

PENGGUNAAN *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* (PID) CONTROLLER PADA FILTER AKTIF UNTUK MEREDAM HARMONISA AKIBAT BEBAN NON LINIER DI BALI NATIONAL GOLF RESORT

I Gusti Made Widiarsana¹, I Wayan Rinas², I Wayan Arta Wijaya³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: widiarsana168@yahoo.co.id¹, rinas@unud.ac.id², artawijaya@unud.ac.id³

ABSTRAK

Bali National Golf Resort memiliki tingkat penggunaan beban non linier yang tinggi. Tingginya penggunaan beban non linier yang dioperasikan dapat menimbulkan harmonisa yang merupakan permasalahan utama dalam kualitas daya listrik. Harmonisa memiliki dampak buruk dalam sistem tenaga listrik yang menyebabkan bentuk gelombang arus dan tegangan tidak sinusoidal sehingga dapat mengakibatkan kondisi sistem kelistrikan tidak normal. Penggunaan filter aktif merupakan salah satu cara untuk meredam harmonisa. Penelitian ini memfokuskan pada simulasi penggunaan PID (*proportional integral derivative*) Controller pada filter aktif untuk meredam harmonisa. Dalam penelitian ini simulasi filter aktif menggunakan software MATLAB R2013. Hasil simulasi Penggunaan PID Controller pada filter aktif mampu meredam Kandungan THD di Bali National Golf Resort. Dimana Nilai THD_i setelah di pasang filter turun rata-rata menjadi 1.89% dan nilai THD_v turun rata-rata menjadi 0.59 %.

Kata Kunci : Harmonisa, Beban non linier, PID

ABSTRACT

Bali National Golf Resort has a high level of non-linear load usage. A harmonic is emerged due to a high level of non-linear load usage which was the main problem on the quality of electric power. On the other hand, it is also lead to an adverse impact for the electric power system such as the wave form and voltage were not sinusoidal. Then, in order to reduce it, an active filter could be used as one of the best way. This research focused on the simulation of PID (*Proportional Integral Derivate*) Controller towards an active filter to reduce the harmonic and MATLAB R2013 software that applicated as the instrument. As the result, the usage of PID Controller on the active filter could reduce the THDi into 1.89% and THDv into 0.59 % as an average percentage at Bali National Golf Resort.

Keywords: Harmonics, Non linear loads, PID

1. PENDAHULUAN

Bali National Golf Resort merupakan salah satu tempat olah raga yang diperuntukkan bagi kalangan atas. Bali National Golf Resort banyak dikunjungi oleh wisatawan maupun kalangan pebisnis. Peralatan – peralatan yang banyak dioperasikan di Bali National Golf Resort resort seperti AC (*air conditioner*), *Charger Boggie*, *Satelit Splinker*, pompa dan lain sebagainya yang tergolong beban-beban non linier. Karena begitu banyaknya beban-beban non linier yang dioperasikan, maka

akan memungkinkan terjadinya distorsi harmonisa.

Salah satu cara untuk mereduksi harmonisa adalah dengan penggunaan filter. Salah satu filter yang digunakan untuk meredam harmonisa adalah filter aktif. Penggunaan filter aktif dalam mereduksi harmonisa telah banyak diteliti oleh beberapa pihak salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Antonius Ibi Weking, I W. Rinas, dan A.K. Suwardana yang menggunakan simulasi penentuan penempatan filter aktif shunt pada Blue Point Bay Villa & Spa [1].

Penggunaan filter aktif dengan berbagai macam metode kontrol saat ini banyak diteliti tetapi masih terdapat banyak kerumitan pada rangkaian kontrolnya. Metode Kontrol PID adalah salah satu solusi untuk mengatasi kerumitan pada rangkaian kontrol.

Berdasarkan pengukuran awal yang telah dilakukan didapatkan besarnya nilai THD_i tertinggi sebesar 27,5 % dan terendah sebesar 13,6 %, serta besarnya nilai THD_v tertinggi sebesar 2,7 % dan terendah sebesar 1,1%. Standar THDI sesuai dengan nilai rasio hubung singkat dan tabel standar IEEE 519 tahun 2014 adalah sebesar 5%, maka dengan nilai THD_i sebesar 27,5 % masih jauh diatas standar yang telah ditentukan. Standar THD_v sesuai IEEE 519 tahun 2014 yaitu untuk suplai tegangan antara 1 kV < V < 69 kV adalah sebesar 5 %, dimana Bali Golf National Resort disuplai tegangan 20 kV maka nilai THD_v masih memenuhi standar.

