Daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left(\frac{P_1}{pf_0}\right)^2 - P_1^2} - \sqrt{\left(\frac{P_1}{pf_1}\right)^2 - P_1^2} \quad (4)$$

Dimana P_1 adalah daya aktif masing-masing SDP, pf_0 dan pf_1 adalah faktor daya untuk masing-masing beban.

- Nilai reaktansi dari kapasitor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$X_C = \frac{kV_{rated}^2}{MVAR_{rated}} \quad (5)$$

Dimana kV_{rated} adalah tegangan yang terukur pada tiap SDP, dan $MVAR_{rated}$ adalah daya reaktif pada tiap SDP.

- Besar nilai kapasitor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (6)$$

Dengan : f = frekuensi fundamental 50 Hz

- Besar impedansi reaktor filter dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (7)$$

Dengan : n = orde harmonik tegangan yang difilter (disetel sedikit di bawah ordenya). Pada simulasi ini, orde yang akan difilter adalah orde 5, sehingga nilai n akan sedikit di bawahnya yaitu 4,9. Hal ini dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah adanya resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu [8].

- Besar induktansi induktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (8)$$

Dengan : $\pi = 3,14$

- Nilai karakteristik reaktansi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X_n = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (9)$$

- Besarnya resistansi filter dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = X_n Q \quad (10)$$

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372

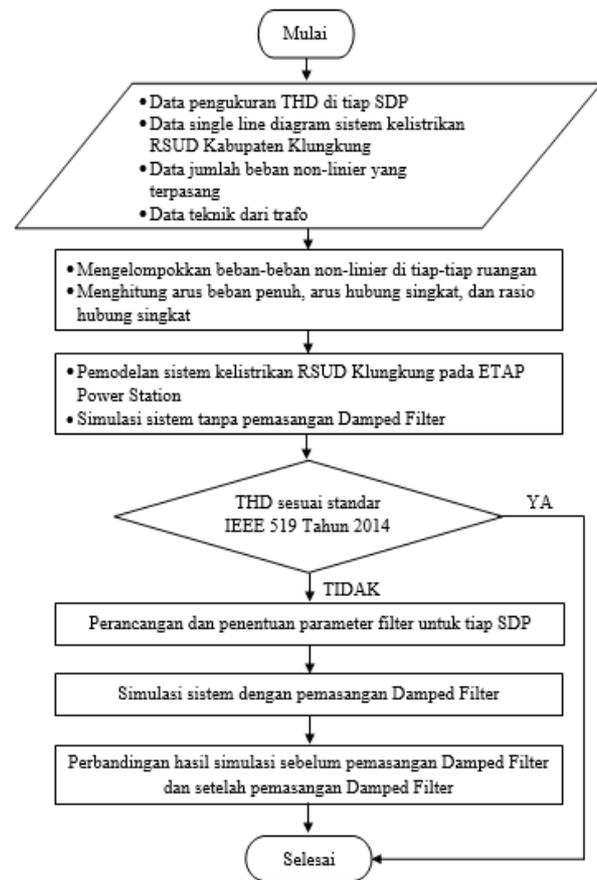


Pada perancangan filter kali ini, nilai Q yang digunakan yaitu 5. Nilai Q adalah ukuran ketajaman penyetyelan filter dalam mereduksi harmonik.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Klungkung mulai tanggal 19 Januari 2016 sampai Maret 2016. Pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran langsung ke lokasi terkait dan wawancara dengan narasumber yang bertanggung jawab. Adapun data yang diperoleh yaitu data pengukuran THD, data single line diagram, data jumlah beban yang terpasang, dan data spesifikasi trafo di RSUD Klungkung.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis dengan prosedur yaitu pertama mengelompokkan beban non linier pada tiap-tiap SDP. Kemudian dilakukan perhitungan arus hubung singkat, arus beban, dan rasio hubung singkat untuk menentukan batas maksimum THD₁ yang diperbolehkan dan disesuaikan dengan standar IEEE 519-2014. Langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan sistem kelistrikan di RSUD Klungkung. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETAP, dimana simulasi dilakukan dalam dua kondisi yaitu simulasi sistem tanpa pemasangan *damped filter*, dan simulasi sistem dengan pemasangan *damped filter*. Kemudian, kedua hasil simulasi akan dibandingkan untuk mengetahui kemampuan *damped filter* dalam menurunkan atau mereduksi THD di RSUD Klungkung. Alur analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

