

Analisis Pengaruh Nilai Resistansi untuk Pentanahan Kawat Netral Terhadap THDi Arus di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman

I G.N Nanda Ramdipa Amerta, I Wayan Rinas, I G.N Janardana
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email: ngurahnanda15@gmail.com

Abstrak

Harmonisa merupakan distorsi periodik gelombang sinus, karena pengoperasian beban nonlinier. Harmonisa menyebabkan arus mengalir pada kawat netral meskipun dalam kondisi beban seimbang, selain harmonisa permasalahan ketidakseimbangan beban akan meningkatkan arus yang mengalir pada kawat netral, sehingga berbahaya untuk sistem kelistrikan tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi pemodelan sistem kelistrikan pada aplikasi MATLAB dengan mengubah nilai resistansi pentanahan untuk melihat pengaruh nilai resistansi pentanahan terhadap *Total Harmonic Current Distortion* (THDi) maka perlu dilakukan analisis pengaruh nilai resistansi untuk pentanahan kawat netral terhadap THDi. Penelitian ini menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil simulasi THDi saat kondisi nilai resistansi pentanahan 9 Ω , persentase THDi dari ketiga fasa (R, S, T), pada fasa R sebesar 6,30 %, Fasa S sebesar 2,86%, Fasa T sebesar 2,50%. Saat nilai resistansi pentanahan sebesar 5 Ω , persentase THDi menurun dengan nilai pada fasa R sebesar 6,09%, Fasa S sebesar 2,61%, Fasa T sebesar 2,48%. Saat kondisi nilai resistansi pentanahan sebesar 2 Ω , persentase THDi pada fasa R sebesar 5,85%, Fasa S sebesar 2,09%, Fasa T sebesar 2,22%. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa semakin kecil nilai resistansi pentanahan, maka distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan semakin kecil.

Kata kunci: Harmonisa, THDi, Nilai Resistansi Pentanahan

Abstract

Harmonics is a periodic sine wave distortion, due to the operation of nonlinear loads. Harmonics causes current to flow in the neutral wire even though in a balanced load condition, in addition to harmonic load imbalance problems will increase the current flowing in the neutral wire, making it dangerous for the electrical system. This research was using electrical system modeling simulation in MATLAB application by changing the earth resistance value to see the effect of earth resistance value to Total Harmonic Current Distortion (THDi), it is necessary to analyze the effect of resistance value for THDi neutral wire grounding. This study uses the Fast Fourier Transform (FFT) method. THDi simulation results when the conditions of the resistance value is 9 Ω , THDi percentage in phase R is 6.30%, Phase S is 2.86%, Phase T is 2.50%. When the earth resistance value is 5 Ω , the percentage of THDi decreases with the value in phase R is 6.09%, Fasa S is 2.61%, Fasa T is 2.48%. When the earth resistance value is 2 Ω , the THDi percentage in the R phase is 5.85%, Fasa S is 2.09%, Fasa T is 2.22%. Based on the simulation results it is known that the smaller the earth resistance value, the smaller the harmonic distortion in the electrical system.

Keywords : Harmonic, THDi, Ground Resistance Value

1. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman di-

suplai dari dua buah transformator distribusi 20 kV /380 V salah satunya ber-

kapasitas daya sebesar 100 kVA dan mensuplai kebutuhan beban gedung B, C, D, dan E. Daya dari transformator dialirkan kedalam sebuah MDP (*Main Distribution Panel*) dan empat buah SDP (*Sub Distribution Panel*).

Penggunaan beban nonlinier mengakibatkan munculnya permasalahan harmonisa pada sistem kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman.

Harmonisa merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus arus dan tegangan yang timbul dari pengoperasian beban listrik nonlinier [1]. Berdasarkan data hasil pengukuran *Total Harmonic Distortion* (THD) arus dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014 maka Nilai THD arus pada transformator yang mensuplai beban gedung B, C, D, dan E yaitu pada fasa R = 9,8 % fasa S = 11,0 % fasa T = 7,5 % [2]. Berdasarkan standar IEEE 519-2014 dan perhitungan SC_{Ratio} yang telah dilakukan maka dapat ditetapkan batas THDi pada sebesar 8% [3]. Selain permasalahan harmonisa terdapat permasalahan ketidakseimbangan beban dapat diketahui dari hasil pengukuran yang dilakukan pada kawat netral, mengalir arus sebesar 41,6 A [2]. Permasalahan tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada kawat netral menjadi besar. Sehingga akan dilakukan analisis pengaruh nilai resistansi untuk pentanahan kawat netral terhadap THD arus di Fakultas Teknik Universitas Udayana - Sudirman.

