

STUDI ANALISIS *SETTING* FILTER AKTIF TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS DAYA LISTRIK DI GEDUNG PERKULIAHAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS UDAYANA JALAN PB SUDIRMAN

I Gede Dyotha Yogadipha Bagas, I Wayan Rinas, I Wayan Arta Wijaya
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : dyotha.yogadipha@yahoo.com

Abstrak

Harmonisa merupakan gangguan pada sistem tenaga listrik berupa distorsi pada bentuk gelombang arus dan tegangan yang disebabkan oleh terbentuknya gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental. *Total Harmonic Distortion* (THD) adalah besaran nilai efektif gelombang yang terdampak harmonisa dan berpengaruh terhadap terjadinya rugi-rugi daya listrik. Penelitian ini menganalisis THD arus (THDi) di gedung perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan PB Sudirman. Simulasi dilakukan pada kondisi eksisting dan saat pengoperasian filter aktif untuk melihat THDi, lalu dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014. Selanjutnya dilakukan analisis rugi-rugi daya akibat harmonisa arus (I_h). THDi pada kondisi eksisting untuk fasa R = 15,44 %, S = 15,6 %, dan T = 11,42 % sedangkan dengan pengoprasian filter aktif adalah pada fasa R = 2,41 %, S = 2,69 %, dan T = 2,99 %. Rugi-rugi daya akibat gangguan harmonisa pada kondisi *existing* sebesar 12,6 % dan pada kondisi pengoperasian filter aktif sebesar 0,037 %.

Kata Kunci : *Harmonisa, THD arus, filter aktif, rugi-rugi daya*

Abstract

Harmonics are disturbances in the electric power system in the form of distortions in current and voltage waves caused by the formation of waves with a interger multiplied frequency of the fundamental frequency. Total Harmonic Distortion (THD) is the amount of the effective value of waves affected by harmonics that affect the occurrence of electrical power losses. This study discusses the analysis of current THD in the lecture building at the Faculty of Engineering, Udayana University, Jalan PB Sudirman. The simulation is carried out under existing conditions and when operating an active filter will show the results of the THD current then adjusted to the IEEE 519-2014 standard. Then an analysis of power losses due to harmonics is performed. THDi in the existing conditions for phase R = 15.44%, S = 15.6%, and T = 11.42% while the active filter operation is at phase R = 2.41%, S = 2.69%, and T = 2.99%. Power losses due to haronisa interference under existing conditions were 12,6 % and on the active filter operating conditions were 0,037 %.

Keywords : *Harmonics, current THD, active filter, power losses*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik saat ini menjadi sangat penting karena segala aktifitas yang dilakukan sehari-hari selalu menggunakan energi listrik. Konsumen energi listrik memiliki beban yang bervariasi dan berbeda. Beban listrik *non linear* seperti televisi, lampu, komputer, motor-motor listrik, dan yang lainnya menyebabkan terjadinya

gangguan berupa distorsi pada bentuk gelombang arus dan tegangan yang mengakibatkan penurunan kualitas daya listrik salah satunya adalah distorsi harmonisa [1].

Gangguan harmonisa terjadi akibat penggunaan beban listrik *non linear*. Beban *non linear* merupakan beban dengan komponen arus yang tidak proporsional

terhadap komponen tegangannya sehingga arus dan tegangan keluar memiliki frekuensi yang berbeda dengan arus dan tegangan masukan yang disebut dengan distorsi gelombang [2].

Gedung perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana jalan PB Sudirman disuplai oleh dua buah transformator milik PLN yang salah satunya memiliki kapasitas sebesar 100 kVA yang menyuplai gedung B, C, D, dan E.

Gangguan harmonisa dapat diatasi dengan mengoperasikan filter harmonisa seperti filter aktif. Filter aktif yang digunakan adalah filter aktif *high pass* yaitu filter yang melewatkan sinyal *input* dengan nilai frekuensi lebih dari frekuensi *cut-off* rangkaian dan akan melemahkan sinyal input dengan nilai frekuensi dibawah frekuensi *cut-off* rangkaian dan ditambahkan dengan rangkaian penguat tegangan menggunakan operasional amplifier (Op-Amp). Contoh aplikasi pengoperasian filter aktif sebagai solusi menurunkan harmonisa pada berbagai industri sudah dilakukan seperti dilaporkan dalam jurnal [3] [4].