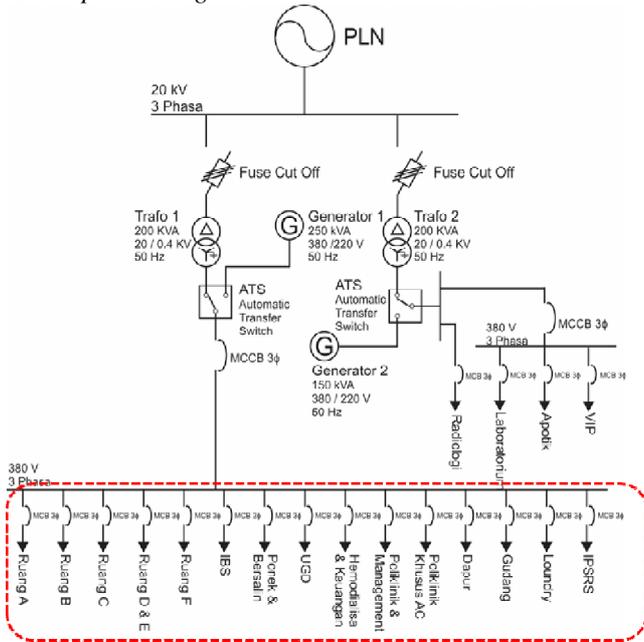


Gambar 3. Alur Analisis

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

A. Hasil Pengukuran

Sistem kelistrikan di RSUD Klungkung disuplai dari jaringan PLN melalui penyulang Klungkung. Transformator yang terpasang berkapasitas 200 kVA, dengan tegangan primer 20 kV dan tegangan sekunder 400 V serta impedansi sebesar 4%. *Single line diagram* dari sistem kelistrikan RSUD Kabupaten Klungkung dapat dilihat pada Gambar 4 dimana pengukuran dilakukan pada SDP yang terhubung ke transformator 1 saja.



Gambar 4. Single Line Diagram RSUD Kabupaten Klungkung

Pengukuran dilakukan langsung di tiap SDP pada saat beban puncak menggunakan alat ukur *Clamp On Power HiTester* Hioki 3286-20. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, diperoleh data untuk tiap-tiap SDP seperti ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III
 HASIL PENGUKURAN DI TIAP-TIAP SDP

No	SDP	Daya Aktif (kW)	Cos ϕ	Daya Semu (kVA)
1	Ruang A	2,214	0,93	2,381
2	Ruang B	4,088	0,92	4,443
3	Ruang C	5,483	0,94	5,833
4	Ruang D & E	5,050	0,95	5,316
5	Ruang F	2,171	0,90	2,412
6	IBS	11,37	0,95	11,968
7	Ponek & Bersalin	6,069	0,98	6,192
8	UGD	13,889	0,75	18,519
9	Hmodialisa & Keuangan	18,735	0,95	19,721
10	Poliklinik & Management	6,285	0,88	7,142
11	Poliklinik Khusus AC	29,305	0,96	30,526
12	Dapur	3,217	0,74	4,347
13	Gudang	1,639	0,79	2,075
14	Loundry	2,281	0,84	2,715
15	IPSRs	0,556	0,97	0,573

B. Batas maksimum THD_I dan THD_V di RSUD Klungkung

Menurut IEEE Standard 519 - 2014, untuk menentukan batas maksimum THD_I pada utiliti, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (short-circuit ratio). Untuk menentukan nilai SC_{ratio} , nilai arus hubung singkat (I_{sc}) dan nilai arus beban penuh (I_L) harus diketahui terlebih dahulu. Persamaan (1), (2), dan (3) digunakan untuk menghitung nilai SC_{ratio} , I_{sc} , dan I_L . Hasil perhitungan nilai SC_{ratio} untuk masing-masing SDP dapat dilihat pada Tabel IV.