2. KAJIAN PUSTAKA

Beban nonlinier mengakibatkan masalah distorsi harmonisa, meningkatkan nilai arus yang mengalir pada setiap fasanya, dengan meningkatnya arus yang mengalir pada setiap fasanya yang

disebabkan oleh harmonisa maka rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan juga ikut meningkat.

Penggunaan beban yang tidak seimbang pada sistem kelistrikan akan mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada kawat netral, semakin besar ketidakseimbangan sistem maka arus yang mengalir pada kawat netral akan meningkat, setiap orde pada harmonisa berpengaruh meningkatkan arus yang mengalir pada kawat netral namun harmonisa orde 3 merupakan yang paling berpengaruh terhadap meningkatnya arus yang mengalir pada kawat netral. Semakin besar arus yang mengalir pada kawat netral maka losses pada sistem kelistrikan tersebut juga semakin besar [4].

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang menghubungkan pembangkit tenaga listrik hingga konsumen. Terdapat 4 komponen yaitu, pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi, dan konsumen. Penyaluran listrik hingga dapat digunakan konsumen perlu diperhatikan pengamanannya, agar aman digunakan peralatan maupun konsumen, yaitu dengan cara menghubungkannya dengan sistem pentanahan atau pembumian [4 – 7].

B. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan metode pengamanan saluran tenaga listrik, peralatan listrik, dan manusia dari gangguan seperti surja hubung dan surja petir. Berdasarkan PUIL 2011 untuk peralatan listrik dan elektronika, nilai resistansi sistem pentanahan ≤ 5 ohm [8].

Resistansi tanah juga berpengaruh terhadap nilai resistansi dari sistem pentanahan, maka untuk mendapatkan nilai resistansi tanah yang rendah sering dicoba dengan memberi air atau dengan membasahi tanah, serta dengan

mengubah komposisi kimia pada tanah, ada beberapa cara yaitu dengan memberikan garam atau zat aditif pada tanah dekat elektroda.

Penambahan zat aditif pada tanah merupakan salah satu cara yang digunakan untuk dapat menurunkan nilai resistansi tanah. Zat aditif tersebut dapat berupa garam, bentonit, air, serbuk besi dan lain-lain. Namun zat aditif tersebut memiliki keterbatasan umur. Zat aditif tidak dapat berfungsi dengan baik pada waktu yang cukup lama [8 – 9].

C. Karakteristik Beban

Karakteristik beban listrik ada dua jenis yaitu beban linier dan beban nonlinier, dibawah ini akan dijelaskan tentang beban linier dan beban nonlinier.

a. Beban Linier

Beban linier merupakan beban yang impedansinya selalu konstan sehingga arus selalu sebanding dengan tegangan setiap waktunya.

b. Beban Nonlinier

Beban Nonlinier merupakan beban yang gelombang keluarannya tidak sebanding dengan gelombang inputannya setiap waktunya [10].

D. Keadaan Beban Seimbang

Keadaan seimbang merupakan keadaan dimana Ketiga vektor sama besar dan membentuk sudut 120° satu sama lain [11].

E. Arus Netral

Arus netral merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga fasa empat kawat. Munculnya arus netral merupakan representasi dari ketidakseimbangan beban pada suatu sistem kelistrikan. Semakin besar ketidakseimbangan beban, maka jumlah arus netralnya akan semakin meningkat [12].

F. Harmonisa

Harmonisa merupakan distorsi periodik gelombang sinus tegangan atau arus, yang timbul dari pengoperasian beban nonlinier, dimana akan terbentuk gelombang yang berfrekuensi tinggi dari kelipatan frekuensi fundamentalnya [3]. Untuk mengetahui besar kandungan distorsi harmonisa pada sistem, dapat diketahui dari *Total Harmonic Distortion* (THD). THD ada dua jenis yaitu THD tegangan (THD_V) dan THD arus (THD_I) [13].