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan maka dalam penelitian ini akan membahas “Studi Analisis *Setting* Filter Aktif Terhadap Peningkatan Kualitas Daya Listrik di Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana Jalan PB Sudirman” menggunakan *matlab simulink* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh *setting* filter aktif dalam meningkatkan kualitas daya.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Daya

Daya adalah ukuran yang digunakan dalam mengukur besarnya jumlah energi listrik yang digunakan dalam satu waktu. Dalam energi listrik terdapat tiga jenis daya listrik yaitu daya nyata (aktif), daya reaktif, dan daya semu (kompleks)[5].

2.2 Harmonisa

Harmonisa yang muncul pada sistem kelistrikan adalah salah satu penyebab menurunnya kualitas daya listrik. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental-nya [6].

Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) Std 1159-1995 mendefinisikan bahwa harmonisa merupakan arus atau tegangan sinusoidal yang memiliki kelipatan bulat dari frekuensi sumber tenaga listrik yang dioperasikan.

2.3 Standar Harmonisa

Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) telah mengeluarkan standar IEEE Std 519-2014 “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems” yang memuat tentang batasan mengenai distorsi harmonisa arus dan tegangan seperti tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Standar THD Arus [7]

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonic) ^{a,b}						
$I_{h0} I_L$	$3 < h \leq 11$	$11 < h \leq 17$	$17 < h \leq 23$	$23 < h \leq 35$	$35 < h \leq 50$	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

Sumber: IEEE Std 519™-2014

Tabel 2. Standar THD Tegangan [7]

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Sumber: IEEE Std 519™-2014

Batas THDi dalam sistem tenaga listrik dapat ditentukan dengan menghitung *Short Circuit Ratio (SC_{Ratio})*.

2.4 Filter Aktif

Filter aktif adalah perangkat elektronik yang dapat memperbaiki kualitas daya dari sumber ke beban. Dari segi penggunaan dan unjuk kerja filter aktif lebih fleksibel jika dibandingkan dengan filter pasif sehingga lebih ekonomis [8].

Penentuan *setting* pada filter aktif menggunakan persamaan berikut.

$$\theta_1 = \text{Arc cos } \varphi_{sistem} \quad (1)$$

$$\theta_2 = \text{Arc cos } \varphi_{normal} \quad (2)$$

$$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (3)$$

Keterangan :

Q_c : daya reaktif

P : daya aktif

2.5 Rugi-Rugi Daya Pada Transformator

Rugi-rugi pada transformator (P_{LL}) memiliki dua komponen dalam menentukan nilai rugi-rugi transformator yaitu rugi-rugi tembaga (I^2R) dan *eddy-current loss* (P_{EC}) [9].

Dalam satuan per unit (p.u), *load loss* (P_{LL}) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini [9]:

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R}(p.u) \quad (4)$$

Keterangan :

P_{EC-R} = Eddy Current Loss Factor

h = Harmonisa (%)

I_h = Arus Harmonisa (A)

Untuk menghitung P_{LL} dalam satuan kW maka digunakan rumus:

$$P_{LL}(kW) = P_{LL}(p.u) \times P_{base\ 1\phi} \quad (5)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di gedung perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana jalan Panglima Besar Sudirman. Penelitian ini dilakukan dari bulan Februari 2019. Data pengukuran dengan metode pengukuran langsung pada obyek yang diteliti.

