

# PENGARUH FILTER AKTIF DENGAN PENGATURAN DAYA REAKTIF TERHADAP EFISIENSI TRAF0 BERBASIS *SIMULINK*

IK Satriya Dhinata<sup>1</sup>, AAG Maharta Pemayun<sup>2</sup>, IB Gede Manuaba<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Alamat Jl Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali

[Sdhinata@gmail.com](mailto:Sdhinata@gmail.com)<sup>1</sup>

## ABSTRAK

Distorsi harmonisa biasa terjadi akibat pengoperasian beban listrik non – linear yang berlebihan, distorsi ini dapat dikurangi dengan memanfaatkan filter aktif harmonisa yang biasanya dapat dilakukan pengaturan daya reaktif pada filternya. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaturan daya reaktif pada filter aktif untuk mengetahui nilai efisiensi yang didapatkan dengan mengikuti nilai standar THDi IEEE 519 – 2014 sebesar 8 % untuk setiap fasanya. Hasil analisis pengaturan daya reaktif terkecil tetapi melebihi nilai efisiensi trafo pada saat kondisi eksisting dengan memenuhi standar IEEE 519 – 2014 adalah sebesar 30 % dengan nilai THDi untuk fasa R = 7, 54 %, S = 7,74 %, dan T = 7, 37 % didapatkan nilai efisiensi sebesar 96, 31 %.

**Kata Kunci** : THDi, harmonisa, filter aktif dan daya reaktif

## ABSTRACT

*Harmonic distortion usually occurs due to the operation of excessive non-linear electrical loads, this distortion can be reduced by utilizing an active harmonic filter which can usually be adjusted for reactive power on the filter. In this study, an analysis of reactive power settings on the active filter was carried out to determine the efficiency value obtained by following the IEEE 519 - 2014 THDi standard value of 8% for each phase. The results of the analysis of the smallest reactive power setting but exceeding the transformer efficiency value when the existing condition meets the IEEE 519 - 2014 standard is 40 % with the THDi value for the R phase = 7, 54%, S = 7,74%, and T = 7, 37% obtained an efficiency value of 96, 31%.*

**Keyword** : THDi, harmonic, active filter and reactive power filter

## 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini, tenaga listrik merupakan kebutuhan sehari – hari bagi masyarakat. Penyaluran energi listrik harus memiliki kualitas yang baik. Saat ini peralatan listrik banyak dikembangkan dengan basis mikro elektronik. Peralatan – peralatan jenis ini salah satunya adalah jenis beban non linier yang memiliki bentuk gelombang yang tidak sinusoidal karena telah terdistorsi akibat harmonisa yang ditimbulkan oleh perangkat elektronika daya seperti *diode*, *mosfet*, dan *thyristor*. [1][2]

Solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh harmonisa pada sistem distribusi yaitu dengan memanfaatkan filter aktif, bahwa filter aktif digunakan untuk meningkatkan kualitas daya sistem kelistrikan [3]. Berbagai teknik sudah dilakukan untuk memperbaiki

harmonisa. Beberapa diantaranya adalah penggunaan filter aktif *shunt hybrid* satu fasa dengan control histeresis dan *finite control set – model predictive control* (FCS-MPC)[4][5], diketahui hasil THDi yang didapatkan dengan kontrol histeresis lebih besar dari basis FCS-MPC, akan tetapi percobaan pada beban linier dengan control histeresis menghasilkan perubahan arus amplitudo pada sistem sedangkan dengan basis FCS – MPC tidak mempengaruhi arus amplitudo sistem.[5]

UPTD. Pratama Gema Santhi Nusa Penida Jalan Pendidikan disuplai oleh sebuah trafo dengan kapasitas sebesar 250 kVA yang menyuplai bangunan rumah sakit. Pada hasil pengukuran THDi pada *Main Distribution Panel* (MDP) didapatkan hasil standar persentase pada setiap fasa dengan fasa R = 17,32%, S = 20,44% dan T = 18,45%. Berdasarkan standar IEEE

519-2014 bahwa untuk mendapatkan nilai standar maksimum THDi harus dilakukan perhitungan rasio hubung singkat (*SCRatio*) terlebih dahulu, diketahui bahwa *SCRatio* transformator pada fasa R sebesar 46,58; fasa S sebesar 43,49; dan fasa T sebesar 48,77 maka batasan  $I_{THD}$  yang diperbolehkan yaitu sebesar 8% sehingga diketahui bahwa  $I_{THD}$  pada transformator melebihi standar. Pemanfaatan filter aktif untuk meredam harmonisa juga sudah pernah diaplikasikan sebelumnya seperti laporan pada jurnal [4][5][6][7].

