

Analisis THD dan Peningkatan Arus pada Kawat Netral Akibat Pengoperasian Beban Non Linier yang Tak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik di RSUD Kabupaten Klungkung

I Gusti Ngurah Dwipayana¹, I Wayan Rinas², I Made Suartika³

Abstract—Harmonics lead to distortion by waves, currents and voltages. The imbalance of the load on the electrical system will affect the percentage of harmonics in the system and will also affect the value of neutral current (IN). The simulation results that have been carried out under a linear load balanced with neutral current value is 0. In the condition is not balanced by a linear load value of neutral current is 45.76 A. In the balanced condition with non-linear load 61.62 A neutral current value with the percentage THDv in phase R 1.49%; S 1.47%; T 1.48% and THDi in phase R 16.38%; S 16.31%; T 16.19%. In the condition is not balanced by an increase in non-linear load value neutral current 65.5 A with a percentage THDv on phase R 1.61%; S 1.49%; T 1.46% and THDi in phase R 18.47%; S 16.57%; T 15.84%.

Intisari— Harmonisa mengakibatkan terjadinya distorsi pada gelombang arus dan tegangan. Ketidakseimbangan beban pada sistem kelistrikan akan mempengaruhi prosentase harmonisa pada sistem tersebut dan juga akan berpengaruh terhadap nilai arus netral (I_N). Hasil simulasi yang telah dilakukan pada kondisi seimbang dengan beban linier nilai arus netral adalah 0. Pada kondisi tak seimbang dengan beban linier nilai arus netral adalah 45,76 A. Pada kondisi seimbang dengan beban non linier nilai arus netral 61,62 A dengan prosentase THDv pada fasa R 1,49% ; S 1,47% ; T 1,48% dan THDi pada fasa R 16,38% ; S 16,31% ; T 16,19%. Pada kondisi tak seimbang dengan beban non linier terjadi peningkatan yaitu nilai arus netral 65,5 A dengan prosentase THDv pada fasa R 1,61% ; S 1,49% ; T 1,46% dan THDi pada fasa R 18,47% ; S 16,57% ; T 15,84%.

Kata Kunci— Harmonisa, Ketidakseimbangan beban, Arus netral.

I. PENDAHULUAN

Keadaan tak seimbang merupakan keadaan dimana salah satu syarat dari keadaan seimbang tidak terpenuhi yaitu : ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° , ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° atau ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° . Ketidakseimbangan beban pada tiap fasa mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada kawat netral. Beban non linier mengakibatkan terjadinya distorsi pada gelombang arus dan tegangan yang disebut harmonisa.

¹Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln.Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; e-mail: igstngrdwipayana@yahoo.co.id)

^{2,3}Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln.Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-703315; e-mail: rinas@unud.ac.id, suartika@ee.unud.ac.id)

Harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan berkurangnya kinerja dari suatu peralatan, mengurangi umur peralatan tersebut, *overheating* pada transformator, dan mengganggu kinerja dari penghantar netral karena adanya arus yang mengalir.

Sistem kelistrikan RSUD Kabupaten Klungkung mengoperasikan 2 buah transformator distribusi 20kV/400V dengan kapasitas masing-masing sebesar 197 kVA. Kedua transformator tersebut masing-masing memiliki 1 buah MDP (*Main Distribution Panel*) yang kemudian dibagi dalam 18 buah SDP (*Sub-Distribution Panel*). Penelitian ini hanya membahas pada transformator 1, penelitian ini melakukan pengukuran THD tegangan (THDv dan THD arus (THDi) saat beban puncak pada tiap-tiap MDP yang terpasang. Hasil pengukuran yang diperoleh akan dibandingkan dengan standar IEEE 519 tahun 2014 yang dijadikan sebagai acuan analisis. Setelah dilakukan pengukuran awal diketahui bahwa THDv pada transformator 1 yaitu pada fasa R = 1,52 % fasa S = 1,52 % fasa T = 1,49 %. Sedangkan THDi pada transformator 1 yaitu pada fasa R = 17,19 % fasa S = 15,28 % fasa T = 17,71 %. Berdasarkan standar IEEE 519 tahun 2014, batasan THDv yang diperbolehkan pada sistem dengan tegangan nominal dibawah 1kV yaitu THDv 8% sehingga diketahui bahwa THDv pada transformator 1 yang terukur masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Sedangkan THDi sesuai standar IEEE 519-2014, dengan SC_{ratio} 25,07 standar THDi yang digunakan yaitu THDi 8 % sehingga diketahui bahwa THDi pada transformator 1 yang terukur tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Asimetri