I Kadek Arya Wiguna: Analisis Penggunaan Filter Damped...

TABEL IV
 I_{sc} , I_L , DAN SC_{ratio} MASING-MASING SDP

No	SDP	I_{sc} (A)	I_L (A)	SC_{Ratio}
1	Ruang A	152,082	6,083	25
2	Ruang B	285,058	11,402	25
3	Ruang C	374,231	14,969	25
4	Ruang D & E	342,574	13,703	25
5	Ruang F	155,475	6,219	25
6	IBS	771,225	30,849	25
7	Ponek & Bersalin	397,284	15,891	25
8	UGD	1188,051	47,522	25
9	Hemodialisa & Keuangan	1276,490	51,060	25
10	Poliklinik & Management	460,221	18,409	25
11	Poliklinik Khusus AC	1958,304	78,332	25
12	Dapur	278,931	11,157	25
13	Gudang	134,330	5,373	25
14	Loundry	172,668	6,907	25
15	IPSRs	36,642	1,466	25

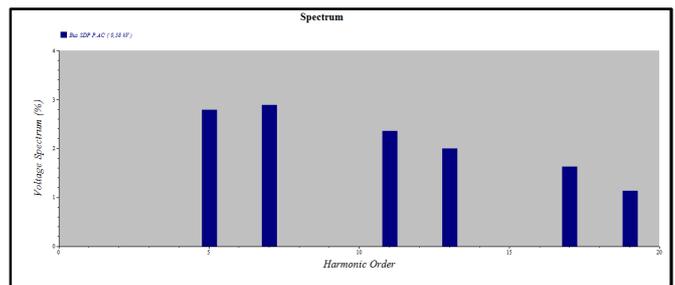
Dari hasil perhitungan SC_{ratio} pada tiap SDP yang terpasang di RSUD Klungkung, batas maksimum THD Arus adalah sebesar 8%.

Sedangkan untuk THD_V berdasarkan IEEE standard 519-2014 berisikan tentang nilai-nilai yang dijadikan sebagai batas maksimum distorsi harmonisa tegangan yang direkomendasikan terhadap sistem, maka batas maksimum THD_V yang diperbolehkan di RSUD Kabupaten Klungkung menurut IEEE standard 519 - 2014 adalah 8.0 %.

C. Pemodelan dan Simulasi THD

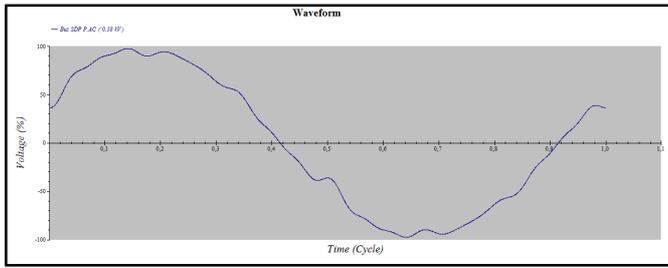
Pemodelan dan simulasi THD dilakukan dengan bantuan software ETAP dengan menggunakan pendekatan pada kondisi sistem yang sebenarnya. Pada penelitian ini, simulasi THD hanya pada SDP yang terhubung ke trafo 1. Pemodelan dan hasil running sistem dapat dilihat pada Lampiran Gambar 5.

Tampilan hasil running spektrum harmonik dan bentuk gelombang dari simulasi yang dilakukan pada software ETAP dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut ini:



Gambar 6. Spektrum Harmonik tegangan SDP P.AC sebelum penambahan damped filter





Gambar 7. Bentuk Gelombang tegangan SDP P.AC sebelum penambahan damped filter

Gambar 6 menunjukkan kandungan harmonisa arus pada setiap orde dimana pada simulasi, spektrum yang ditampilkan dimulai dari orde 5 hingga orde 19. Gambar 7 menunjukkan bentuk gelombang harmonisa arus pada bus SDP P.AC, dimana kandungan harmonisa pada sistem distribusi akan menyebabkan bentuk gelombang sinusoidal menjadi cacat atau terdistorsi.