Dalam penelitian ini yang dilakukan pertama adalah menghitung *Short Circuit* (SC) *Ratio* pada sistem dan menentukan standar THD arus dan tegangan, dilanjutkan dengan simulasi sistem pada kondisi eksisting, pengoperasian filter aktif dan pengoperasian filter aktif dengan beberapa *setting* filter, selanjutnya membandingkan hasil simulasi THD pada kondisi eksisting, pengoperasian filter aktif, dan pengoperasian filter aktif dengan beberapa *setting* filter terhadap standar THD menurut IEEE 519 Tahun 2014, dan terakhir Menghitung rugi – rugi daya akibat arus harmonisa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

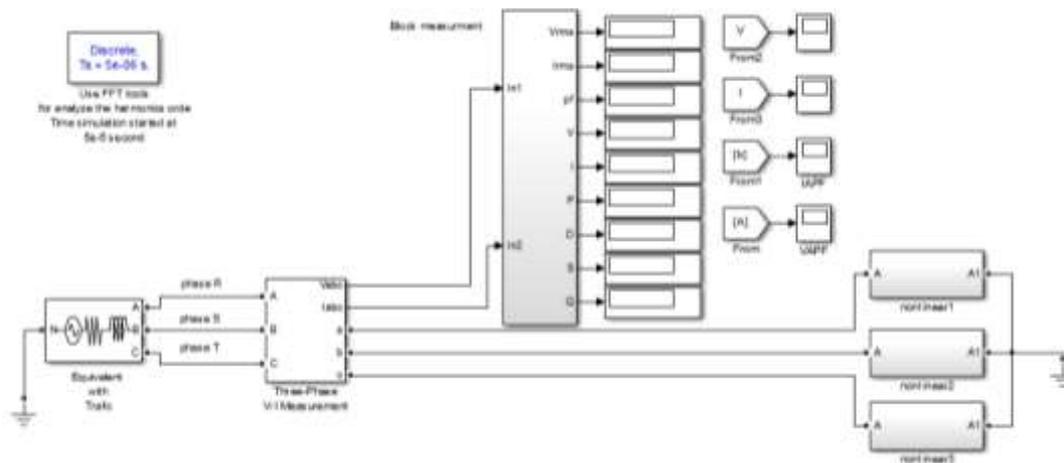
4.1 Penentuan Standar THDi

Untuk menentukan standar batas maksimum dari nilai THD arus, menurut IEEE Std 519-2014 harus terlebih dahulu melakukan perhitungan rasio hubung singkat atau juga disebut dengan *short circuit ratio* (SC_{ratio}).

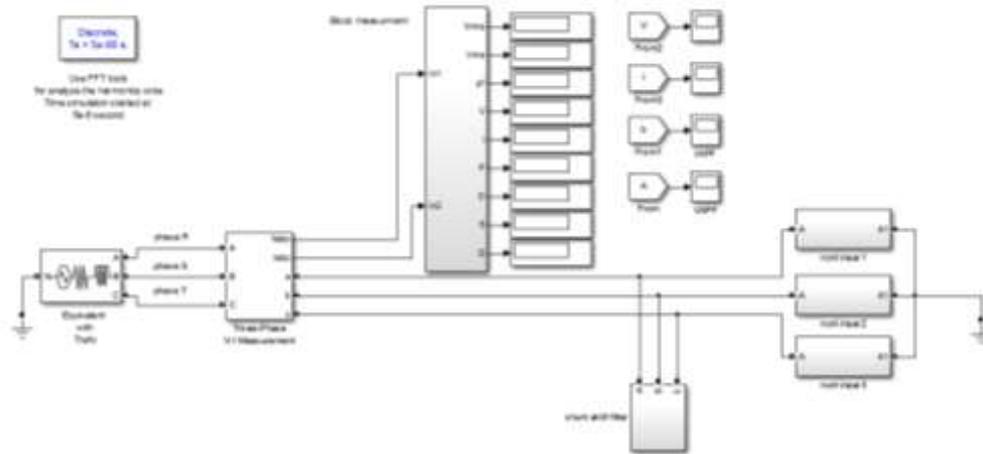
Dari hasil SC_{ratio} yang didapatkan yaitu sebesar 45,97, berdasarkan IEEE Std 519-2014 standar maksimum THD arus pada MDP Fakultas teknik adalah sebesar 8 %.