Solusi yang dapat diterapkan berdasarkan masalah tersebut adalah melakukan simulasi pada pengoperasian filter aktif dengan pengaturan daya reaktifnya terhadap efisiensi trafo di UPTD. Pratama Gema Santhi Nusa Penida dengan menghitung arus THD dan menggunakan program komputer MATLAB sehingga dapat diketahui distorsi daya dan rugi – rugi daya yang dihasilkan.

**2. HARMONISA**

**2.1 Sumber Harmonisa**

Pengoperasian beban listrik yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya distorsi harmonisa. Fenomena ini dapat mengakibatkan terganggunya sistem fundamental listrik dengan frekuensi 50 Hz - 60 Hz, sehingga akan mempengaruhi bentuk pada gelombang arus murni menjadi tidak teratur.

**2.2 Standar Harmonisa**

Standar yang digunakan untuk mengevaluasi batasan arus dan tegangan harmonisa adalah IEEE Std. 519-2014 [8]. Seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Standar distorsi arus dan tegangan harmonic [8]

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonic) <sup>a,b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	3 ≤ h ≤ 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h ≤ 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

<sup>a</sup>THDi harmonisa urutan genap dibatasi 25% dari harmonisa urutan ganjil di atas

**2.3 Menentukan Batas Standar**

Mendapatkan nilai  $SC_{ratio}$  terlebih dahulu adalah salah satu syarat untuk mengetahui standar batasan maksimum nilai THDi.

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \dots\dots\dots [1]$$

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z (\%)} \dots\dots\dots [2]$$

$$I_L = \frac{KW}{PF \cdot \sqrt{3} \cdot KV} \dots\dots\dots [3]$$

**2.4 Menentukan Nilai Parameter**

Dalam pemodelan sumber tiga fasa (*Three Phase Source*) diperlukan beberapa parameter untuk dapat melakukan simulasi. [9]

$$V_{rms} = \frac{V_{sistem}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots [4]$$

$$Z_s = \frac{kV\phi^2}{MVA 3\phi} \times Z (\%) \dots\dots\dots [5]$$

$$X_s = \frac{X}{R} \times R_s \dots\dots\dots [6]$$

$$R_s = \frac{Z_s}{\sqrt{Z_s^2}} \dots\dots\dots [7]$$

**2.5 Menentukan Kapasitas R, L dan C**

Menentukan nilai *input* dalam block parameter pada simulasi MATLAB selain resistansi sumber dan induktansi sumber kita juga harus menentukan kapasitas beban R dan L.

$$R = \frac{V^2}{P} \dots\dots\dots [8]$$

$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \cdot f \cdot RF \cdot R} \dots\dots\dots [9]$$

$$L = \frac{0,236 R}{2 \pi \cdot f \cdot C} \dots\dots\dots [10]$$

**2.6 Pengaturan Daya Reaktif**

Dalam menentukan *setting* dalam filter aktif maka akan digunakan beberapa rumus yang menghitung nilai serta ukuran dari *setting* filter. [10]

$$\theta_1 = Arc \cos \varphi_{sistem} \dots\dots\dots [11]$$

$$\theta_2 = Arc \cos \varphi_{normal} \dots\dots\dots [12]$$

$$\theta_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \dots\dots\dots [13]$$

**2.7 Menentukan Rugi – rugi**

Secara teknis rugi – rugipada transformator dapat disebut sebagai *load loss* ( $P_{LL}$ ) sedangkan Untuk satuan per unit (p.u) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R}(p.u) \dots\dots\dots [14]$$

**2.8 Efisiensi Trafo**

Menentukan tingkat persentase efisiensi transformator dapat menggunakan persamaan berikut.

