

SIMULASI PENGGUNAAN FILTER AKTIF SHUNT DENGAN KONTROL PI UNTUK MEREDAM *TOTAL HARMONIC DISTORTION* (THD) PADA GEDUNG DH TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS UDAYANA

A.A. Gede Kresna Dharma Yudha¹, Cok. Gede Indra Partha², I Wayan Sukerayasa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

Kresna898@gmail.com

ABSTRAK

Setiap aktifitas sehari-hari membutuhkan energi listrik. Beban energi listrik berbeda-beda. Distorsi harmonisa adalah salah satu hasil dari gangguan gelombang arus dan tegangan yang disebabkan oleh beban non-linier, seperti lampu, komputer, dan AC, antara lain. Ini menyebabkan penurunan kualitas daya listrik. Gangguan resonansi yang tinggi dapat menyebabkan meningkatnya harmonisa yang dapat mencapai 4 sampai 10 kali pada kondisi muatan penuh. Gangguan harmonisa dapat diatasi salah satunya dengan cara menggunakan filter harmonisa. Pada penelitian ini, filter shunt aktif dengan kontrol PI digunakan untuk meredam gangguan resonansi harmonisa. Nilai THD yang sesuai dengan standar IEEE 519-2014 diperoleh dengan menggunakan filter harmonisa ini. Dalam penelitian ini menggunakan simulasi software *Matlab Simulink*. THD yang didapat sebelum dilakukannya simulasi yaitu THD_v pada fasa R = 1,62%, S = 1,64%, T = 1,71%, THD_i pada fasa R = 14,73%, S = 12,96%, T = 13,53%. THD yang didapat setelah simulasi yaitu THD_i pada setiap fasa R = 3,29%, S = 3,01%, T = 4,53%.

Kata kunci : Harmonisa, filter aktif shunt, matlab simulink, THD (Total Harmonic Distortion)

ABSTRACT

Every daily activity requires electrical energy. Electrical energy loads vary. Harmonic distortion is one of the results of current and voltage wave disturbances caused by non-linear loads, such as lamps, computers, and air conditioners, among others. This causes a decrease in the quality of electric power. High resonance disturbances can cause increased harmonics which can reach 4 to 10 times under full charge conditions. One way to overcome harmonic disturbances is by using a harmonic filter. In this study, an active shunt filter with PI control is used to reduce harmonic resonance disturbances. The THD value according to the IEEE 519-2014 standard is obtained by using this harmonic filter. In this study using Matlab Simulink simulation software. The THD obtained before the simulation was carried out, namely THD_v in the R phase = 1.62%, S = 1.64%, T = 1.71%, THD_i in the R phase = 14.73%, S = 12.96%, T = 13.53%. The THD obtained after the simulation is THD_i at each phase R = 3.29%, S = 3.01%, T = 4.53%.

Key Words : Harmonics, active shunt filters, matlab simulink, THD (Total Harmonic Distortion)

1. PENDAHULUAN

Semua aktifitas sehari-hari membutuhkan energi saat ini. Kemajuan teknologi telah memungkinkan penciptaan berbagai perangkat elektronik yang memudahkan kehidupan manusia dalam berbagai sektor. Beban energi listrik berbeda-beda. Distorsi harmonisa

merupakan jenis gangguan yang terjadi pada gelombang arus dan tegangan karena beban non-linier seperti lampu, komputer, AC, dan lain-lain, yang mengurangi kualitas daya listrik. Bentuk gelombang sinusoidal berinteraksi dengan gelombang lain, ini dapat mengubah bentuk gelombang asli. Istilah untuk persentase yang disebut THD

(Total Harmonic Distortion) menunjukkan jumlah harmonisa [1].

Sistem kelistrikan Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana disuplai oleh PLN melalui tranformaator KA 0298 berkapasitas 200kVA. Selain itu, ada beberapa *smart microgrid* yang terdiri dari PLTS dengan daya nominal 26,4 kWp, tetapi yang beroperasi saat ini sebesar 13,2 kWp, terhubung ke jaringan PLN 220/380 V. PLTB memiliki kapasitas 5 kWp, dan PLTD memiliki kapasitas 30 kVA. Sistem Smart Microgrid Teknik Elektro Universitas Udayana memiliki sistem pengawasan yang mampu mencatat [2].