Penelitian ini dilakukan dengan penggunaan *proportional integral derivative* (PID) *controller* untuk meredam harmonisa akibat beban *non linier* dengan menggunakan *software* MATLAB.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Harmonisa pada sistem tenaga listrik

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat penggunaan beban listrik *non linier*. Harmonisa pada sistem kelistrikan merupakan salah satu penyebab yang mempengaruhi kualitas daya. Pengaruh adanya harmonisa sangat dominan karena bersifat permanen dan menyebabkan terbentuknya gelombang sinusoidal frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, seperti: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya). Hal ini akan mengganggu sistem kelistrikan dengan frekuensi 50/60 (frekuensi fundamental), sehingga bentuk gelombang sinusoidal akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi [2].

2.2 Total Harmonic Distortion (THD)

harmonic distortion disebabkan oleh peralatan - peralatan *non linier* dalam suatu sistem tenaga listrik. Peralatan yang dikategorikan kedalam beban *non linier* yakni apabila mempunyai *output* yang

nilainya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan [3].

Persentase THD tegangan dan arus dipersamakan seperti pada Persamaan berikut [4].

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana:

V_h = Komponen harmonisa tegangan ke-h

V₁ = Tegangan frekuensi fundamental (rms)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana:

I_h = Komponen harmonisa arus ke-h

I₁ = Arus frekuensi fundamental (rms)

2.3 Standar Harmonisa

Kehadiran harmonisa telah melatarbelakangi terbitnya beberapa standar. Untuk memenuhi kebutuhan standarisasi di atas, *Institute of Electrical and Electronics Engineer* (IEEE) telah mengeluarkan *IEEE Std. 519- 2014*. Nilai batas THD arus dapat dilihat pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Batas THD arus menurut standar IEEE 519 tahun 2014

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,
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Menurut IEEE Std 519TM-2014 (*Revision of IEEE Std 519-1992*), untuk menentukan standar batas maksimum THDi pada *utility*, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*). SC_{ratio} dapat dihitung menggunakan persamaan [5]:

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (3)$$

Dimana, I_{sc} (Arus hubung singkat) dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z (\%)} \quad (4)$$

Sedangkan I_L (Arus beban maksimum) dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_L = \frac{KW}{PF \cdot \sqrt{3} \cdot KV} \quad (5)$$

Keterangan :

I_{sc} = Arus hubung singkat maksimum pada PCC

I_L = Arus beban maksimum

KW = Total daya aktif

Nilai batas untuk THD tegangan dapat dilihat pada Tabel 2 [5].

Tabel 2. Batas THD tegangan menurut standar IEEE 519 tahun 2014

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

2.4 Proportional Integral Derivative(PID)

PID terbagi dari 3 sistem kontrol yaitu kontrol *proportional*, kontrol *integral* dan kontrol *derivative*. Kontrol *proportional* memiliki keunggulan pada *risetime* yang cepat kemudian kontrol *integral* memiliki keunggulan untuk memperkecil *error* dan kontrol *derivative* memiliki keunggulan untuk meredam *overshot/undershot*. Kontrol *proportional*, *integral*, dan *derivative* ini secara terpisah memiliki keunggulannya masing - masing, kemudian untuk mendapatkan keluaran atau hasil dengan *risetime* yang cepat dan *error* yang kecil ketiga kontrol tersebut digabungkan menjadi satu kesatuan kontrol yaitu aksi kontrol PID [6].

Parameter pengontrol *Proportional Integral derivative* (PID) selalu berdasarkan karakteristik *plant* yang diinginkan. Dalam pencarian parameter PID, perlu diketahui karakteristik atau perilaku dari suatu *plant* yang dibuat untuk menentukan nilai parameternya [7].