D. Analisis THD_I dan THD_V

Berikut ini adalah perbandingan nilai THD_I hasil simulasi dengan Standar IEEE 519 tahun 2014 pada masing-masing SDP yang terpasang di RSUD Kabupaten Klungkung.

TABEL V
PERBANDINGAN THD_I HASIL SIMULASI DENGAN STANDAR IEEE 519 TAHUN 2014

SDP	THD _I Hasil Simulasi (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)	Ket
Ruang A	14,70	8	Melewati standar
Ruang B	8,11	8	Melewati standar
Ruang C	14,68	8	Melewati standar
Ruang D&E	11,05	8	Melewati standar
Ruang F	16,03	8	Melewati standar
UGD	3,93	8	Sesuai standar
Bedah Sentral (IBS)	10,11	8	Melewati standar
Ponek	16,99	8	Melewati standar
Hemodialisa (HD)	19,08	8	Melewati standar
Poliklinik	9,21	8	Melewati standar
Poliklinik Khusus AC	45,73	8	Melewati standar
Dapur	14,54	8	Melewati standar
Gudang	32,25	8	Melewati standar
Laundry	26,50	8	Melewati standar
IPSRS	12,74	8	Melewati standar

Dari Tabel V di atas dapat dilihat bahwa THDI pada tiap SDP yang terpasang di RSUD Klungkung telah melewati standar atau lebih dari 8%, kecuali pada SDP UGD yang masih sesuai standar.

TABEL VI
PERBANDINGAN THD_V HASIL SIMULASI DENGAN STANDAR IEEE 519 TAHUN 2014

SDP	THD _V Hasil Simulasi (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)	Ket
Ruang A	5,26	8	Sesuai standar
Ruang B	5,25	8	Sesuai standar
Ruang C	5,30	8	Sesuai standar

Ruang D&E	5,26	8	Sesuai standar
Ruang F	5,25	8	Sesuai standar
UGD	5,27	8	Sesuai standar
Bedah Sentral (IBS)	5,29	8	Sesuai standar
Ponek	5,28	8	Sesuai standar
Hemodialisa (HD)	5,44	8	Sesuai standar
Poliklinik	5,26	8	Sesuai standar
Poliklinik Khusus AC	5,66	8	Sesuai standar
Dapur	5,27	8	Sesuai standar
Gudang	5,26	8	Sesuai standar
Laundry	5,25	8	Sesuai standar
IPSRS	5,24	8	Sesuai standar

Dari Tabel VI di atas dapat dilihat nilai THD_V hasil simulasi untuk masing-masing SDP yang terpasang telah sesuai standar atau tidak lebih dari 8%.

E. Setting Damped Filter

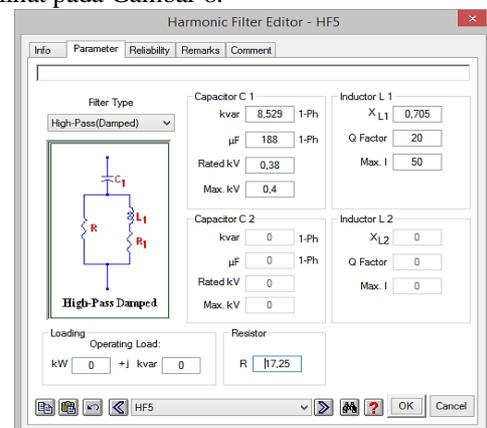
Persamaan (4) hingga (10) digunakan untuk menentukan parameter filter sesuai dengan data pengukuran awal yang telah dilakukan. Nilai-nilai yang dihitung akan digunakan sebagai parameter nilai dalam perancangan filter pada simulasi. Simulasi dilakukan dengan bantuan *software ETAP* dan model penempatan filter di SDP P.AC, dimana persentase THD_I paling besar terdapat di SDP P.AC sebesar 45,73 %. Jenis filter yang digunakan adalah tipe *High Pass Damped Filter*

Hasil perhitungan parameter filter untuk SDP P.AC dapat dilihat pada Tabel VII.