G. Standar Harmonisa

Standar harmonisa pada sistem tenaga listrik telah diatur dalam standar IEEE 519-2014. Standar ini dibuat dengan tujuan menentukan batasan kandungan harmonisa agar tidak merusak kehandalan sistem dan mengatur tentang kualitas daya listrik khususnya harmonisa [14].

a. Standar THD tegangan

Berdasarkan standar IEEE 519-2014, Standar THD tegangan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar THD tegangan [3]

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

b. Standar THD arus

Berdasarkan standar IEEE 519-2014, Standar THD tegangan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar THD arus [3]

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (odd harmonic) ^{a,b}						
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 ^c	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

Menentukan batas THDi pada suatu sistem kelistrikan dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Short Circuit Ratio* (SC_{ratio}) seperti pada Persamaan 1.

$$SC_{Ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} \dots\dots\dots(1)$$

Nilai arus hubung singkat (I_{SC}) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

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

Keterangan :

- S adalah daya semu transformator (kVA)
- V adalah tegangan sisi sekunder transformator (kV)
- Z(%) adalah persentase impedansi

Sedangkan nilai arus beban penuh (I_L) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$I_L = \frac{P}{PF \times \sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(3)$$

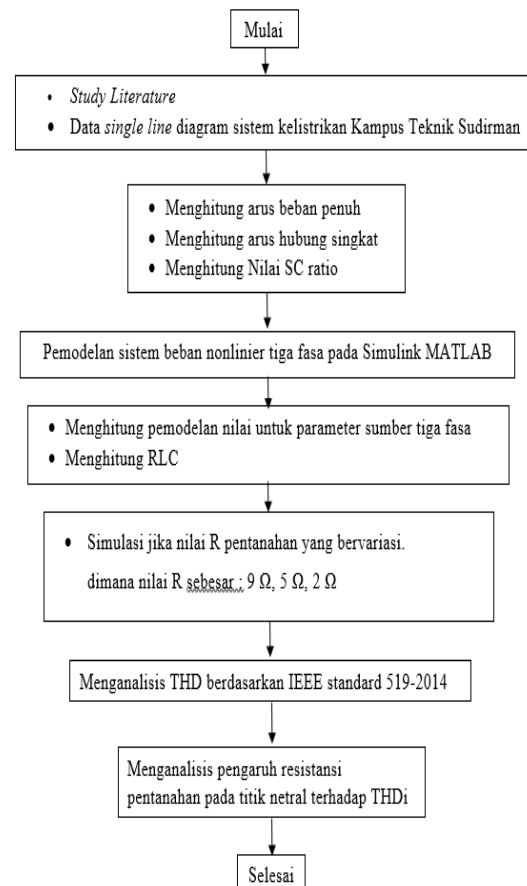
Keterangan :

- P adalah Daya aktif (kW)
- PF adalah Power Factor ($\cos \phi$)
- V adalah tegangan hasil pengukuran

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di gedung Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman. Data yang digunakan merupakan data primer hasil pengukuran di sistem kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana - Sudirman dan data sekunder yaitu data spesifikasi transformator dari Trafindo. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi pemodelan sistem ketenagalistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman dengan mengubah nilai resistansi sistem pentanahannya mulai dari 9 Ω, 5 Ω, dan 2 Ω. Simulasi dilakukan per fasa.

Hasil simulasi dibandingkan dengan batas THDi yang telah ditentukan, serta melihat pengaruh dari penurunan nilai resistansi pentanahan terhadap THDi



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman

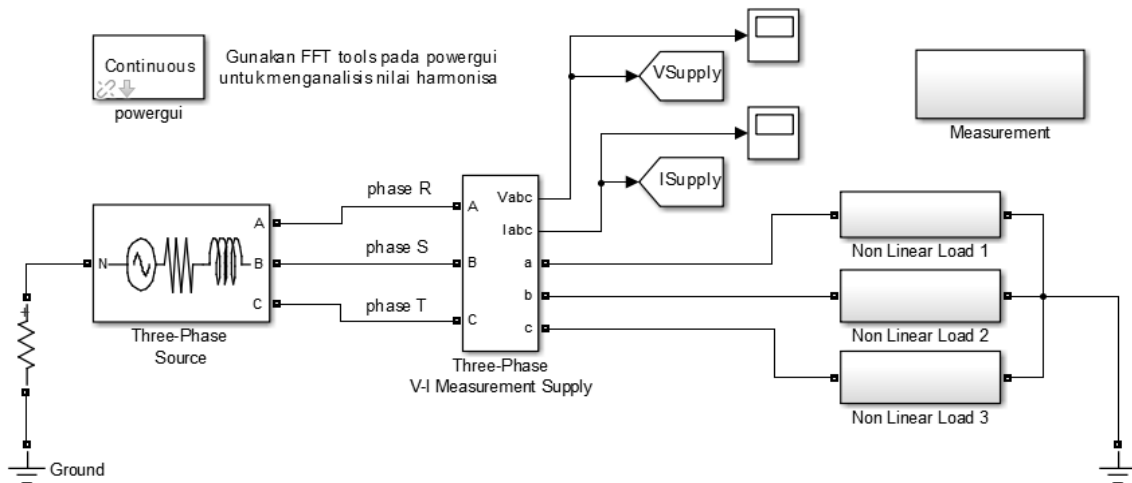
Sistem Kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman merupakan salah satu fakultas yang berada di lingkungan Universitas Udayana - Sudirman yang terletak di Jalan P.B. Sudirman, Denpasar. Sistem kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman disuplai dari dua buah transformator distribusi 20 kV/400 V salah satunya berkapasitas daya sebesar 100 kVA dan mensuplai kebutuhan