3. METODE PENELITIAN

Proses pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data-data yang berkaitan dengan penelitian yaitu *single line*

diagram, data beban *non linier*, data THD arus dan THD tegangan pada Bali National Golf Resort. Setelah pengumpulan data, proses selanjutnya melakukan perhitungan yang menyangkut besaran nilai THD arus dan THD tegangan yang sesuai standar serta membandingkan dengan nilai THD arus dan THD tegangan yang didapat dari pengukuran. Pembuatan model simulasi yang akan digunakan pada penelitian, kemudian melakukan simulasi dari model simulasi filter aktif tanpa kontrol PID dan filter aktif menggunakan kontrol PID. Hasil keluaran simulasi filter aktif tanpa kontrol PID dan filter aktif menggunakan kontrol PID dibandingkan dengan hasil pengukuran di Bali National Golf Resort dan standar IEEE 519-2014 sesuai dengan sistem kelistrikan di Bali National Golf Resort.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengukuran THDv dan THDi

Dari hasil pengukuran yang dilakukan pada feeder trafo di panel LVDP PH sampai dengan tujuh panel lainnya akan dilakukan analisis apakah kandungan THD arus dan tegangan telah sesuai dengan standar IEEE 519 Tahun 2014. Data pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengukuran THD arus dan tegangan di Bali National Golf Resort

Tempat	Phasa	THD _i (%)	THD _v (%)
LVDP PH	R	27,5	1,9
	S	27,10	1,6
	T	25,96	1,5
MDP Power House	R	18,9	2,2
	S	16	2,6
	T	19,1	2
MDP Pump Station	R	27,4	2,7
	S	25,6	2,1
	T	21,9	2,4
LVDP Subtation D	R	13,6	1,9
	S	14,5	1,4
	T	13,9	2,3
MDP Wantilan Lot 1	R	15,7	1,6
	S	16,1	1,1
	T	16,4	2
MDP Trinisty Villa	R	17,3	2,2
	S	18	1,3
	T	18,7	2,3
Mdp Golf	R	18,3	2,4

Course Maintenannce	S	19	2,1
	T	19,7	2,1
MDP Lead Better Golf Academy	R	15,4	1,9
	S	15,1	2,1
	T	16,8	1,6

Perhitungan SC ratio diatas merupakan hasil perhitungan untuk panel LVDP PH yang digunakan untuk menentukan batas nilai THD_i yang diijinkan dengan merujuk standar IEEE 519 2014. Sehingga nilai batas maksimum THD_i untuk kedelapan panel dapat ditentukan dan ditabelkan yang diperlihatkan pada Tabel 4.

4.2 Batas Maksimum THD_i (THD arus)

Menurut IEEE Std 519™-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992) , untuk menentukan standar batas maksimum THD_i, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*). SC_{ratio} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) , (4) dan (5) .

Dari data delapan panel yang didapat pada Bali National Golf Resort, dapat dihitung nilai rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*). Pada *paper* ini hanya perhitungan panel LVDP PH yang akan ditampilkan, dengan meggunakan data panel LVDP PH nilai rasio hubung singkat dapat dihitung sebagai berikut :

Kapasitas Transformator (kVA) = 400 kVA
 Tegangan Sekunder (kV) = 380 V
 Impedansi (%) = 4 %

$$I_{sc} = \frac{kVA \times 100}{\sqrt{3} \times kV \times Z}$$

$$= \frac{400 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,04}$$

$$= 1521143,9 A$$

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

$$= \frac{108160}{0,86 \times \sqrt{3} \times 0,38}$$

$$= \frac{108160}{0,565364}$$

$$= 191310,377 A$$

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

$$= \frac{1521143,9}{191310,377}$$

$$= 7,952$$

Tabel 4. Batas maksimum THD_i di Bali National Golf Resort

Tempat	Phasa	SC ratio hasil Perhitun-gan	SC ratio IEEE Std 519™ -2014	THD _i Max (%)
LVDP PH	R	7,952	< 20	5
	S	6,927	< 20	5
	T	7,099	< 20	5
MDP POWER HOUSE	R	17,83	< 20	5
	S	19,027	< 20	5
	T	16,854	< 20	5
MDP PUMP STATION	R	12,097	< 20	5
	S	11,62	< 20	5
	T	14,124	< 20	5
LVDP SUBTATIO N D	R	61,147	50 < 100	12
	S	68,42	50 < 100	12
	T	55,484	50 < 100	12
MDP WANTILAN LOT 1	R	416,16	100 < 1000	15,0
	S	400,19	100 < 1000	15,0
	T	438,55	100 < 1000	15,0
MDP TRINISTY VILLA	R	393,95	100 < 1000	15,0
	S	429,14	100 < 1000	15,0
	T	374,81	100 < 1000	15,0
MDP GOLF COURSE MAINTENAN NCE	R	119,98	100 < 1000	15,0
	S	121,87	100 < 1000	15,0
	T	123,81	100 < 1000	15,0