Berdasarkan pengukuran pada SDP Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana, didapatkan daya total sebesar 12,754 kW, THDv pada fasa R = 1,62%, S = 1,64%, T = 1,71%, THDi pada fasa R = 14,73%, S = 12,96%, T = 13,53%. Batasan THD (*Total Harmonic Distortion*) pada sistem kelistrikan tertuang dalam standar IEEE 519-2014. Berdasarkan standar IEEE 519-2014 ditentukan batas THD untuk Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana yaitu THDv <8% dan THDi <5%. Hasil pengukuran awal pada Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana THDv telah memenuhi standar, sedangkan THDi tidak memenuhi standar.

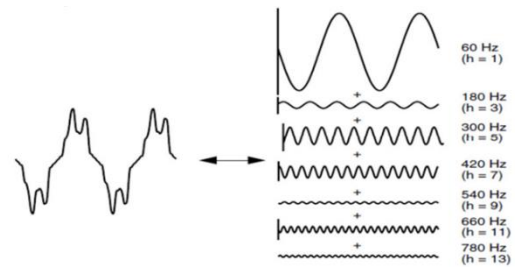
Memperbesar kawat netral, meningkatkan kapasitas transformator dengan mengurangi pembebanannya, dan menggunakan filter harmonisa adalah tiga cara untuk mengatasi masalah harmonisa. Filter aktif lebih efisien dalam penggunaan dan unjuk kerjanya untuk mengurangi masalah harmonisa. Filter harmonisa mengurangi amplitudo frekuensi tertentu dari tegangan dan arus, yang memungkinkan pengurangan penyebaran harmonisa pada jaringan sistem tenaga listrik.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka dilakukan penelitian Simulasi Penggunaan Filter Aktif *Shunt* Dengan Kontrol PI Untuk Meredam *Total Harmonic Distortion* (THD) Pada Gedung Dh Teknik Elektro Universitas Udayana. Pada penelitian ini akan mensimulasikan penggunaan filter aktif dengan kontrol PI menggunakan perangkat lunak *Matlab Simulink* untuk meredam THD pada Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana.

2. Kajian Pustaka

2.1 Harmonisa

Harmonisa adalah keadaan dengan frekuensi yang berbeda-beda yang dihasilkan dari pengulangan kerangka catu daya yang dimaksudkan untuk bekerja, biasanya 50 Hz atau 60 Hz. Harmonisa merupakan tegangan atau aliran sinusoidal yang dihasilkan dari pengulangan kerangka catu daya yang dimaksudkan untuk bekerja. Harmonisa mengubah bentuk gelombang tegangan dan arus yang semula sinusoidal murni [3].

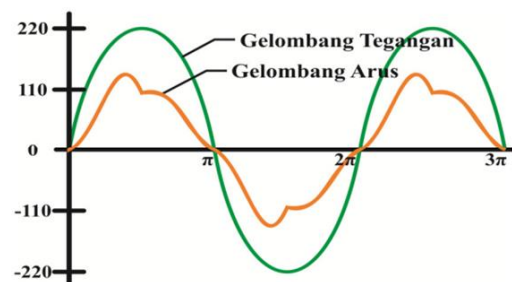


Gambar 1. Distorted Waveform [2]

Gambar 1 menunjukkan bahwa gelombang terdistorsi adalah penjumlahan dari beberapa gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang berbeda setiap periodik. Bilangan gelombang sinusoidal yang berbeda adalah perkalian dari jumlah perulangan dasar. Dalam sistem tenaga listrik, harmonisa dapat terjadi karena penggunaan beban nonlinier seperti konverter, inverter, dan peralatan switching terkait lainnya [4].

2.2 Beban Non-Linier

Beban yang mempunyai bentuk gelombang keluaran pada setiap setengah siklusnya yang tidak sebanding dengan tegangan disebut beban non-linier. Akibatnya bentuk gelombang arus dan tegangan keluaran tidak sama dengan masukan. Seperti gambar 2 [5].