TABEL VII
PARAMETER SPESIFIKASI FILTER PADA SDP P.AC

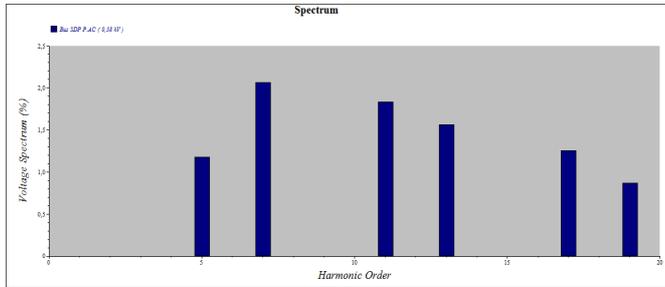
Spesifikasi	Nilai
L	0,0024 H
XL	0,705
C	18,8 x 10 ⁻⁵ F
XC	16,93
R	17,25 Ω
QVAR	8,529 kVAR
Rating Tegangan	380 Volt
Q Factor	5

Input parameter spesifikasi filter pada simulasi *ETAP* dapat dilihat pada Gambar 8.



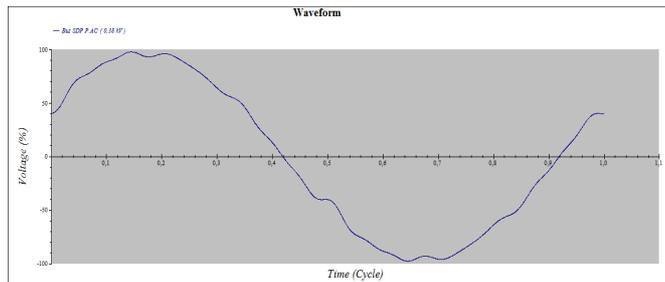
F. Simulasi Sistem Setelah penambahan Filter

Dengan penempatan filter pada SDP PAC, spektrum harmonik dan bentuk gelombang tegangannya mengalami perubahan, dimana nilai harmonisa dapat diturunkan oleh filter yang terpasang. Berikut ini adalah tampilan spektrum harmonik dan bentuk gelombang hasil running setelah penambahan filter.



Gambar 9. Spektrum harmonik SDP P.AC setelah penambahan filter

Penambahan filter dapat mereduksi harmonik pada orde 5, dimana pada penentuan parameter filter ditetapkan kandungan harmonik yang akan direduksi adalah pada orde 5. Penurunan kandungan harmonik ini akan berpengaruh pada tampilan gelombang tegangan seperti pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Bentuk gelombang setelah penambahan filter

Dengan menurunnya nilai THD, bentuk gelombang mengalami perbaikan dengan cacat gelombang yang lebih sedikit dibandingkan dengan bentuk gelombang sebelum penambahan *High Pass Damped Filter*.

G. Analisis THD_I dan THD_V di RSUD Klungkung Setelah di Pasang High Pass Damped Filter

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, terdapat perbedaan nilai THDI sebelum dan setelah penambahan *High Pass Damped Filter*. Hasil analisis THD_I sebelum dan setelah penambahan *High Pass Damped Filter* serta perbandingannya dengan Standar IEEE 519 tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel VIII berikut ini

TABEL VIII

I Kadek Arya Wiguna: Analisis Penggunaan Filter Damped...

PERBANDINGAN THD_I HASIL RUNNING TANPA FILTER DAN SETELAH DI PASANG FILTER

SDP	THD _I tanpa filter (%)	THD _I dengan filter (%)	Selisih (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)
Ruang A	14,70	8,90	5,8	8
Ruang B	8,11	3,96	4,15	8
Ruang C	14,68	8,97	5,71	8
Ruang D&E	11,05	6,02	5,03	8
Ruang F	16,03	8,32	7,71	8
UGD	3,93	3,93	0	8
Bedah Sentral (IBS)	10,11	5,47	4,64	8
Ponek	16,99	11,49	5,5	8
Hemodialisa (HD)	19,08	13,68	5,4	8
Poliklinik	9,21	4,79	4,42	8
Poliklinik Khusus AC	45,73	35,10	10,63	8
Dapur	14,54	10,24	4,3	8
Gudang	32,25	23,06	9,19	8
Laundry	26,50	16,91	9,59	8
IPSRs	12,74	10,74	2	8

Setelah penambahan filter, kandungan THD_I pada beberapa SDP dapat direduksi dan telah memenuhi Standar IEEE 519-2014, namun ada beberapa SDP dengan kandungan THD_I yang masih melewati standar.