MDP LEAD BETTER GOLF ACADEMY	R	324,96	100 <1000	15,0
	S	351,24	100 <1000	15,0
	T	308,96	100 <1000	15,0

perbandingan antara nilai kandungan harmonisa hasil pengukuran dengan hasil perhitungan SC ratio yang merujuk standar IEEE Std 519™-2014 untuk menentukan batas nilai THD_i dapat dilihat pada Tabel 5.

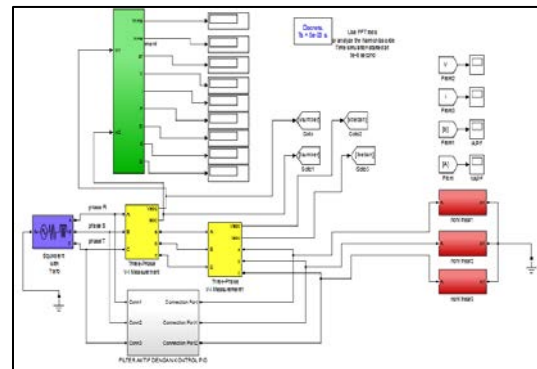
Tabel 5. Perbandingan THD_i pengukuran dengan standar IEEE Std 519™-2014

Tempat	Phas a	THD _i pada Bali National Golf Resort (%)	THD _i sesuai IEEE Std 519™-2014 (%)	KET
LVDP PH	R	27,5	5	Tidak standar
	S	27,10	5	Tidak standar
	T	25,96	5	Tidak standar
MDP POWER HOUSE	R	18,9	5	Tidak standar
	S	16	5	Tidak standar
	T	19,1	5	Tidak standar
MDP PUMP STATION	R	27,4	5	Tidak standar
	S	25,6	5	Tidak standar
	T	21,9	5	Tidak standar
LVDP SUBSTATION D	R	13,6	12	Tidak standar
	S	14,5	12	Tidak standar
	T	13,9	12	Tidak standar
MDP WANTILAN LOT 1	R	15,7	15,0	Tidak standar
	S	16,1	15,0	Tidak standar
	T	16,4	15,0	Tidak standar
MDP TRINISTY VILLA	R	17,3	15,0	Tidak standar
	S	18	15,0	Tidak standar
	T	18,7	15,0	Tidak standar
MDP GOLF COURSE MAINTENA	R	18,3	15,0	Tidak standar
	S	19	15,0	Tidak standar

NNCE				standar
	T	19,7	15,0	Tidak standar
MDP LEAD BETTER GOLF ACADEMY	R	15,4	15,0	Tidak standar
	S	15,1	15,0	Tidak standar
	T	16,8	15,0	Tidak standar

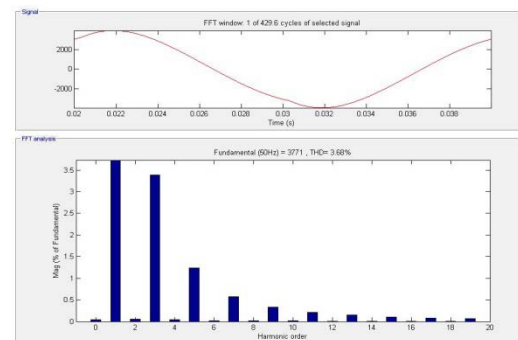
4.3 Simulasi Penggunaan PID Controller Filter aktif untuk mengurangi Total Harmonic Distorsion (THD).

Model rangkaian pada simulasi MATLAB dimana telah terpasangnya filter aktif shunt pada simulasi, dari delapan panel yang terdapat dalam penelitian ini, pada penelitian ini desain model simulink dan hasil simulasi yang ditampilkan hanya panel LVDP PH. Gambar model simulink dapat dilihat pada Gambar 1.