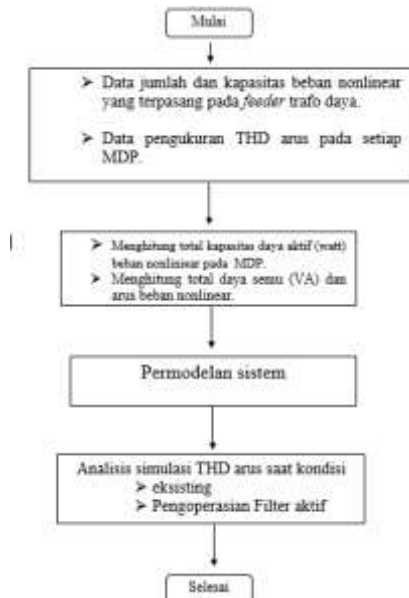
$$\%Efficiency = \left[ \frac{Daya Output}{Daya Input} \right] \times 100\% \dots\dots\dots [15]$$

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian dilakukan di ruang MDP UPTD Pratama Gema Santi yang beralamat di Jalan Pendidikan, Desa Ped, Kec. Nusa Penida, Kabupaten Klungkung. Waktu penelitian dilakukan pada bulan September tahun 2020.

Sumber data dalam pembahasan Skripsi ini berupa data observasi yang didapatkan dari hasil tang ampere berupa arus, tegangan dan cos phi pada ruang MDP di UPTD. Pratama Gema Santhi.

Analisis diagram alur dapat dilihat pada Gambar 1 :



**Gambar 1.** Alur Analisis

Berikut adalah langkah analisis penelitian yang dilakukan di UPTD Pratama Gema Santi :

1. Menentukan data pengukuran THDi dan menghitung jumlah kapasitas beban pada setiap MDP.
2. Menghitung total daya aktif dan daya semu pada MDP.
3. Membuat sistem modeling pada program MATLAB.
4. Menganalisis simulasi THDi pada saat kondisi eksisting dan saat setelah dioperasikannya filter aktif.
5. Membuat kesimpulan berdasarkan data yang didapat.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Perhitungan Daya Aktif, Daya Semu, dan Arus Beban**

Daya aktif masing – masing fasa yang terukur pada MDP adalah R = 37.725 W, S = 40.253 W, dan T = 35.983 W dengan cos  $\phi$  0,91.

Didapatkan daya semu dan arus beban pada fasa R sebesar :

$$Daya\ Semu\ (VA) = \frac{37.725}{0,91} = 41.192,84\ VA$$

$$Arus\ beban\ (I_L) = \frac{37.725}{212,5 \times 0,91} = 193,89\ A$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama maka dapat diperoleh nilai daya semu (S) dan nilai arus beban ( $I_L$ ) untuk fasa S dan T seperti pada table 2

Tabel 2. Nilai daya aktif, daya semu dan arus beban

Tempat	Fasa	Daya Aktif (P) (kW)	Daya Semu (S) (Volt Amper)	Arus beban ( $I_L$ ) (Amper)
MDP RS Pratama Gema Santi	R	37.725	41.192,84	193,89
	S	40.253	44.093,30	207,63
	T	35.983	39.362,33	185,16

**4.2 Menentukan Standar THD arus**

Hal yang pertama kali dilakukan untuk mencari THDi adalah menentukan nilai SC Ratio.

$$I_{SC} = \frac{250 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 0,04} = 9.031,79\ A$$

Setelah mendapatkan nilai Isc pada masing – masing fasa, langkah

selanjutnya adalah menentukan nilai SC Ratio.