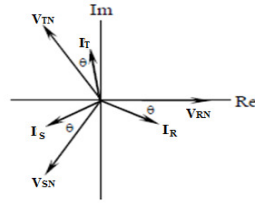
Faktor-faktor dibawah ini dapat memunculkan arus dan tegangan asimetri [3]:

1. Beban industri 1 fasa.
2. Beban 1 fasa di area pertokoan dan pedesaan.
3. Perbedaan dalam resistansi fasa dan reaktansi beberapa beban.
4. Perbedaan impedansi sendiri dan bersama pada jalur suplai.
5. Busur api dan beban tidak simetris lainnya.

Saat terjadi asimetri tegangan maupun arus akan berdampak penurunan umur isolasi sebagai efek losses tambahan dan kenaikan temperature, bertambahnya kebutuhan reaktif power, berkurangnya kapasitas reaktif power, berkurangnya *power factor*.

B. Arus Netral

Arus netral pada sistem distribusi merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga fasa empat kawat. Munculnya arus netral dapat disebabkan karena ketidakseimbangan beban dan juga karena adanya arus harmonisa sebagai akibat banyaknya penggunaan beban nonlinier.



Gambar 1. Fasor Tegangan dan Arus Untuk Beban Terhubung Bintang.

Dari gambar fasor di atas dapat dilihat bahwa jumlah arus- arus fasa adalah:

$$I_R + I_S + I_T = 0 \tag{1}$$

Untuk titik netral maka persamaanya :

$$I_N + I_R + I_S + I_T = 0 \tag{2}$$

Maka,

$$I_N = -(I_R + I_S + I_T) = 0 \tag{3}$$

Jadi untuk beban seimbang arus netral sama dengan nol. Sistem 3 fasa 4 kawat yang terhubung bintang, karena adanya ketidakseimbangan beban maka, akan ada arus yang mengalir pada penghantar netralnya.

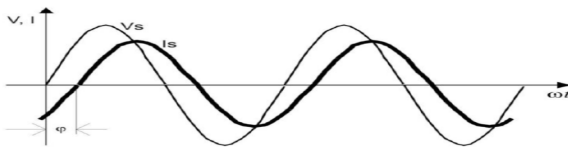
Pada keadaan tak seimbang terdapat komponen urutan nol pada penghantar netralnya. Persamaan arus netralnya dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_N = I_R + I_S + I_T = 3I_0 \tag{4}$$

Arus netral yang tinggi dapat mempengaruhi sistem, berikut ini merupakan pengaruh yang dapat disebabkan oleh arus netral yaitu timbulnya panas berlebih pada transformator, menurunnya kualitas daya.

C. Beban Linier dan Non Linier

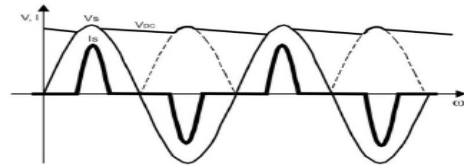
Beban yang gelombang keluarannya sebanding dengan tegangannya dalam tiap setengah siklus yang mengakibatkan gelombang keluarannya sama dengan gelombang masukannya baik gelombang arus maupun tegangan disebut dengan beban linier [2]. Bentuk gelombang tegangan dan arus ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Beban Linier

Beban non linier merupakan beban yang gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, maka bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya [2]. Walaupun disuplai dari tegangan yang sinusoidal beban non linier tetap akan menarik arus yang tidak

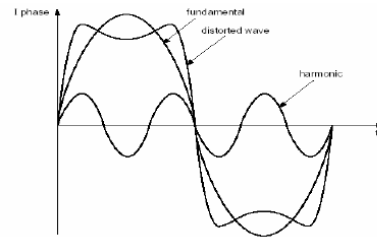
sinusoidal. Bentuk gelombang tegangan dan arus ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Beban Non Linier