4.2 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik

Pemodelan yang digunakan pada sistem tenaga listrik di gedung perkuliahan fakultas teknik menggunakan simulasi *matlab simulink* seperti gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Pemodelan Sistem Kelistrikan Dalam Kondisi Eksisting

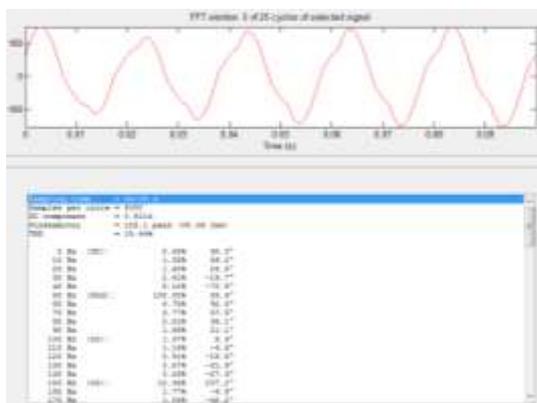


Gambar 2. Pemodelan Sistem Kelistrikan dengan Pengoperasian Filter Aktif Shunt

4.3 Simulasi Distorsi Harmonisa Arus Pada Kondisi Eksisting

Saat dilakukan simulasi sistem kelistrikan pada MDP Fakultas Teknik akan dilihat nilai dari THDi, bentuk *output* gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi, orde harmonisa, arus serta tegangan fundamental.

Dengan bantuan dari *Fast Fourier Transform* (FFT) *tool*, hasil simulasi yang didapatkan pada fasa R dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sinyal Arus, THDi, dan Orde Harmonisa pada Fasa R

Hasil simulasi yang didapatkan, nilai THDi pada tiap fasa R = 15,44 %, S = 15,60 %, dan T = 11,42 %. Berdasarkan dari perhitungan standar harmonisa pada MDP Fakultas Teknik yaitu sebesar 8% maka fasa R, S, dan T tidak memenuhi standar.

4.4 Perancangan Setting Filter Aktif

Perancangan filter aktif bertujuan untuk meredam distorsi harmonisa yang timbul akibat dari beban non linier. Daya reaktif dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3:

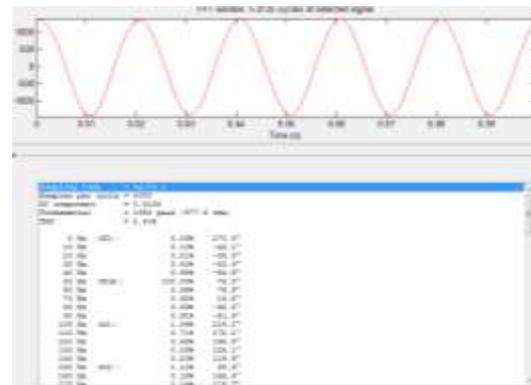
$$\theta_1 = \text{Arc cos } \varphi_{\text{system}} = \text{Arc cos } 0,85 = 31,79^\circ$$

$$\theta_2 = \text{Arc cos } \varphi_{\text{normal}} = \text{Arc cos } 0,98 = 11,48^\circ$$

$$Q_c = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 46,217(\tan 32,79 - \tan 11,48) = 319,68 \text{ kVar}$$

4.5 Simulasi Distorsi Harmonisa Arus Dengan Pemasangan Filter Aktif

Pemasangan filter dilakukan pada tiap fasa guna mendapatkan hasil yang maksimal serta memenuhi standar. Hasil simulasi pada fasa R seperti gambar 4.



Gambar 4. Sinyal Arus, THDi, dan Orde Harmonisa pada Fasa R Setelah Pemasangan Filter

Dengan adanya pemasangan filter aktif pada setiap fasa, distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan dapat direduksi dengan hasil nilai THDi pada fasa R = 2,41 %, S = 2,69 %, dan T = 2,99 %. Nilai tersebut sudah memenuhi standar yang sudah ditetapkan yaitu dibawah 8 %.