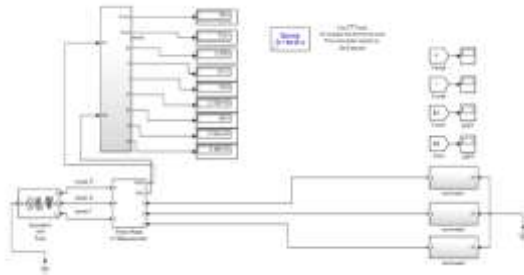
$$SC_{ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{9.031,72}{193,89} = 46,582 \text{ A}$$

Tabel 3. Standar THDi pada MDP UPTD Gema Santi

MDP	Fasa	$I_{SC}$ (Amper)	$I_L$ (Amper)	SC ratio	Standar THDi (%)
MDP UPTD. Pratama Gema Santhi	R	9.031,72	193,89	46,5828	8
	S	9.031,72	207,63	43,4988	8
	T	9.031,72	185,16	48,4788	8

Didapatkan standar THDi untuk setiap fasa sebesar 8%.

### 4.3 Pengoperasian saat kondisi eksisting



Gambar 2. Pemodelan sistem saat kondisi eksisting

Terdapat block parameter *three-phase source* pada pemodelan sistem yang akan diinput dengan nilai  $V_{rms}$ ,  $R_s$ , dan  $L_s$ .

$$V_{rms} = \frac{380}{\sqrt{2}}$$

$$R_s = \frac{0,029}{\sqrt{14,24} \cdot 3,773} = 0,0077 = 7,7e^{-3} \Omega$$

$$L_s = \frac{3,639R_s}{2 \times 3,14 \times 50} = 8,2e^{-5} H$$

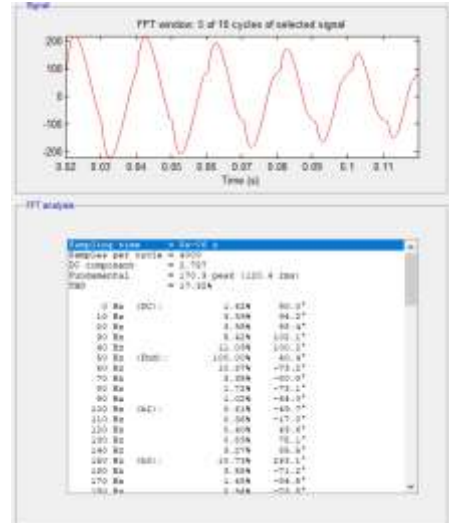
Sedangkan block parameter series R, L, C Branch yang dipasang pada setiap fasa diinput dengan R, L dan C.

$$R = \frac{212,5^2}{37725} = 1,196 \Omega$$

$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \times 50 \times 0,05 \times 1,196} = 0,0483 \text{ Farad}$$

$$L = \frac{0,236 \times 1,196}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,0483} = 0,0186 H$$

Setelah menginput semua nilai yang didapatkan pada masing – masing block parameter, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi sistem pada program MATLAB.

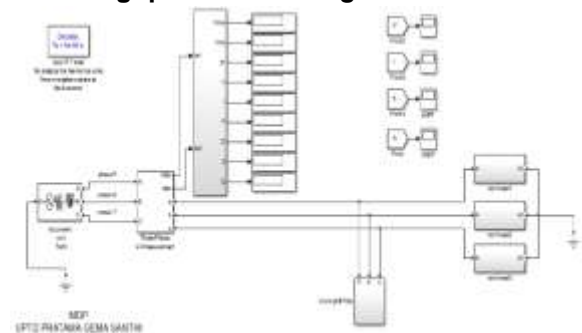


Gambar 3. Nilai THDi dan orde pada fasa R saat kondisi eksisting

Tabel 4. Nilai Persentase THDi saat kondisi eksisting

MDP	Fasa	THDi (%)	THD <sub>stand</sub> (%)	Keterangan
MDP UPTD. RS Pratama Gema Santi	R	17,32	8	Tdk sesuai standar
	S	16,50	8	Tdk sesuai standar
	T	18,45	8	Tdk sesuai standar

### 4.4 Pengoperasian Setting Filter Aktif



Gambar 4. Pemodelan Sistem setelah dipasangkan filter aktif

Pengaturan filter aktif dilakukan untuk mengurangi pengaruh tidak baik yang diakibatkan dari distorsi harmonik yang terjadi. Menentukan  $Q_c$  / daya reaktif dapat dihitung menggunakan persamaan 11, 12, dan 13.