D. Harmonisa

Pada dasarnya, harmonisa merupakan gejala pembentukan gelombang yang berbeda dengan gelombang fundamentalnya. Harmonik menurut *International Electrotechnical Commission (IEC) 6100-2-1- 1990* didefinisikan sebagai tegangan ataupun arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan frekuensi sistem pasokan tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk dioperasikan (50 Hz ataupun 60 Hz). Mirip dengan IEC, *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) Std 1159-1995* mendefinisikan harmonik sebagai tegangan ataupun arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan bulat dari frekuensi dimana system tenaga listrik pasokannya dirancang untuk dioperasikan (atau disebut juga dengan terminology : frekuensi fundamental, yaitu pada umumnya 50 Hz atau 60 Hz [3].



Gambar 4 Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa dan Gelombang Terdistorsi

E. Total Harmonic Distortion (THD)

THD merupakan rasio antara nilai rms dari komopnen-komponen harmonisa dan nilai rms fundamentalnya. THD berlaku untuk tegangan dan arus [2].

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} = 2I_n^2 \tag{5}$$

Dengan persamaan yang sama THD untuk tegangan dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} 2V_n^2}}{V_1} \tag{6}$$



Keterangan :

$THD_i, THD_v = total\ harmonic\ distortion$ arus atau tegangan.

V_h = nilai rms tegangan harmonik ke-h.

I_h = nilai rms arus harmonik ke-h.

V_1 = nilai rms tegangan pada frekuensi dasar.

I_1 = nilai rms arus pada frekuensi dasar.

Hasil perhitungan THD_v dan THD_i sebaiknya tidak melebihi standar yang berlaku karena akan membahayakan komponen-komponen system.

F. Standar Harmonisa Berdasarkan IEEE 519-2014 [4].

TABEL I
STANDAR THD_v IEEE 519 – 2014

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

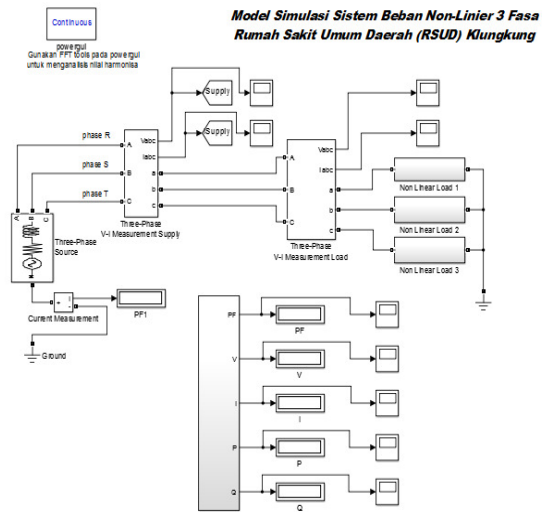
TABEL II
STANDAR THD_i IEEE 519 – 2014

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (odd harmonic)						
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 (%)
$< 20^\circ$	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

G. Pemodelan dan Sistem

Komponen-komponen yang digunakan dalam gambar pemodelan sistem di atas yaitu sebagai berikut:

- *Three-Phase source* adalah Sumber tiga fasa.
- *Three-Phase V-I Measurement supply* adalah Alat ukur parameter sumber tiga fasa.
- *Three-Phase V-I Measurement Load* adalah Alat ukur parameter beban tiga fasa.
- *Nonlinier Load 1,2, & 3* adalah subsystem beban nonlinier yang terpasang.