beban gedung B, C, D, dan E. Daya dari transformator dialirkan kedalam sebuah MDP (*Main Distribution Panel*) dan empat buah SDP (*Sub Distibution Panel*).

B. Pemodelan Sistem Tenaga Listrik

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Simulink MATLAB* untuk simulasi THD pada pemodelan sistem kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman. Desain pemodelan sistem kelistrikan 3 fasa dengan beban nonlinier dibuat seperti pada Gambar 4.1

Model Simulasi Sistem Beban Non-Linier 3 Fasa Fakultas Teknik Universitas Udayana Sudirman



Gambar 4.1 Model Simulasi Sistem Kelistrikan Fakultas Teknik Universitas Udayana

C. Menghitung Batas Maksimum THDi
 Berdasarkan standar IEEE 519-2014 untuk menghitung batas maksimum dari THDi pada sistem kelistrikan maka perlu dilakukan perhitungan SC_{Ratio} terlebih dahulu. Perhitungan SC_{Ratio} merupakan perbandingan antara arus *short circuit* pada Persamaan 2 dengan arus beban penuh pada Persamaan 3, perhitungan

SC_{Ratio} dilakukan per fasa dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

Hasil perhitungan SC_{Ratio} dapat dilihat pada Tabel 4.1.

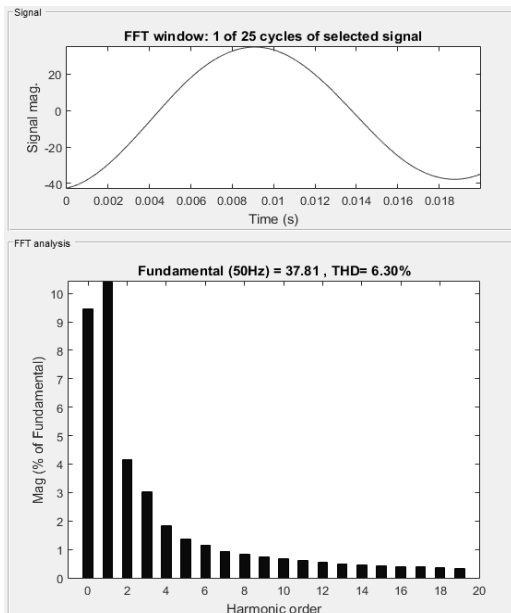
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan SC_{Ratio}

NO	Fasa	SC ratio	Batas THD arus
1	R	49,152	8 %
2	S	48,105	8 %
3	T	33,235	8 %

Tabel 4.1 menunjukkan Hasil perhitungan dari SC_{Ratio} pada fasa R sebesar 49,152, fasa S sebesar 48, 105, dan fasa T sebesar 33,235. Nilai SC_{Ratio} ketiga fasa diatas 20 dan dibawah 50, maka berdasarkan standar IEEE 519-2014 batas standar THDi pada sistem tersebut adalah 8%.

D. Hasil Simulasi THDi Pada Kondisi Nilai Resistansi Pentanahan Berbeda - beda

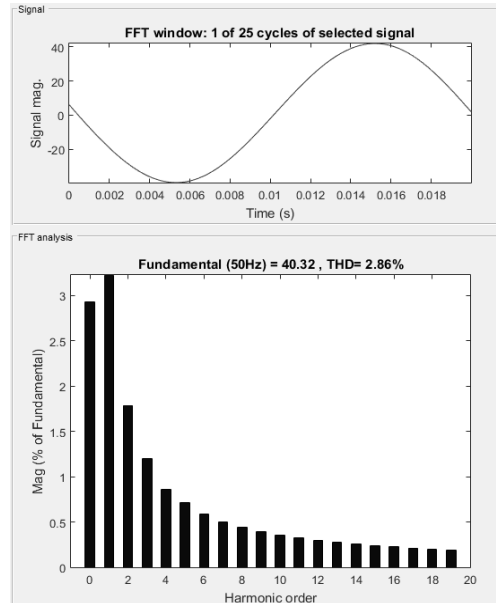
Simulasi THDi yang dilakukan menggunakan tiga kondisi nilai sistem pentanahan yaitu 9 Ω, 5 Ω, dan 2 Ω. Hasil simulasi THDi dengan nilai resistansi sistem pentanahan 9 Ω dapat dilihat pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Fasa R dengan Nilai Resistansi Pentanahan 9 Ω