Gambar 2. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Beban *Non-Linear* [5]

2.3 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah indeks efektif komponen harmonik gelombang terdistorsi, yang dapat dihitung baik untuk tegangan maupun arus. THD biasanya ditunjukkan sebagai persentase (%), yang merupakan perbandingan nilai RMS komponen harmonik dengan nilai RMS fundamental [6]. Seberapa jauh bentuk gelombang intermiten dengan substansi simfoni menyimpang dari bentuk gelombang sinusoidal murni dengan menggunakan indeks ini. THD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (1)$$

Keterangan:

M_h = Nilai RMS dari komponen harmonisa h

M dapat berupa tegangan (V) maupun besaran arus (I), sehingga untuk menghitung THD tegangan (THD_V) dapat menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

THD_V = THD tegangan (%)

V_1 = Tegangan fundamental (rms)

Menghitung nilai THD arus (THD_I) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

THD_I = THD arus (%)

I_1 = Arus fundamental (rms)

2.4 Standar Harmonisa Arus dan Tegangan (IEEE 519-2014)

Standar mengenai harmonisa tertuang dalam IEEE 519-2014 "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System" yang diterbitkan oleh Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) seperti pada tabel 2 dan 3 [7].

Tabel 1: Batas Distorsi Tegangan [7]

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

Tabel 2: Batas Distorsi Tegangan [7]

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic orde (odd harmonic) ^{ab}						
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
THD _i harmonisa urutan genap dibatasi 25% dari harmonisa urutan ganjil di atas						
Distorsi arus yang disebabkan sebuah penyearah setengah gelombang DC tidak diizinkan atau tidak termasuk pada Tabel di atas						
dengan:						
I_{sc} = Max short circuit current di PCC (Point of Common Coupling)						
I_L = Max load current (arus beban fundamental) di PCC						

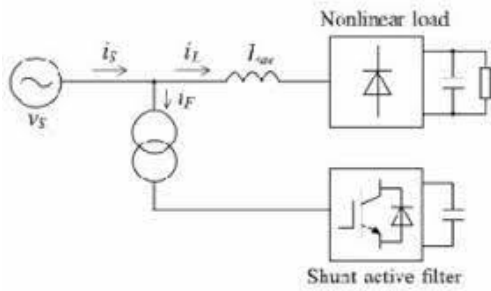
2.4 Filter Aktif

Filter aktif terdiri dari rangkaian elektronika yang terdiri dari komponen R, L, dan C. Tujuan filter aktif adalah untuk mengurangi harmonisa pada beban non linier dalam sistem tenaga karena gangguan yang semakin besar dan berkelanjutan. [8].

Filter aktif pada dasarnya terbagi menjadi dua topologi yaitu secara paralel atau yang disebut *shunt active filter* dan secara seri atau yang disebut *series active filter* [9].

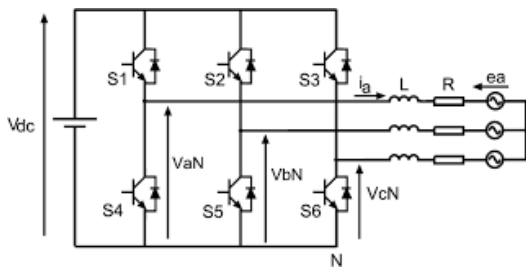
2.4.1 Filter Aktif Paralel (Shunt Active Filter)

Current-Controlled Voltage-Source Inverter (CC-VSI) tiga fasa yang dikontrol arus saat ini dengan shunt filter daya aktif memiliki induktor pada sisi output AC dan kapasitor pada sisi output DC, masing-masing dengan nilai arus saat ini konstan. Gambar 3 menunjukkan rangkaian filter aktif paralel.