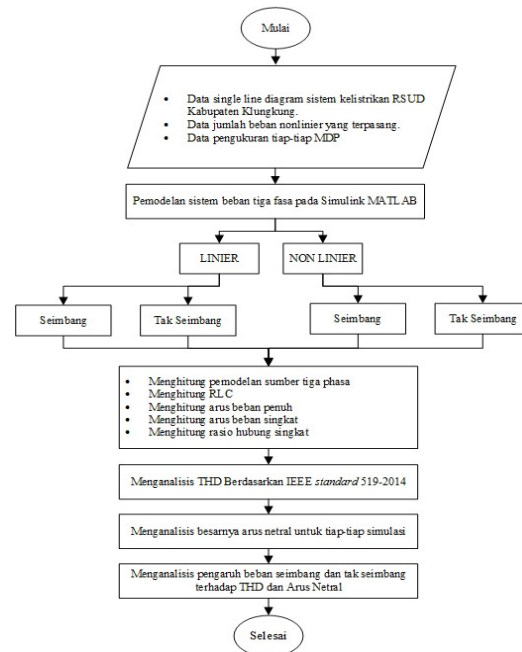


Gambar 5 Model Sistem Beban

- *Display* adalah Media untuk menampilkan parameter-parameter simulasi berupa angka.
- *Display PF1* adalah Media untuk menampilkan simulasi Arus Netral berupa angka.
- *Scope* adalah Media untuk menampilkan parameter-parameter simulasi gelombang.
- *Powergui* adalah simulasi spektrum V_{THD} dan I_{THD} dengan menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT) tools*.

III. METODE PENELITIAN

A. Alur Analisis



Gambar 6 Diagram Alir (Flowchart)

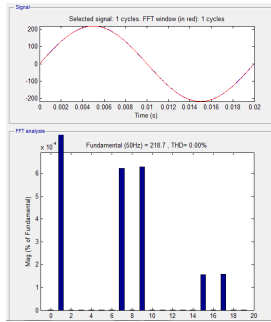
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Simulasi Total Harmonic Distortion

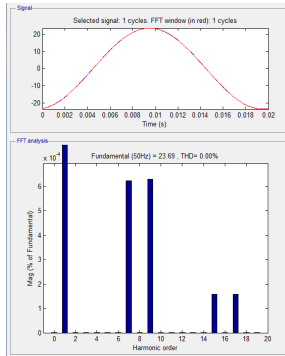
Dengan menggunakan metode FFT, diperoleh hasil simulasi THDv dan THDi seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 sebagai berikut :