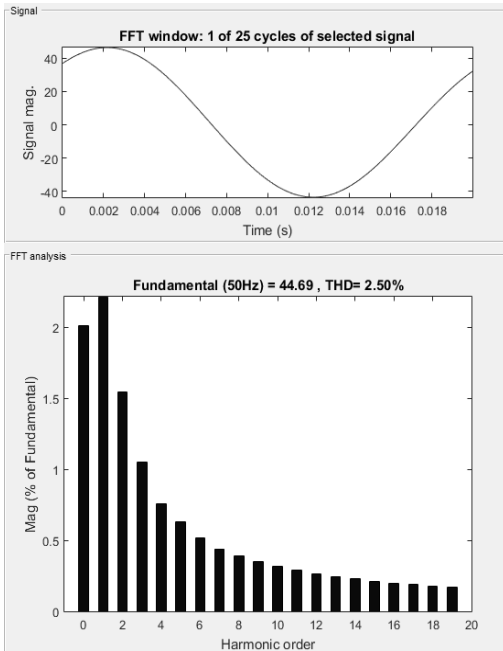
Gambar 4.4 merupakan gambar hasil simulasi dari THDi dengan nilai resistansi sistem pentanahan sebesar 9 Ω pada fasa R, maka dapat diketa-

hui bahwa kandungan THDi sebesar 6,30 %.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Fasa S dengan Nilai Resistansi Pentanahan 9 Ω

Gambar 4.5 merupakan gambar yang menunjukkan hasil simulasi dari THDi dengan nilai resistansi sistem pentanahan sebesar 9 Ω pada fasa S, maka dapat diketahui bahwa kandungan THDi sebesar 2,86 %.



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Fasa T dengan Nilai Resistansi Pentanahan 9 Ω

Gambar 4.6 merupakan gambar yang menunjukkan hasil simulasi dari THDi dengan nilai resistansi sistem pentanahan sebesar 9 Ω pada fasa T, maka dapat diketahui bahwa kandungan THDi sebesar 2,50 % pada sistem kelistrikan tersebut.

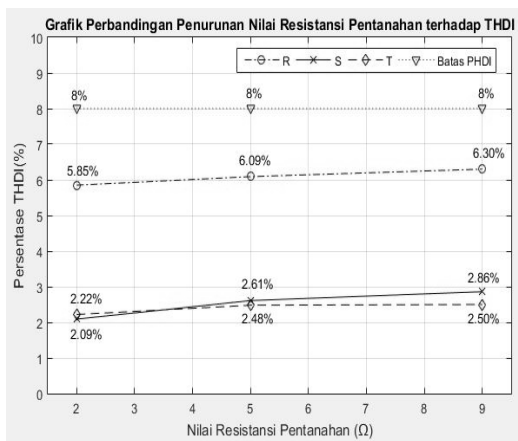
Berdasarkan Hasil simulasi THDi yang telah dilakukan dengan nilai sistem pentanahan yang berbeda - beda yaitu 9 Ω, 5 Ω dan 2 Ω serta simulasi dilakukan untuk ketiga fasanya maka dapat dibuat tabel hasil simulasi THDi yang dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Simulasi THDi dengan Resistansi pentanahan yang berbeda - beda dengan Standar IEEE 519-2014

Nilai Resistansi Pentanahan	Fasa	THDi Hasil Simulasi (%)	Standar IEEE 519-2014 (%)
9 Ω	R	6,30	8,0
	S	2,86	8,0
	T	2,50	8,0
5 Ω	R	6,09	8,0

Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi THDi pada ketiga fasanya pada sistem kelistrikan di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman dengan kondisi nilai resistansi pentanahan yang berbeda - beda yaitu 9 Ω, 5 Ω, dan, 2 Ω dapat diketahui bahwa pada saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan sebesar 9 Ω, persentase THD arus pada fasa R sebesar 6,30 %, Fasa S sebesar 2,86 %, Fasa T sebesar 2,50 %. Saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan diturunkan menjadi 5 Ω, persentase THD arus pada fasa R sebesar 6,09 %, Fasa S sebesar 2,61 %, Fasa T sebesar 2,48 %. Saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan diturunkan menjadi 2 Ω, persentase THD arus pada fasa R sebesar 5,85 %, Fasa S sebesar 2,09 %, Fasa T sebesar 2,22 % dengan batas THDi yang telah ditetapkan sebesar 8 %.