$$P = 113,96 \text{ kW}$$

$$\theta_1 = \text{Arc cos } \varphi_{sistem}$$

$$= \text{Arc cos } 0,91 = 24,49^\circ$$

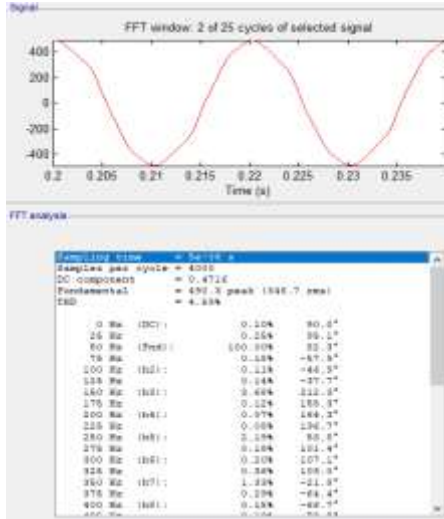
$$\theta_2 = \text{Arc cos } \varphi_{normal}$$

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

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

$$= 113,96 \text{ kW} (\tan 24,49 - \tan 11,48)$$

$$= 131,21 \text{ kVar}$$



Gambar 5. Sinyal arus dan orde pada fasa R saat dipasang filter aktif

Tabel 5. Nilai Persentase THDi setelah dipasang filter aktif

MDP	Fasa	THD <sub>i</sub> (%)	THD <sub>max</sub> (%)	Keterangan
MDP UPTD. PRATAMA GEMA SANTHI	R	4,39	8	memenuhi standar
	S	4,80	8	memenuhi standar
	T	4,49	8	memenuhi standar

#### 4.5 Pengaruh Nilai Daya Reaktif Filter Aktif terhadap THDi

Hasil perhitungan *setting* filter aktif yang sudah dilakukan didapatkan nilai THDi yang sudah memenuhi standar akan tetapi perlu untuk mengetahui pengaruh nilai pada pengaturan daya reaktifnya.

Didapatkan hasil nilai daya reaktif filter sebesar 131,21 kVar, nilai tersebut merupakan kemampuan maksimum dalam mereduksi harmonisa atau 100 % nilai Qc. Akan dilakukan penurunan setting nilai Qc sebesar 90 % sampai dengan 30 %.

$$Q_{c\ 90\%} = \frac{90}{100} \times 131,21 = 118,089 \text{ kVar}$$

Berikut adalah tabel nilai Qc terhadap THDi dari kemampuan Qc 100% - 90%.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Pengaruh Pengoperasian Nilai Daya Reaktif (Qc) Filter Terhadap THDi

Persentase Nilai Qc Filter (%)	Nilai Qc (kVar)	THDi Tiap Fasa (%)			Keterangan
		R	S	T	
100	131,21	4,39	4,80	4,49	Memenuhi Standar
90	118,089	4,80	4,97	4,71	Memenuhi Standar
80	104,968	5,31	5,48	5,23	Memenuhi Standar
70	91,847	6,25	6,41	6,16	Memenuhi Standar
60	78,726	6,50	6,68	6,33	Memenuhi Standar
50	65,605	6,79	6,97	6,58	Memenuhi Standar
40	52,484	7,54	7,74	7,37	Memenuhi Standar
30	39,363	8,71	8,95	8,49	Tidak Memenuhi Standar

#### 4.6 Analisis Rugi – rugi

Hasil perhitungan harmonisa dari orde ganjil yaitu orde 1 – orde 19 maka dapat dihitung load loss (P<sub>LL</sub>) dalam satuan (p.u) pada fasa R dengan menggunakan persamaan 14 dengan nilai P<sub>EC-R</sub> untuk trafo yang memiliki tegangan sekunder 400 V diketahui sebesar 1 %.

$$P_{LL\ \text{Fasa R}} (p.u) = 0,0092836 + (0,0092836 \times 17,32^2) \times 0,01$$

$$= 0,0171 (p.u)$$

Tabel 7. Total nilai P<sub>LL</sub> dalam satuan (p.u)

Deskripsi	Daya Total (kW)	P <sub>LL</sub> (kW)	P <sub>LL</sub> (%)
P <sub>LL</sub> dengan kondisi existing	131,347	8,105	6,16
P <sub>LL</sub> dengan filter aktif	131,347	1,095	0,83

#### 4.8 Analisis Efisiensi

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa rata-rata COS ϕ transformator UPTD. Pratama Gema Santi yaitu sebesar 0,91. Didapatkan nilai daya input masing-masing transformator adalah sebesar 227,5 kW.