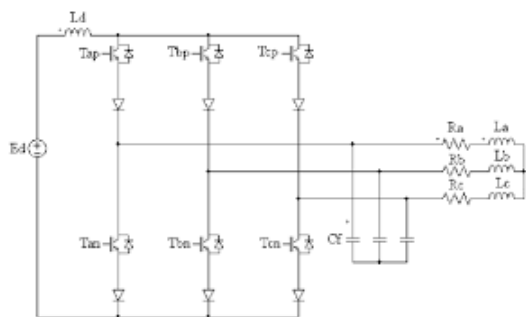


Gambar 3. Rangkaian Filter Aktif Paralel [8]

Sesuai dengan konfigurasi sistem, *active power filter* terbagi menjadi tipe *Voltage Source Inverter (VSI)* dan *Current Source Inverter (CSI)*. Gambar 4 dan 5 menunjukkan *Current Source Inverter* dengan induktor DC dengan arus DC yang konstan, dan *Voltage Source Inverter* memiliki kapasitor DC dengan tegangan yang konstan.



Gambar 4. Voltage Source Inverter [8]



Gambar 5. Current Source Inverter [8]

Untuk mengidentifikasi setting filter aktif, beberapa rumus akan digunakan, yaitu:

1) Melakukan perhitungan nilai kapasitor dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \quad (3)$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (5)$$

Keterangan:

Q-C : daya reaktif (kVar)

X_C : reaktansi kapasitif

C : nilai kapasitor

V : tegangan pada saluran (kV)

F : frekuensi fundamental

2) Melakukan perhitungan nilai induktor dengan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{1}{C(2\pi f n)^2} \quad (6)$$

Keterangan:

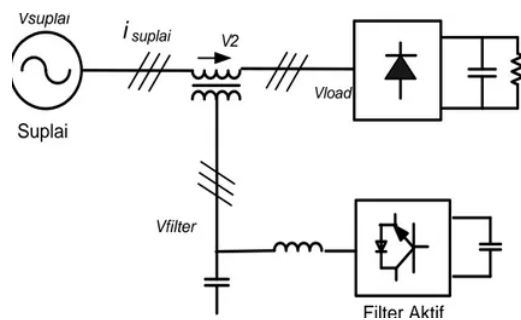
C : nilai kapasitor

L : nilai induktor

f : frekuensi

2.4.2 Filter Aktif Seri (*Series Active Filter*)

Filter aktif seri terhubung secara seri ke suplai dan beban digunakan pada sistem tegangan tinggi dan rendah untuk memfilter harmonisa dan mengkompensasi distorsi tegangan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Sebelum transformator dihubungkan, inverter dan keluarannya dihubungkan dengan filter L atau LC.



Gambar 6. Rangkaian Filter Aktif Seri [7]

2.5 Kontrol PID

Mengatur parameter pengontrol *proporsional, integral, dan derivative (PID)* dikenal sebagai *tunning*. PID memiliki keunggulannya masing-masing. *Proportional* memiliki keunggulan pada *risetime* yang cepat, *integral* mengurangi *error*, dan *derivative* meredam *overshot* atau *undershot* [10]. Ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan nilai respons kontrol yang optimal. Metode pengaturan pengontrol PID bervariasi dari yang sederhana sampai yang khusus, dan masing-masing didasarkan

pada karakteristik sistem. [11]. Metode tuning PID untuk sistem close loop yaitu *Ziegler-Nichols method*, *Tyreus-Luyben method*, *Damped oscillation method* dan lain-lain. Metode *Ziegler-Nichols* adalah teknik tuning sederhana yang didasarkan pada osilasi berkelanjutan. Menjadikan parameter sistem I dan D menjadi 0 adalah langkah pertama. Nilai K_p kemudian diubah hingga sistem berosilasi secara konsisten. Nilai K_p , yang merupakan *ultimate gain* (K_u) dan *ultimate periode* (P_u), akan dihasilkan oleh output sistem.. Nilai K_p dan P_u digunakan untuk menentukan nilai PID sesuai dengan tabel 3.

Tabel 3: Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols [11]

Tipe Pengontrolan	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_u$.	.
PI	$0,45 K_u$	$P_u/1,2$.
PID	$0,6 K_u$	$P_u/2$	$P_u/8$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di gedung perkuliahan Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Jimbaran. Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2022 sampai Maret 2023. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut.