Berdasarkan Tabel 4.4 maka dapat dibuat grafik perbandingan antara penurunan nilai resistansi terhadap THDi. Grafik dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik perbandingan antara Batas THDi dengan Hasil Simulasi

Grafik 4.7 menggambarkan perbandingan antara Batas THDi sesuai standar IEEE 519-2014 yaitu 8%. Garis warna jingga menunjukkan batas THDi, garis warna kuning menunjukkan persentase THDi pada kondisi nilai resistansi pentanahan 9 Ω , garis warna biru menunjukkan persentase THDi pada kondisi nilai resistansi pentanahan 5 Ω , garis warna abu-abu menunjukkan persentase THDi pada kondisi nilai resistansi pentanahan 2 Ω .

Pada kondisi nilai resistansi sistem pentanahan dari 9 Ω turun menjadi 5 Ω , dan turun lagi menjadi 2 Ω , persentase THDi mengalami penurunan di setiap fasanya, sehingga dapat diketahui bahwa penurunan nilai resistansi sistem pentanahan mempengaruhi penurunan distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pada saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan sebesar 9 Ω , persentase THD arus pada fasa R sebesar 6,30 %, Fasa S sebesar 2,86 %, Fasa T sebesar 2,50 %. Saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan diturunkan menjadi 5 Ω ,

persentase THD arus pada fasa R sebesar 6,09 %, Fasa S sebesar 2,61 %, Fasa T sebesar 2,48 %. Saat kondisi nilai resistansi sistem pentanahan diturunkan menjadi 2 Ω , persentase THD arus pada fasa R sebesar 5,85 %, Fasa S sebesar 2,09 %, Fasa T sebesar 2,22 %. Sehingga nilai resistansi pentanahan berpengaruh terhadap persentase THD arus di suatu sistem ketenagalistrikan, semakin kecil nilai resistansi pentanahannya maka semakin kecil persentase distorsi harmonisa arus yang terdapat pada sistem kelistrikan tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F, Santoso, S., Beaty, H.W, Electrical Power System Quality-Second Edition. The McGraw-Hill. 2004.
- [2] Janardana, IGN, *Analysis Grounding System As Building Equipment Security Udayana University Denpasar*. 2017; 1(2).
- [3] IEEE Standards Association. 519-2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. New York; IEEE Press; 2014.
- [4] Dwipayana. I G.N, I.W. Rinas, I. M. Suartika, Analisis THD dan Peningkatan Arus pada Kawat Netral Akibat Pengoperasian Beban Nonlinier Yang Tidak Seimbang Pada Sistem Tenaga Listrik di RSUD Kabupaten Klungkung. 2016.
- [5] Ariana. I.G, I.W. Rinas, I.G.D Arjana, Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. 2017; 16(1).

- [6] Fahrurozi, dkk. Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau. 2014; 1(2).
- [7] Neagu, dkk, *The Impact of Harmonic Current Flow on Additional Power Losses in Low Voltage Distribution Network*. 2016.
- [8] Persyaratan Umum Instalasi Listrik. Badan Standardisasi Nasional; 2011.
- [9] Janardana, IGN, Perbedaan Penambahan Garam dengan Penambahan Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan pada Sistem Pentanahan. 2005; 4(1).
- [10] Janardana, IGN, Pengaruh Umur pada Beberapa Volume Zat Aditif Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan. 2005; 4(2).
- [11] Amalia. R, Nazir. R. 2015. Pemodelan dan Simulasi Beban Nonlinier 3 Fasa dengan Metoda Sumber Arus Harmonik; Teknik Elektro Universitas Andalas. Vol: 4, No. 2.
- [12] Bachtiar. A., Dirgantara. B, Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan Metode Seimbang Beban Seharian (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon. 2017; 6(1).
- [13] Sudirham, S, Analisa Rangkaian Listrik. 2002.
- [14] Rosa. Francisco C. De La, *Harmonics and Power Systems. Distribution Control Systems, Inc; USA*. 2006