Berdasarkan perhitungan daya input di atas maka selanjutnya dapat dihitung tingkat efisiensi transformator UPTD. Pratama Gema Santhi Kabupaten Klungkung dengan cara menggunakan persamaan 15.

1. Efisiensi trafo saat keadaan eksisting

$$= \left[ 1 - \frac{8,103}{227,5} \right] \times 100\%$$

$$= 96,43 \%$$

2. Efisiensi trafo saat dipasangkan filter aktif

$$= \left[ 1 - \frac{1,093}{227,5} \right] \times 100\%$$

$$= 99,51 \%$$

Tabel 8. Efisiensi trafo pada saat kondisi eksisting dan dipasangkan filter aktif

Transformator	Efisiensi pada kondisi Existing (%)	Efisiensi setelah dipasang filter aktif shunt (%)
Transformator UPTD. Pratama Gema Santi	96,43	99,51

## 5. KESIMPULAN

Pada kondisi eksisting nilai THDi yang didapatkan sebesar R = 17,32 %, S = 20,44 %, dan T = 18,45 % sedangkan saat pemasangan filter aktif nilai THDi mengalami penurunan yang signifikan sebesar R = 4,39 %, S = 4,80 %, dan T = 4,49 %.

Nilai Efisiensi Pada saat kondisi eksisting diketahui sebesar 96,43 % sedangkan pada saat kondisi setelah dioperasikan filter aktif dengan *setting* daya reaktif (Qc) dari filter aktifnya dengan kemampuan maksimum 100 % didapatkan nilai efisiensi trafo sebesar 99,51 % sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh pemanfaatan filter aktif terhadap efisiensi pada trafo UPTD Pratama Gema Santi sangat baik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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")*.
- [2] Dugan, R.C. 1996. *Electrical Power System Quality*. New York: Marcell Deker.
- [3] Antaka, I.M.E.P., Ariastna, W.G., Kumara, I.N.S., Hartati, R.S., *APPLICATION OF HYBRID ACTIVE POWER FILTER TO REDUCE LOSSES DUE TO HARMONICS DISTORTION: A CASE STUDY IN A CITY HOTEL, Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Technology Development, 2012*
- [4] Andang, A., Hartarti, R., Manuaba, I., Kumara, I., *Harmonics Reduction on Electric Power Grid Using Shunt Hybrid Active Power Filter with Finite-Control-Set Model-Predictive Control, (2020) International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), 13 (1), pp. 52-62.*
- [5] A. Andang, R. S. Hartarti, I. Manuaba and I. Kumara, "The Investigation of a Single-phase Shunt Hybrid Active Power Filter with FCS MPC and Hysteresis Control," *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC), 2019, pp. 416-421, doi: 10.1109/ICSECC.2019.8907158.*
- [6] Brama, A.A.G.A., Rinas, I.W., Maharta, A.G. 2019. Simulasi Pengaruh Pengoperasian Filter Aktif Shunt Terhadap Kenaikan Efisiensi Transformator di RSUD Kabupaten Klungkung. *E-Journal SPEKTRUM, 6(2)*.
- [7] Dyotha, I.G., Rinas, I.W., Arta I.W. 2020. Studi Analisis *Setting* Filter Aktif Terhadap Peningkatan Kualitas Daya Listrik Di Gedung Perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana. *E - Journal SPEKTRUM 7(3)*.
- [8] IEEE. 2014. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System*. IEEE Standard 519-2014.
- [9] Bhargav, R.G. dan Sanjav, R.V. 2018. Harmonic Elimination In Three Phase System By Means Of Hybrid Active

Filter. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(4).

- [10] Rinas, I.W. 2013. Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif dan Filter *Hybrid Shunt* untuk Meredam Meningkatnya Distorsi Harmonisa yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi. Denpasar: *Udayana University Press*.