Langkah 1. Pengumpulan Data

Penelitian diawali dengan pengumpulan data, yaitu data *single line*, THD arus dan tegangan pada inverter, Data beban yang beroperasi di gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana.

Langkah 2. Perhitungan Batas THD Berdasarkan Standar IEEE 519-2014.

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui batas maksimal THD yang diizinkan pada sistem kelistrikan Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana.

Langkah 3. Membuat Model Sistem Kelistrikan Existing Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana dengan memodelkan PLTS, Grid, Beban *Non-Linear*,

Dan Model Filter Aktif Shunt Dengan Kontrol PI.

Pemodelan dibuat pada *Matlab Simulink* disesuaikan dengan jenis alat yang berada pada Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana.

Langkah 4. Mengatur Parameter pada setiap komponen filter dan melakukan tuning PI.

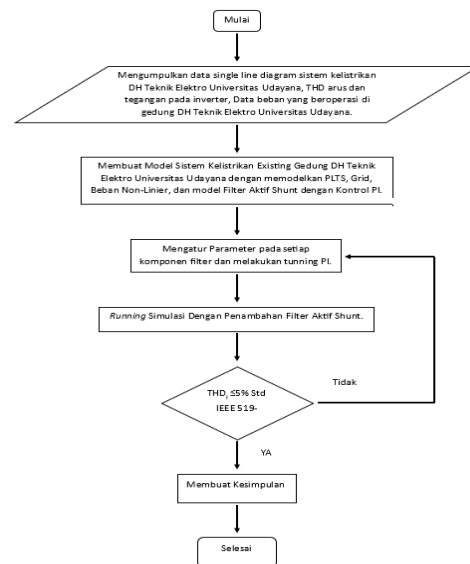
Pengaturan paramter dilakukan di *Matlab Simulink* agar dapat meredam THD. Langkah 5. *Running* Simulasi Dengan Penambahan Filter Aktif Shunt.

Running Simulasi dilakukan untuk mengetahui nilai THD pada Gedung DH Teknik Elektro Univrsitas Udayana sudah sesuai dengan batas maksimal THD berdasarkan standar IEEE 519-2014. Jika THD belum memenuhi standar maka dilakukan kembali pengaturan parameter supaya mendapatkan hasil yang sesuai.

Langkah 6. Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan langkah ketiga sampai kelima maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

Diagram alir penelitian dapat disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Standar THD_v dan THD_i

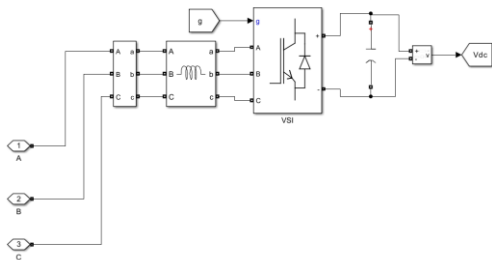
Menurut IEEE Standar 519-2014, rasio hubungan singkat (*short circuit ratio*)

harus diketahui untuk menentukan standar batas maksimum THDI. Hasil dari rasio hubung singkat (SCratio) adalah 0,88, yang menunjukkan bahwa standar maksimum THD arus adalah 5%.

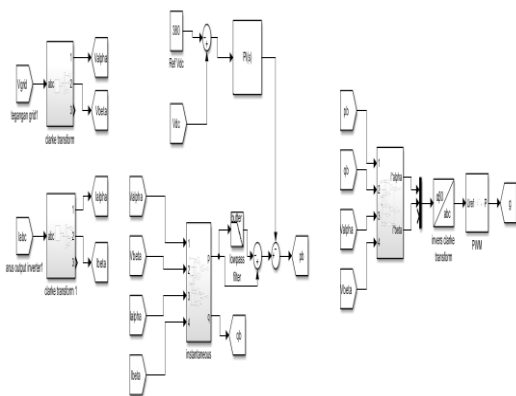
Nilai rating tegangan PCC dapat digunakan untuk menghitung standar THDV menurut IEEE 519-2014. Nilai rating tegangan PCC di sistem kelistrikan Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana adalah 0,4kV; karena rating tegangan 0,4kV di bawah 1 kV, batas maksimum THDV yang diizinkan adalah 8%.