Hasil analisis THD_V sebelum dan setelah penggunaan *High Pass Damped Filter* serta perbandingannya dengan Standar IEEE 519 tahun 2014 pada masing-masing SDP dapat dilihat pada Tabel IX.

TABEL IX

PERBANDINGAN THD_V HASIL RUNNING TANPA FILTER DAN SETELAH DI PASANG FILTER

SDP	THD _V tanpa filter (%)	THD _V dengan filter (%)	Selisih (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)
Ruang A	5,26	3,53	1,73	8
Ruang B	5,25	3,52	1,73	8
Ruang C	5,30	3,55	1,75	8
Ruang D&E	5,26	3,53	1,73	8
Ruang F	5,25	3,52	1,73	8
UGD	5,27	3,55	1,72	8
Bedah Sentral (IBS)	5,29	3,54	1,75	8
Ponek	5,28	3,54	1,74	8
Hemodialisa (HD)	5,44	3,64	1,8	8
Poliklinik	5,26	3,53	1,73	8
Poliklinik Khusus AC	5,57	3,84	1,73	8
Dapur	5,27	3,54	1,73	8
Gudang	5,26	3,53	1,73	8
Laundry	5,25	3,53	1,72	8
IPSRs	5,24	3,52	1,72	8

Dari Tabel IX dapat dilihat bahwa nilai THD_V pada masing-masing SDP setelah pemasangan *High Pass Damped Filter* mengalami penurunan dan dapat memenuhi standar IEEE 519 tahun 2014. Penurunan terbesar terdapat pada SDP HD sebesar 1,8 %, dan penurunan terendah terdapat pada SDP UGD, SDP Laundry, dan SDP IPSRS sebesar 1,72 %.

V. KESIMPULAN

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui bahwa *High Pass Damped Filter* mampu mereduksi THD_V dan THD_I . Nilai THD_V dengan penurunan terbesar terdapat pada SDP HD sebesar 1,8 % dan penurunan terendah pada SDP UGD, Laundry, dan IPSRS sebesar 1,72 %. Nilai THD_I juga dapat direduksi dengan penurunan terbesar terdapat pada SDP P.AC sebesar 10,63 %, dan penurunan terendah terdapat pada SDP IPSRS sebesar 2 %.

Kandungan THD_V pada masing-masing SDP setelah pemasangan filter telah sesuai dengan standar IEEE 519 tahun 2014 seperti pada Tabel IX. Sedangkan untuk THD_I terdapat beberapa SDP dengan kandungan THD_I yang telah sesuai dengan standar, namun terdapat pula beberapa SDP dengan kandungan THD_I yang melewati standar IEEE 519 tahun 2014 seperti pada Tabel VIII.

[4] Margareta, I.W., 2014. "Perancangan High Pass Damped Filter Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 9 Bus Dengan Menggunakan Software ETAP Power Station 7.0". Surakarta : Universitas Muhamadiyah Surakarta.

[5] Rinas, I.W., 2011. Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif Dan Filter Aktif Untuk Menanggulangi THD Pada Sistem Kelistrikan Di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana. *Teknologi Elektro*, Vol. 10 (Januari - Juni) : 20 – 26.

[6] Rinas, I.W., Sweden, I.N. 2009. Studi Analisa Penanggulangan THD dengan Filter Pasif Pada Sistem Kelistrikan Di RSUP Sanglah. *Teknologi Elektro*, Vol. 8 No.2 (Juli - Desember) : 7 - 13.

[7] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. *IEEE Standard 519-2014*.

[8] Arrilaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R., Wood, A.R., 1997. *Power System Harmonic Analysis*. United States of America : John Wiley & Sons.