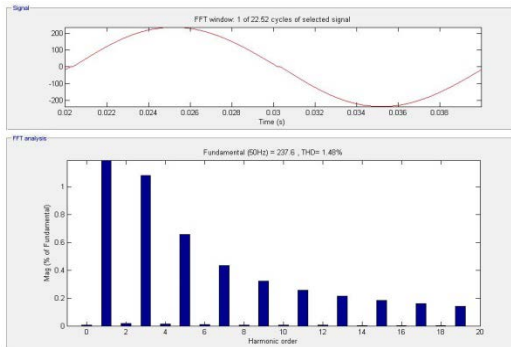
Gambar 1. Desain model Simulink filter aktif dengan kontrol PID

Dengan bantuan FFT Tools dapat diketahui besarnya kandungan THD pada sinyal dan spectrum yang dihasilkan oleh simulasi pada sistem, untuk hasil simulasi THDi setelah pengoperasian filter aktif dapat dilihat pada Gambar 2.



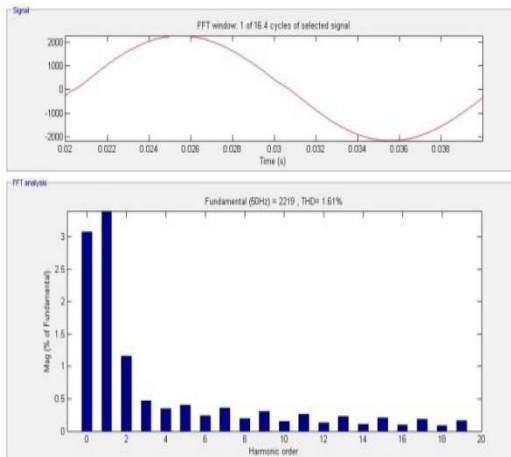
Gambar 2. Hasil Simulasi THDi setelah pengoperasian filter aktif

Hasil simulasi THD_v setelah pengoperasian filter aktif dapat dilihat pada Gambar 3.



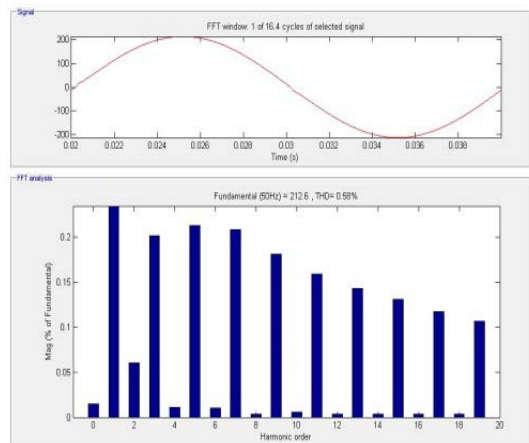
Gambar 3. Simulasi THD_v setelah pengoperasian filter aktif

Hasil Simulasi THD_i setelah pengoperasian filter aktif dengan kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Simulasi THD_i setelah pengoperasian filter aktif dengan kontrol PID

Hasil Simulasi THD_v setelah pengoperasian filter aktif dengan kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi THD_v setelah pengoperasian filter aktif dengan kontrol PID

4.4 Analisis Perbandingan Simulasi THD Menggunakan Filter Aktif Tanpa Kontrol dengan Filter Aktif Menggunakan PID Controller

Perbandingan hasil setiap simulasi yang telah dilakukan untuk ke-delapan panel yang terdapat pada penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Simulasi THD_i dan THD_v Setiap Simulasi

Tempat	Phasa	Filter aktif tanpa kontrol		Filter aktif dengan kontrol PID	
		THD _i (%)	THD _v (%)	THD _i (%)	THD _v (%)
LVDP PH	R	3,68	1,48	1,61	0,58
	S	4,28	1,74	1,90	0,60
	T	4,12	1,66	1,58	0,59
MDP POWER HOUSE	R	1,77	0,75	1,50	0,7
	S	1,71	0,62	1,66	0,62
	T	2,04	0,73	1,64	0,66
MDP PUMP STATION	R	4,06	1,46	3,29	1,37
	S	4,52	1,49	3,61	1,47
	T	3,20	1,03	2,36	0,93
LVDP SUBTATION D	R	3,55	0,56	2,10	0,41
	S	4,14	0,69	2,33	0,45
	T	3,67	0,68	1,73	0,44
MDP WANTILAN LOT 1	R	3,33	0,8	1,57	0,33
	S	3,42	0,9	1,52	0,43
	T	3,29	0,81	0,90	0,26
MDP TRINISTY VILLA	R	3,55	0,9	1,58	0,34
	S	3,13	0,88	1,57	0,42
	T	3,99	0,85	0,96	0,28
MDP GOLF COURSE	R	2,66	0,83	2,56	0,80
	S	2,64	0,84	2,61	0,82