4.2 Perencanaan Filter Aktif

Salah satu filter aktif yang direncanakan adalah filter aktif shunt dengan kontrol PI. Ini terdiri dari rangkaian sumber tegangan inverter dan rangkaian kontrol. Sumber tegangan inverter berbasis PWM dan terhubung dengan kapasitor DC untuk menjaga dan mengatur tegangan DC. Rangkaian sumber tegangan inverter ditunjukkan oleh Gambar 8 dan rangkaian kontrol dengan PI ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 8. Rangkaian Filter Aktif Shunt Pada Simulink Matlab



Gambar 9. Rangkaian Kontrol Arus dengan PI

Pada hasil simulasi distorsi harmonisa didapatkan nilai Qc yaitu sebesar 2,958 kVar. Nilai kapasitor ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V=380 \text{ V} = 0,38 \text{ kV}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

$$X_C = \frac{380^2}{2958} = 48,816 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

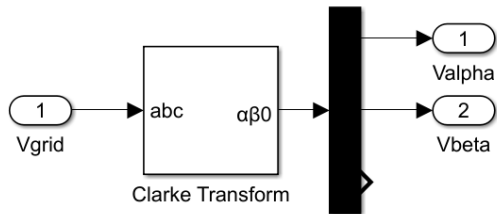
$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 48,816} = 6,5 \times 10^{-5} \text{ Farad}$$

Pada simulasi orde yang akan difilter adalah orde ke 3, jadi nilai n adalah 2,9. Nilai induktor dapat ditentukan menggunakan persamaan.

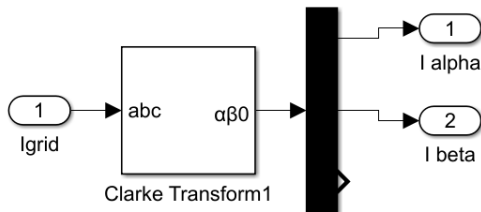
$$L = \frac{1}{(6,5 \times 10^{-5})(2 \times 3,14 \times 50 \times 2,9)^2} = 1 \times 10^{-2} \text{ Henry}$$

Setelah mendapatkan nilai kapasitor dan induktor maka diinputkan pada parameter block RLC. Rangkaian kontrol arus dengan PI terdiri dari *clarke transform*, rangkaian *instantaneous* kemudian dihasilkan arus referensi. Pada sistem kontrol ini untuk membuat arus referensi kompensasi (i_a^*, i_b^*, i_c^*) maka digunakan *clarke transform* dengan *input* berasal dari tegangan grid (v_a, v_b, v_c) dan arus *output inverter* i_a, i_b, i_c *output* yang dihasilkan yaitu koordinat alpha beta (v_α, v_β) dan i_α, i_β). Rangkaian *clarke transformation* ini ditunjukkan oleh Gambar 10 dan Gambar 11. Rangkaian *instantaneous* digunakan untuk menghasilkan daya aktif dan daya reaktif. Daya aktif kemudian dilewatkan pada filter low pass kemudian keluarannya di kontrol oleh PI. *Input* parameter P dan I pada blok PID Simulink menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Serangkaian percobaan didapatkan parameter P dan I yaitu $P = 1 \times 10^{-8}$ dan $I = 3 \times 10^{-6}$. Block parameter PID dengan *input* sesuai hasil percobaan disajikan dalam Gambar 12. Keluaran daya aktif, daya reaktif, tegangan alpha-beta akan generate dan menghasilkan arus referensi alpha-beta dan kemudian dilakukan inverse transform untuk menghasilkan arus referensi

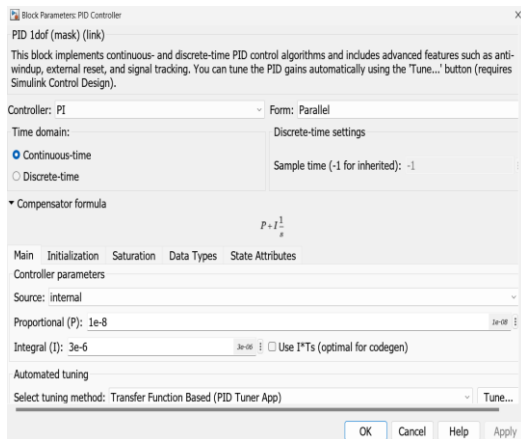
dengan koordinat a-b-c. Arus referensi akan menjadi *input* dari PWM yang menghasilkan pulse untuk rangkaian VSI (*voltage source inverter*).