1. Beban Linier

- Beban Linier Untuk Kondisi Seimbang

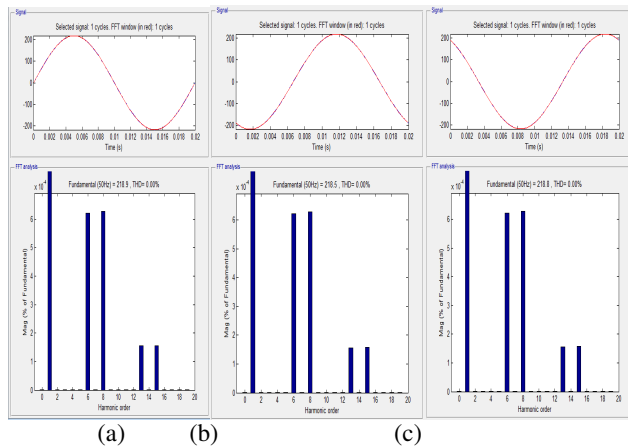


Gambar 7 Gelombang dan Spektrum THDv fasa R, S, T

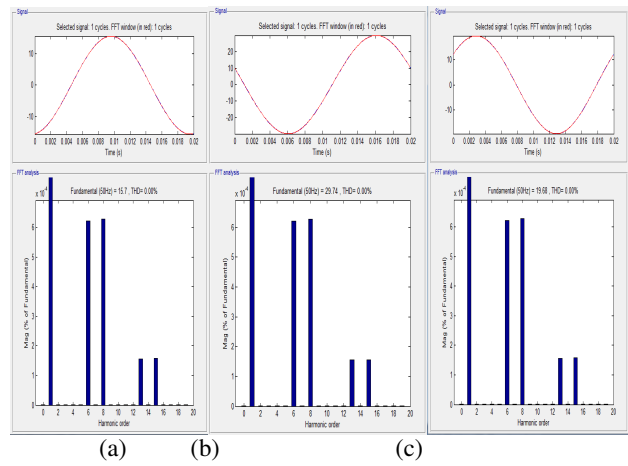


Gambar 8 Gelombang dan Spektrum THDi fasa R, S, T

- Beban Linier Untuk kondisi Tak Seimbang

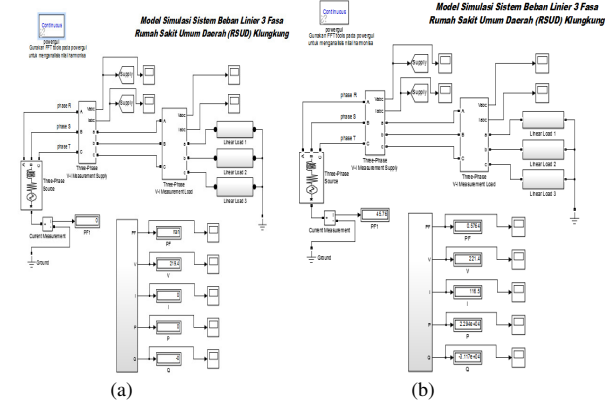


Gambar 9 Gelombang dan Spektrum THDv (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T



Gambar 10 Gelombang dan Spektrum THDi (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T.

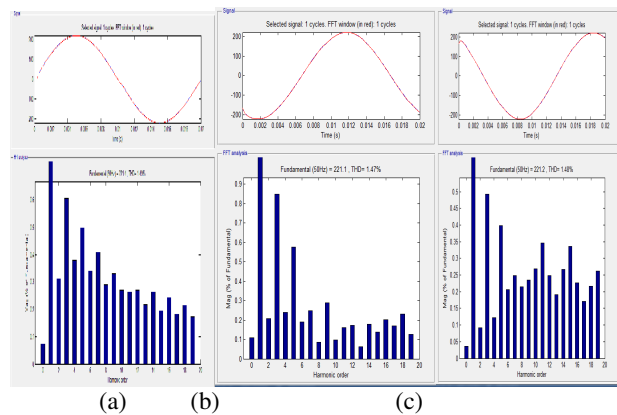
2. Arus Netral Untuk Beban Linier



Gambar 11 (a) Arus netral yang muncul pada kondisi seimbang. (b) Arus netral yang muncul pada kondisi tak seimbang.

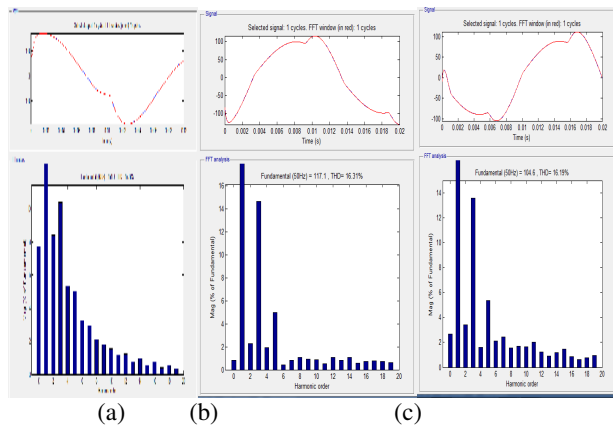
3. Beban Non Linier

- Beban Non Linier Untuk Kondisi Seimbang



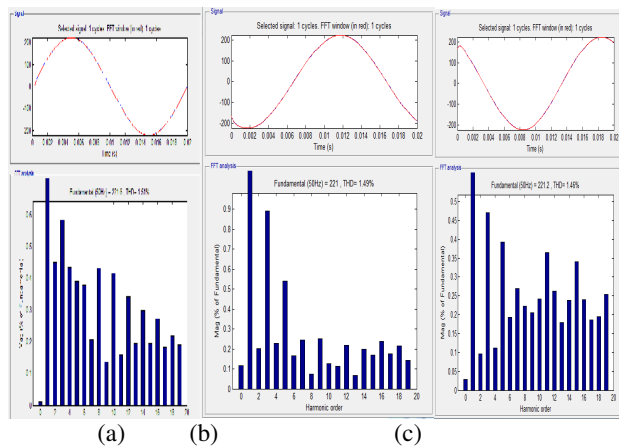
Gambar 12 Gelombang dan Spektrum THDv (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T



