

ANALISIS DISTORSI HARMONISA PADA PENYULANG ABANG KARANGASEM SETELAH TERPASANGNYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)

I Gede Aries Gunawan, I Wayan Rinas, I Wayan Arta Wijaya
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali.
Email : igedeariesgunawan90@gmail.com

Abstrak

Beban non linier adalah beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya. Meningkatnya pengoperasian beban-beban non linier mengakibatkan terjadinya distorsi harmonisa Sehingga perlu diketahui perbandingan distorsi harmonisa dan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya, pada penyulang Abang Karangasem, dengan menggunakan software simulink MATLAB. Hasil simulasi pada kondisi sebelum terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya nilai THDi sebesar 14,81% dan nilai THDv sebesar 0,01%, rugi-rugi daya adalah 0,109272 KW. Pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS nilai THDi meningkat sebesar 21,60% dan nilai THDv tetap sebesar 0,01%, rugi-rugi daya meningkat sebesar 3,7237KW.

Kata kunci : *Beban non linier, Harmonisa, rugi-rugi daya.*

1. PENDAHULUAN

Beban non linier adalah beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Gangguan akibat adanya distorsi gelombang disebut harmonisa. Harmonisa merupakan gangguan pada sistem tenaga listrik yang mengakibatkan terbentuknya gelombang dengan frekuensi yang menyimpang dari frekuensi fundamentalnya. Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonisa adalah panas berlebih pada kawat netral yang menimbulkan rugi-rugi pada sistem dan transformator serta dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus phase. Penyulang Abang dengan beban puncak sebesar 1989 kW yang memiliki 2 suplai tenaga listrik yaitu dari GI Amlapura dan PLTS dengan konfigurasi sistem distribusi tipe radial. PLTS yang sebagian besar memakai beban-beban non linear,

seperti inverter sebanyak 50 buah. Banyaknya beban non linear yang dioperasikan pada Penyulang Abang Karangasem, maka dipastikan terjadinya distorsi harmonisa pada penyulang tersebut. Pada penelitian ini akan dibandingkan bagaimana distorsi harmonisa dan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada penyulang Abang Karangasem, dengan menggunakan software simulink MATLAB.

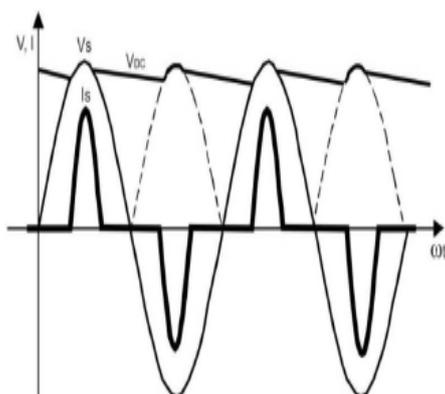
2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Secara umum, cara kerja skema ini adalah panel surya akan menghasilkan tegangan DC. Kemudian tegangan DC tersebut akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC sesuai spesifikasi jaringan listrik. Dimana sistem PLTS On Grid ini dialirkan ke gardu portal yang selanjutnya terhubung dengan jala-jala setelah melalui trafo *step-up* 20kV.

2.2 Beban Non Linier

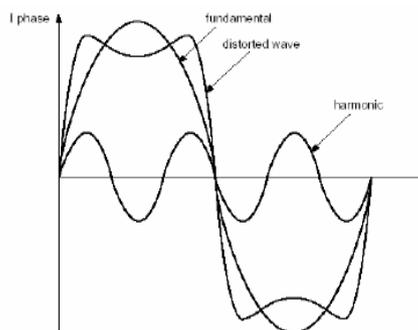
Beban non linier merupakan beban yang gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, jadi bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya. Walaupun disuplai dari tegangan yang sinusoidal beban non linier tetap akan menarik arus yang tidak sinusoidal. Gelombang Arus dan Tegangan Beban Non Linier dapat di lihat pada gambar 1 [1].



Gambar 1 Gelombang Arus dan Tegangan Beban Non Linier

2.3 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang muncul akibat pengoperasian 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 frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, misal: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya). Hal ini dapat mengganggu sistem kelistrikan pada frekuensi fundamentalnya yaitu 50/60 Hz, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi. Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa dan Gelombang Terdistorsi dapat di lihat pada gambar 2 [1].



Gambar 2 Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa dan Gelombang Terdistorsi

2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

Pada sistem tenaga listrik untuk melihat kandungan distorsi harmonisa pada komponen fundamentalnya diistilahkan dengan THD atau *Total Harmonic Distortion*. Persentase Total Distorsi Harmonisa atau *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan arus dirumuskan seperti pada persamaan (1) [2].