MAINTENAN NCE	T	2,73	0,83	2,27	0,69
MDP LEAD BETTER GOLF ACADEMY	R	1,68	0,38	1,66	0,32
	S	1,71	0,45	1,67	0,33
	T	1,50	0,32	1,08	0,29

Dari tabel diatas terlihat kandungan THDi setelah pemasangan filter aktif tanpa kontrol terjadi penurunan nilai THDi dimana dengan jumlah penurunan tersebut sudah memenuhi standar IEEE 519 Tahun 2014. Tercatat THDi tertinggi pada MDP *Pump Station* Phasa S dengan kandungan THDi sebesar 4,52 % dan Kandungan THDi terendah sebesar 1,5 % terdapat pada MDP *Lead Better Golf Academy*.

Kandungan THDv pada setiap panel di Bali National Golf Resort sesuai pengukuran di lapangan telah memenuhi standar dengan batas THDv sebesar $\leq 5,0$ %. Mengacu pada tabel 4.8 dan tabel 4.10 terjadi penurunan nilai THDv setelah pemasangan filter aktif tanpa kontrol dimana nilai THDv tertinggi terdapat pada LVDP PH sebesar 1,74 % dan terendah terdapat pada MDP *Lead Better Golf Academy* Phasa T sebesar 0,32 %

Kandungan THDi setelah pemasangan filter aktif dengan kontrol PID terjadi penurunan nilai THDi dimana dengan jumlah penurunan tersebut sudah memenuhi standar IEEE 519 Tahun 2014. Tercatat THDi tertinggi pada MDP *Pump Station* Phasa S dengan kandungan THDi sebesar 3,61 % dan Kandungan THDi terendah sebesar 0,90% terdapat pada MDP *Trinisty Villa* Phasa T.

Untuk THDv setelah pemasangan filter aktif dengan kontrol PID terjadi penurunan nilai THDv dimana nilai THDv tertinggi terdapat pada MDP *Pump Station* Phasa S sebesar 1,47% dan terendah terdapat pada MDP *Lead Better Golf Academy* Phasa T sebesar 0,29%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penggunaan *proportional integral derivative* (PID) *controller* pada filter aktif untuk meredam harmonisa akibat beban non linier di Bali National Golf Resort, maka simpulan yang didapatkan adalah Kandungan THDi setelah penggunaan filter aktif tanpa kontrol turun rata-rata menjadi 3,099 %. Untuk kandungan THDv turun rata-rata menjadi 0,904 %. Kemudian

Kandungan THD_i setelah penggunaan filter aktif dengan kontrol PID turun rata-rata menjadi 1,884%. Untuk kandungan THD_v turun rata-rata menjadi 0,589 %. sehingga penggunaan filter aktif dengan kontrol PID lebih baik karena mampu menghasilkan nilai THD yang lebih kecil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. Weking, I. W. Rinas, and A. K. Suwardana, "Simulasi Penentuan Penempatan Filter Aktif Shunt Untuk Mendapatkan Distorsi Daya Yang Terkecil Di Blue Point Bay Villa & Spa," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 2, 2013.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality-Second Edition*. USA: McGraw-Hill, 2003.
- [3] I. W. Rinas, "Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif dan Filter Hybrid Shunt untuk Meredam Meningkatnya Distorsi Harmonisa yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 2, 2013.
- [4] I. G. A. Gunawan, I. W. Rinas, and I. W. A. Wijaya, "ANALISIS DISTORSI HARMONISA PADA PENYULANG ABANG KARANGASEM SEBELAH TERPASANGNYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)," *J. Ilm. SPEKTRUM*, vol. 2, no. 3, pp. 130–135.
- [5] IEEE Standards Association, "IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems," 2014.
- [6] S. Omatu, M. Yoshioka, T. Kosaka, H. Yanagimoto, and J. A. Dargham, "Neuro-PID Control of Speed and Torque of Electric Vehicle," *Int. J. Adv. Syst. Meas. Vol. 3 Number 1 2 2010*, 2010.
- [7] K. H. Ang, G. Chong, and Y. Li, "PID control system analysis, design, and technology," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 559–576, 2005.