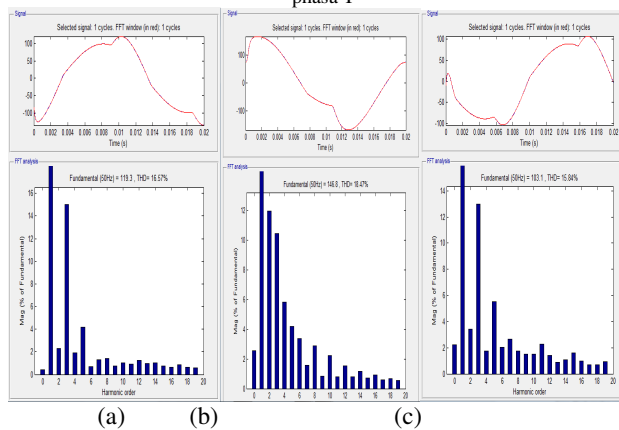


Gambar 13 Gelombang dan Spektrum THDi (a) fase R, (b) fase S, (c) fase T.

• *Beban Non Linier Untuk Kondisi Tak Seimbang*

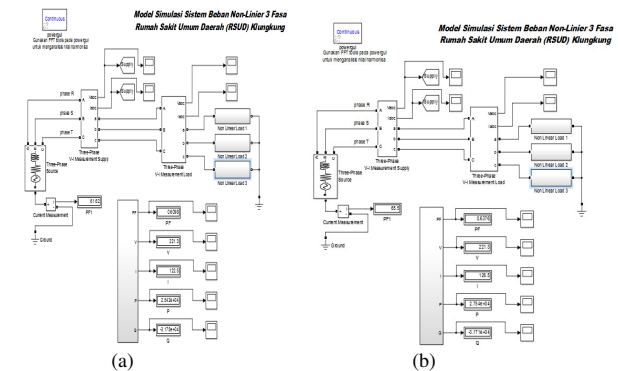


Gambar 14 Gelombang dan Spektrum THDv (a) fase R, (b) fase S, (c) fase T



Gambar 15 Gelombang dan Spektrum THDi (a) fase R, (b) fase S, (c) fase T.

4. Arus Netral Untuk Beban Non Linier



Gambar 16 (a) Arus netral yang muncul pada kondisi seimbang. (b) Arus netral yang muncul pada kondisi tak seimbang.

TABEL III
HASIL SIMULASI THDv, THDi, DAN ARUS NETRAL

Jenis beban	THD Tegangan %			THD Arus %			Arus Netral (A)
	R	S	T	R	S	T	
Linier							
Simulasi Seimbang %	0	0	0	0	0	0	0
Simulasi Tak Seimbang %	0	0	0	0	0	0	45,76
Non Linier							
Simulasi Seimbang %	1,49	1,47	1,48	16,38	16,31	16,19	61,62
Simulasi Tak Seimbang %	1,61	1,49	1,46	18,47	16,57	15,84	65,5

Dari tabel di atas dapat dilihat hasil simulasi beban non linier THDv pada fase R 1,49% ; S 1,47% ; T 1,48% dan THDi pada fase R 16,38% ; S 16,31% ; T 16,19%, sedangkan untuk beban non linier tak seimbang adalah THDv fase R 1,61% ; S 1,49% ; T 1,46% dan THDi fase R 18,47% ; S 16,57% ; T 15,84%. Pada simulasi beban linier baik seimbang atau tak seimbang tidak terdapat kandungan THDi dan THDv karena beban yang menghasilkan harmonisa adalah beban non linier.

Arus netral terbesar terjadi pada simulasi kondisi tak seimbang dengan beban non linier yaitu sebesar 65,5 A kemudian pada beban non linier seimbang arus netral yang mengalir adalah sebesar 61,62 A. Pada beban linier tak seimbang arus netral adalah 45,76 A dan pada beban linier seimbang besar arus netralnya adalah 0.