Gambar 10. Rangkaian *Clarke Transform Input* Tegangan



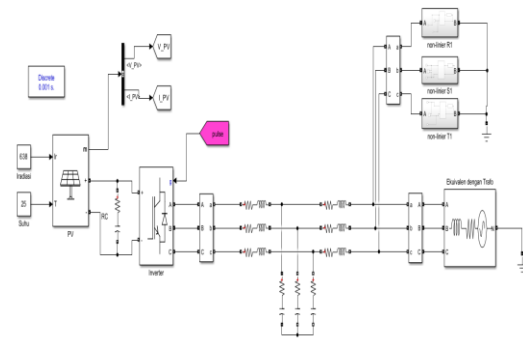
Gambar 11. Rangkaian *Clarke Transform Input* Arus



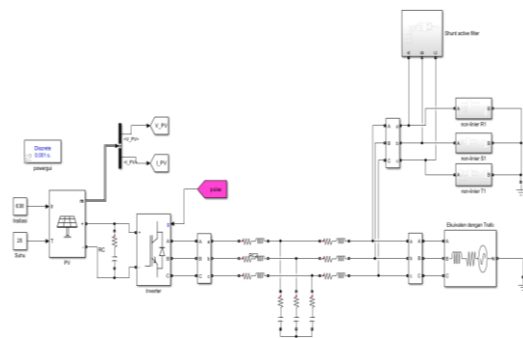
Gambar 12. *Input* Block Parameter PID

4.3 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik

Pemodelan simulasi *matlab simulink* pada sistem tenaga listrik di Gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana menggunakan seperti gambar 13 dan 14.



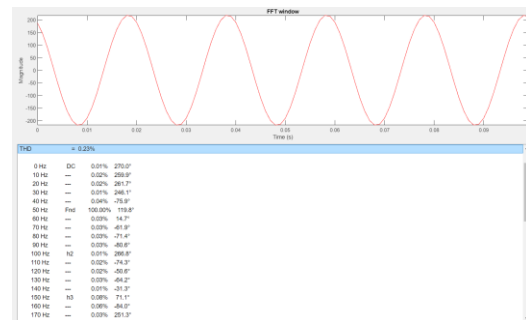
Gambar 13. Pemodelan sistem kelistrikan gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana



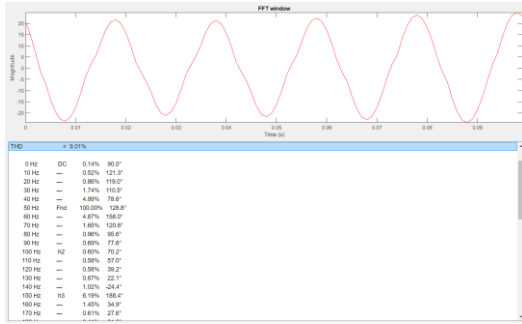
Gambar 14. Pemodelan sistem kelistrikan gedung DH Teknik Elektro Universitas Udayana dengan Filter Aktif *Shunt*

4.4 Hasil Simulasi THD_i dan THD_v sebelum pemasangan filter aktif

Setelah nilai dari hasil perhitungan dan pengukuran dimasukkan ke dalam blok parameter, simulasi dapat dilakukan. Dengan menggunakan alat analisis *Fast Fourier Transform* (FFT), hasil THD diubah menjadi gelombang dan grafik. Berikut hasil simulasi dilihat pada gambar 15 dan 16.