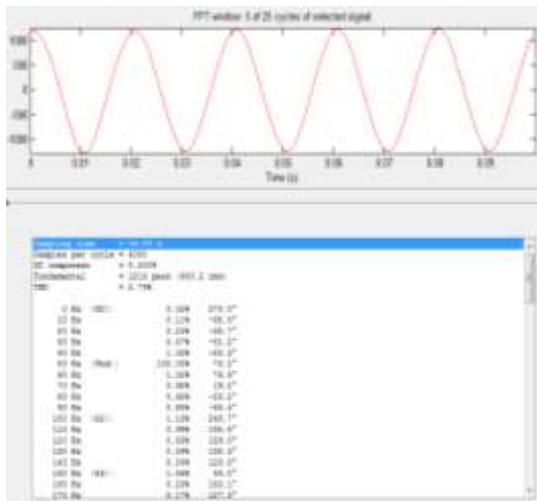
4.6 Pengaruh Setting Filter Terhadap THDi

Setting filter hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan nilai THDi yang sangat baik namun perlu untuk mengetahui pengaruh nilai setting filter khususnya pada nilai daya reaktif (Qc).

Dari 100 % nilai Qc akan dilakukan penurunan setting dengan asumsi sebesar 90 %, sampai dengan 40 %. Asumsi pertama akan menggunakan 90 % dari kemampuan maksimum filter dapat dihitung sebagai berikut.

$$Q_{C\ 90\%} = \frac{90}{100} \times 319,68 = 287,712\ kVar$$

Setelah dimasukkan nilai Qc yang baru maka akan dilakukan simulasi dengan hasil seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Sinyal Arus, THDi, dan Orde Harmonisa pada Fasa R Setelah Pemasangan Filter dengan Kemampuan 90 %

Dengan menggunakan cara yang sama terhadap presentase sebesar 70 % – 40 % maka hasil dari simulasi dapat dilihat di dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Pengaruh Nilai Daya Reaktif Filter Terhadap THDi

Persentase Nilai Daya Reaktif Filter (%)	Nilai Daya Reaktif (kVar)	THDi Tiap Fasa (%)			Keterangan
		R	S	T	
100	319,68	2,41	2,69	2,99	Memenuhi Standar
90	287,712	2,79	3,09	3,29	Memenuhi Standar
80	255,744	3,35	3,66	3,69	Memenuhi Standar
70	223,776	4,25	4,57	4,27	Memenuhi Standar
60	191,808	5,97	6,51	5,20	Memenuhi Standar
50	159,84	9,35	9,95	6,97	Tidak Memenuhi Standar
40	127,872	12,76	14,09	9,58	Tidak Memenuhi Standar

4.7 Analisis Rugi-Rugi Daya Listrik

Arus harmonisa pada kondisi eksisting mengakibatkan rugi-rugi daya pada fasa R = 0,05 p.u.; S = 0,06 p.u., dan T = 0,016 p.u. P_{LL} dalam satuan kW dapat diperoleh dengan persamaan (5)

$$P_{LL\ Fasa\ R} = 0,05 \times 49,076 = 2,4538\ kW$$

Sehingga hasil perhitungan load loss untuk masing-masing fasa dapat dilihat pada tabel 4:

Tabel 4. Load Loss untuk Masing-Masing Fasa Pada Kondisi Eksisting

Fasa	Losses (p.u)	P _{base} (kW)	Losses (kW)	Persentase
R	0,05	49,076	2,4538	5%
S	0,06	49,076	2,94456	6%
T	0,016	49,076	0,785216	1,6%
Total			6,183576	12,6%

Harmonisa pada kondisi pengoperasian filter aktif mengakibatkan rugi-rugi daya pada fasa R = 0,000133 p.u., S = 0,0002 p.u., dan T = 0,000033 p.u. P_{LL} dalam satuan kW dapat diperoleh seperti tabel 5:

Tabel 5. Load Loss untuk Masing-Masing Fasa Pada Kondisi Pengoperasian filter aktif

Fasa	Losses (p.u)	P _{base} (kW)	Losses (kW)	Persentase
R	0,000133	49,076	6,5 x 10 ⁻³	0,0133 %
S	0,0002	49,076	9,8 x 10 ⁻³	0,02 %
T	0,000033	49,076	1,6 x 10 ⁻³	0,0033 %
Total			17,9 x 10 ⁻³	0,037 %

Berbagai perhitungan yang sudah dilakukan maka dengan menggunakan metode yang sama maka didapatkan nilai P_{LL} dengan satuan (p.u) pada setiap setting filter. Sehingga hasil perhitungan load loss untuk masing-masing fasa untuk berbagai setting filter aktif dapat dilihat pada table 6.