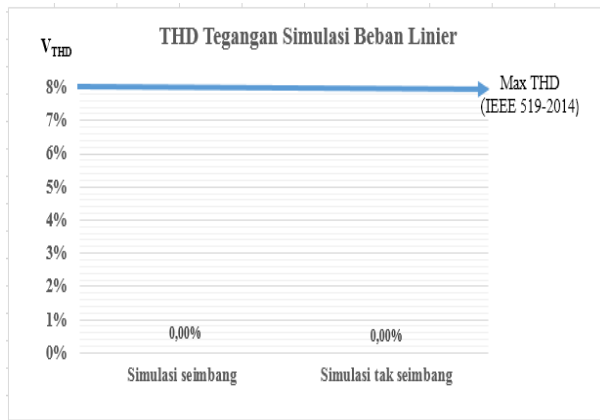
B. Analisis THD Berdasarkan IEEE 519 - 2014

Berdasarkan IEEE 519-2014 diketahui bahwa standar THD_v tegangan nominal di bawah 1 kV yaitu sebesar 8 %. Hasil analisis perbandingan THD_v dapat dilihat pada tabel 4 :

TABEL IV
ANALISIS THDV BERDASARKAN IEEE 519 - 2014

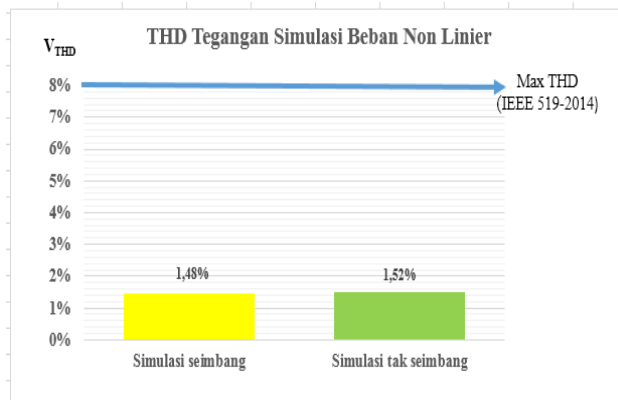
Vol tag e	THD Tegangan %												Stand ar IEEE 519-2014 THD Tegan gan %	Ketera ngan
	Linier						Non Linier							
	Simulasi Seimbang %			Simulasi Tak Seimbang %			Simulasi Seimbang %			Simulasi Tak Seimbang %				
V < 1 kV	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	8	Sesuai Standar
	0	0	0	0	0	0	1,49	1,47	1,48	1,61	1,49	1,46		

Grafik perbandingan THD_v simulasi Beban Linier



Gambar 17 Grafik Perbandingan THD_v simulasi Beban Linier dengan IEEE 519-2014.

Grafik perbandingan THD_v simulasi Beban Non Linier



Gambar 18 Grafik Perbandingan THD_v simulasi Beban Non Linier dengan IEEE 519-2014

Berdasarkan gambar grafik di atas diketahui bahwa THD_v beban Linier dan Non Linier hasil simulasi seimbang dan tak seimbang pada transformator 1 di RSUD Kabupaten Klungkung sesuai dengan standar IEEE 519-2014

Untuk menganalisis THD_i perlu dihitung nilai SC_{ratio} terlebih dahulu. Diketahui bahwa arus hubung singkat yaitu 7,597 A dan Arus beban penuh yaitu 0,303 A sehingga SC_{ratio} pada transformator dapat dihitung sebagai berikut :

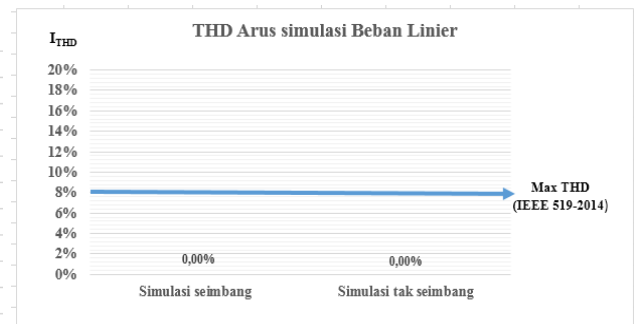
$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_f} = \frac{7.597 A}{0.303 A} = 25.07$$

Berdasarkan standar IEEE 519-2014, dengan SC_{ratio} sebesar 25,07 sehingga standar THD_i yang digunakan sebesar 8%. Hasil analisis perbandingan THD_i berdasarkan standar IEEE 519-2014 dapat dilihat pada tabel 5 :