[9] Gonen, T. 2008. *Electric Power Distribution System Engineering, Second Edition*. United States of America : CRC Press.

[10] Das, J.C., 2002. *Power System Analysis, Short-Circuit Load Flow and Harmonics*. United States of America : Marcel Dekker.

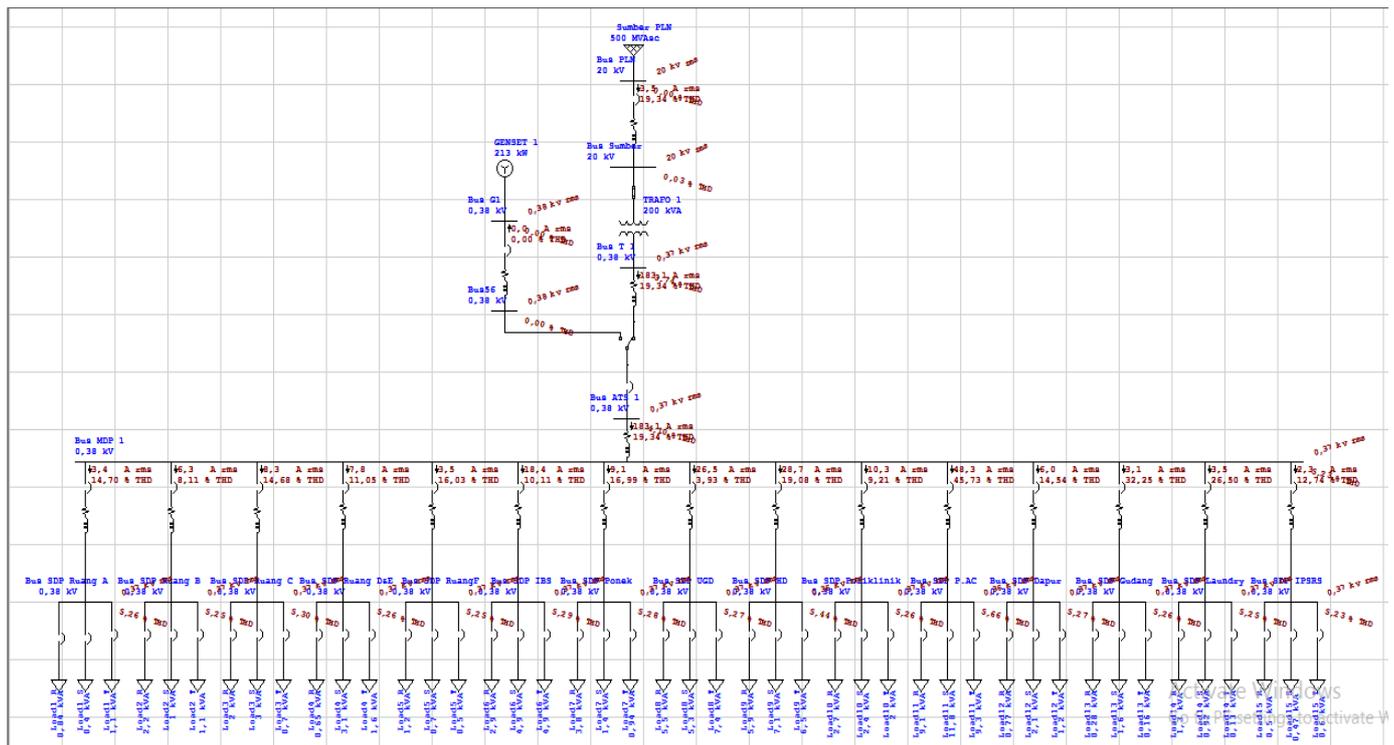
REFERENSI

[1] Harlow, J.H. 2004. *Electric Power Engineering*. United States of America : CRC Press.

[2] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W. 2004. *Electrical Power System Quality-Second Edition*. The McGraw-Hill.

[3] Ahmed, K., Jovic, D., 2015. *High Voltage Direct Current Transmission*. School of Engineering University of Aberdeen UK : Wiley.

LAMPIRAN



Gambar 5. Hasil running analisis THDI dan THD_V di RSUD Klungkung