Tabel 6. Nilai P_{LL} dengan satuan kW Tiap Fasa dengan Berbagai Setting

Presentase Nilai Daya Reaktif Filter (%)	P_{LL} Pada Tiap Fasa (kW)			Total (kW)
	R	S	T	
100	$6,5 \times 10^{-2}$	$9,8 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$17,9 \times 10^{-2}$
90	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$0,3 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-2}$
80	$2,2 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-2}$	$0,6 \times 10^{-2}$	6×10^{-2}
70	$4,9 \times 10^{-2}$	7×10^{-2}	$1,5 \times 10^{-2}$	$13,4 \times 10^{-2}$
60	0,13	0,2	0,04	0,39
50	0,64	0,88	0,16	1,68
40	1,8	2,73	0,46	4,9

5. KESIMPULAN

Pada kondisi eksisting nilai THDi pada fasa R sebesar 15,44 %, fasa S sebesar 15,60 %, dan fasa T sebesar 11,42 %. Nilai THDinya melebihi nilai standar IEEE std 519-2014 yaitu sebesar 8 %. Penggunaan filter aktif menyebabkan terjadinya penurunan nilai THDi yaitu pada fasa R sebesar 2,41 %, fasa S sebesar 2,69 %, dan fasa T sebesar 2,99 %. Melihat dari hasil pada tabel 3 maka semakin kecil nilai setting filter aktif akan membuat meningkatnya nilai THDi tiap fasa.

Rugi – rugi akibat terjadinya harmonisa pada kondisi eksisting adalah sebesar 6,18 kW dan pada saat pemasangan filter aktif terjadi penurunan rugi – rugi menjadi sebesar 0,0179 kW. Berdasarkan hasil dari tabel 6 maka semakin kecil setting filter aktif yang digunakan akan berdampak pada meningkatnya rugi-rugi harmonisa.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Agus, I.N., Rinas, I.W., Weking, A.I. 2017. Simulasi Peredaman Distorsi Harmonisa Menggunakan Filter Aktif dan Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelitrikan di Hotel The Bene Kuta. *E-Journal SPEKTRUM*, 4(2).

[2] Dugan, R.C., Rizy, D.T. 2001. Harmonic Consideration for Electrical Distribution Feeder, *National Technical*

Information Service, Report No. ORNL/Sub/81-95011/4 (Cooper Power System as Bulletin 87011, "Electrical Power System Harmonics, Design Guide").

[3] Antaka, I.M.E.P., Ariastina, W.G., Kumara, I.N.S., Hartati, R.S. 2012. Application Of Hybrid Active Power Filter To Reduce Losses Due To Harmonics Distortion: A Case Study In A City Hotel. *International Conference on Sustainable Technology Development*, 159(2).

[4] Andang, A., Hartati, R.S., Manuaba, I.B.G., Kumara, I.N.S. 2020. Harmonics Reduction on Electric Power Grid Using Shunt Hybrid Active Power Filter with Finite-Control-Set Model-Predictive Control. *Internasional Review on Modeling and Simulations*, 13(1):52.

[5] Sharma, S. 2007. *Basics of Electrical Engineering*. New Delhi: Internasional Publishing House Pvt. Ltd.

[6] Sankaran, C. 2002. *Power Quality*. Florida: CRC Press LLC.

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

[8] Rinas, I.W. 2017. *Kualitas Daya Listrik & Beberapa Solusinya*. Denpasar: Udayana University Press.

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