TABEL V
ANALISIS THDi BERDASARKAN IEEE 519 - 2014

SC _{ratio}	THD Arus %												Stand ar IEEE 519-2014 THD Arus %	Ketera ngan
	Linier						Non Linier							
	Simulasi Seimbangan g %			Simulasi Tak Seimbangan g %			Simulasi Seimbangan g %			Simulasi Tak Seimbangan g %				
25.07	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	8	Tidak Sesuai Standar
	0	0	0	0	0	0	16,38	16,31	16,19	18,47	16,57	15,84		

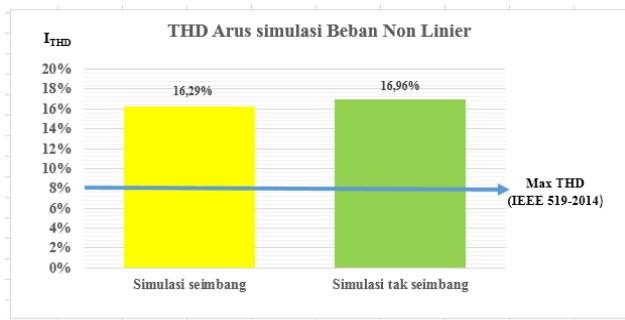
Grafik perbandingan THD_i simulasi Beban Linier



Gambar 19 Grafik Perbandingan THD_i Beban Linier dengan IEEE 519-2014

Grafik perbandingan THD_i simulasi Beban Non Linier





Gambar 20 Grafik Perbandingan THDi Beban Non Linier dengan IEEE 519-2014.

Berdasarkan gambar grafik di atas diketahui bahwa THDi beban Linier dan Non Linier hasil simulasi seimbang dan tidak seimbang pada Transformator 1 di RSUD Kabupaten Klungkung tidak sesuai dengan standar IEEE 519-2014.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan maka simpulan dapat diambil adalah: Ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap prosentase THD dan Arus netral. Pada kondisi seimbang dengan beban linier nilai arus netral adalah 0. Pada kondisi tak seimbang dengan beban linier nilai arus netral adalah 45,76 A. Pada kondisi seimbang dengan beban non linier nilai arus netral 61,62 A dengan prosentase THDv pada fasa R 1,49% ; S 1,47% ; T 1,48% dan THDi pada fasa R 16,38% ; S 16,31% ; T 16,19%. Pada kondisi tak seimbang dengan beban non linier terjadi peningkatan yaitu nilai arus netral 65,5 A dengan prosentase THDv pada fasa R 1,61% ; S 1,49% ; T 1,46% dan THDi pada fasa R 18,47% ; S 16,57% ; T 15,84%.

REFERENSI

- [1] Badarudin. 2012. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon. Jakarta; Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
- [2] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W. 2004. *Electrical Power System Quality-Second Edition. The McGraw-Hill.*
- [3] Gonen, T. 2008. *Electric Power Distribution System Engineering, Second Edition.* United States of America : CRC Press.
- [4] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Standard 519-2014.
- [5] Nugraha, I.P. Wira. 2013. Simulasi pengaruh beban tak seimbang terhadap *Total Harmonic Distortion* (THD), Arus Netral dan *Losses* pada sistem tenaga listrik.
- [6] Suryajaya, A. 2011. Pengaruh *Total Harmonic Distortion* (THD) Pada Suatu Sistem. Semarang ; Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknologi Industri Universitas Katolik Soegijapranata.
- [7] Sudarto, A. 2006. Analisis Pengaruh Kawat Netral Terhadap Hilang Daya Di Saluran 3 Fase 4 Kawat Menggunakan Matlab 6.1. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- [8] Suweden, I.N., Rinas, I.W., 2012. Analisa Penanggulangan THD dengan Filter Pasif pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah. Maj . Ilm. Teknol. Elektro J. Electr. Technol. 8.
- [9] Wicaksana, T. 2011. Analisa Arus Netral Pada Jaringan Tiga Fasa Empat Kawat beban Tak Linier. Semarang : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Soegijapranata.
- [10] Yoakim Simamora, Panusur S.M.L, Panusur S.M.L. Tobing 2010. Analisis Ketidakseimbangan beban transformator distribusi untuk

identifikasi beban lebih dan estimasi rugi-rugi pada jaringan tegangan rendah.