Gambar 15. Gelombang Tegangan, THD_v dan Orde Harmonisa Fasa R

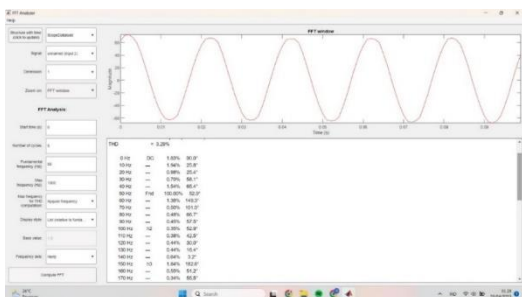


Gambar 16. Gelombang Tegangan, THD_v dan Orde Harmonisa Fasa R

Hasil yang didapatkan, nilai THD_v pada tiap fasa R = 0,23%, S = 0,17%, T = 0,41%, nilai THD_i pada setiap fasa R = 9,01%, S = 10,6%, T = 8,68%. Berdasarkan standar IEEE 519-2014, nilai THD_v sudah memenuhi standar, sedangkan nilai THD_i belum memenuhi standar.

4.5 Hasil Simulasi THD_i setelah pemasangan filter aktif

Setelah nilai dari hasil perhitungan dan pengukuran dimasukkan ke dalam blok parameter, simulasi dapat dilakukan. Dengan menggunakan alat analisis Fast Fourier Transform (FFT), hasil THD diubah menjadi gelombang dan grafik. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Gelombang Tegangan, THD_i dan Orde Harmonisa Fasa R

Hasil simulasi yang didapatkan, nilai THD_i pada setiap fasa R = 3,29%, S = 3,01%, T = 4,53%. Berdasarkan standar IEEE 519-2014, nilai THD_i sudah memenuhi standar.

5. KESIMPULAN

Pada Kondisi eksisting nilai THD_v pada fasa = 0,23%, S = 0,17%, T = 0,41%,

nilai tersebut sudah memenuhi standar IEEE 519-2014. Sedangkan nilai THD_i pada fasa R = 9,01%, S = 10,6%, T = 8,68%, nilai tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014.

Penggunaan filter aktif *shunt* dengan kontrol PI nilai THD_i mengalami penurunan yaitu pada fasa R = 3,29%; S = 3,01%; T=4,53%.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] D. N. Prabowo, M. Haddin, and D. Nugroho, "Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis Matlab/Simulink." Media Elekrika, Volmue 8. 2015

[2] N. S. Gunawan, I. N. S. Kumara and R. Irawati, "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp Pada Sistem Smart Microgrid UNUD," SPEKTRUM, vol. 6, pp. 1-9, 2019.

[3] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S. & Beaty, H. W., 2012. *Electrical Power Systems Quality*. Third Edition ed. s.l.:McGraw Hill Professional.

[4] Gunawan, I. G. A., Rinas, I. W. & Wijaya, I. W. A., 2015. Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). E-Journal SPEKTRUM, 2(3).

[5] Widiyantara, I. P. A. A., Rinas, I. W. & Weking, A. I., 2016. Analisis Pengaruh Pengoperasian Beban-Beban *Non-Linear* Terhadap Distorsi Harmonisa Pada Blue Point Bay Villa & Spa. SPEKTRUM, Volume 3, pp. 54-59.

[6] Rinas, I. W., "Simulasi Penggunaan Filter Pasif, Filter Aktif dan Filter Hybrid Shunt untuk Meredam Meningkatnya Distorsi Harmonisa yang Disebabkan Oleh Munculnya Gangguan Resonansi." Teknologi Elektro, Volume 12. 2013.

[7] I. S. Accociation, "519-2014," *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System*, 2014.

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

- [9] I. W. Rinas, "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*, Volume 10. 2011.
- [10] Odianto, T., Winardi, S., Hadi Saputra, K, (2013), "Perancangan Filter Aktif Tiga Fasa Menggunakan Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) Untuk Mereduksi Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik"
- [11] I. G. M. Widiarsana, I. W. Rinas, I. W. A. Wijaya. "Penggunaan *Proportional Integral Derivative* (PID) Controller Pada Filter Aktif Untuk Meredam Harmonisa Akibat Beban Non Linier Di Bali National Golf Resort." *E-Jurnal SPEKTRUM* Volume 4. 2017