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_h I_h^2}}{I_1} \quad (1)$$

Dengan persamaan yang sama THD untuk tegangan dapat ditentukan dengan persamaan (2) [2].

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_h 2V_h^2}}{V_1} \quad (2)$$

Dengan :

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

V_h = nilai rms tegangan harmonik ke-h.

I_h = nilai rms arus harmonik ke-h.

I_1 = nilai rms arus pada frekuensi dasar.

Hasil perhitungan THD baik arus maupun tegangan sebaiknya tidak melebihi standar yang berlaku karena akan membahayakan komponen-komponen sistem.

2.5 Standar Harmonisa

Standar IEEE 519 – 1992, untuk total distorsi harmonisa atau cacat gelombang sinusoidal. Batas Maksimum Harmonisa Arus dan tegangan IEEE Standard 519 – 1992. dapat di lihat pada tabel 1 dan 2 [3].

Tabel 1 Batas Maksimum Harmonisa Arus IEEE Standard 519 – 1992.

Maximum Harmonics Current Distortion $I_n \% I_L$						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_n/I_L	<11	11<n<17	17<n<23	23<n<35	35<n	THD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabel 2 Batas Maksimum Harmonisa tegangan IEEE Standard 519 – 1992.

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Distortion THD (%)
69 kV and below	3	5
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1	1.5

2.5.1 Rugi-Rugi Daya

Pada suatu sistem dengan penghantar netral mengalir daya sebesar P. Dalam penyaluran daya sebesar P jika arus – arus tiap fasa dalam keadaan seimbang maka besarnya daya dapat dilihat pada persamaan. Daya yang diterima pada ujung distribusi akan lebih kecil dari daya yang dikirimkan ini disebabkan karena adanya penyusutan dalam saluran. Pada keadaan beban seimbang dimana arus netral adalah nol, losses terjadi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan (3) .

$$P_L = 3 \times I^2 R_{line} \tag{3}$$

Dengan :

- P_L = Losses pada saluran (W)
- I = arus saluran/beban (A)
- R = resistansi saluran (Ω)

Dalam keadaan tidak seimbang dimana arus netral tidak sama dengan nol maka losses yang terjadi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

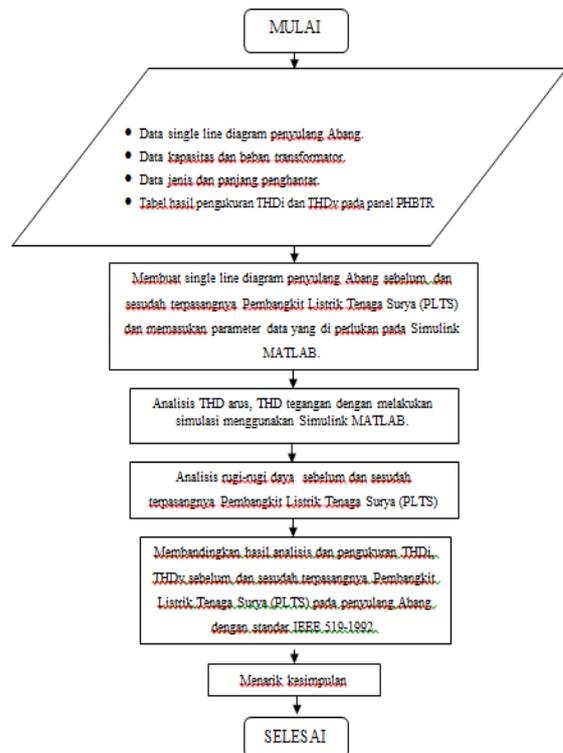
$$P_L = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) R_{line} + I_N^2 R_{netral} \tag{4}$$

Dengan :

- P_L = losses pada saluran (W)
- I_A, I_B, I_C = arus saluran/beban fase (A)
- I_N = $I_A + I_B + I_C$ = arus netral (A)
- R_{line} = resistansi saluran (Ω)
- R_{netral} = resistansi netral (Ω)

3. METODELOGI PENELITIAN

Langkah – langkah analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada lingkaran alir seperti pada diagram pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram alir Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengukuran THDv dan THDi

Hasil pengukuran yang didapatkan pada panel PHBTR akan dilakukan analisis apakah kandungan THD arus dan tegangan telah sesuai dengan standar IEEE 519 Tahun 1992. Data pengukuran dapat di lihat pada table 3.

Tabel 3 Data hasil pengukuran THD arus dan tegangan di Penyulang Abang

Tempat	Keadaan	Hasil Pengukuran	
		THDi(%)	THDv(%)
PHBTR	Sebelum terpasang PLTS	13.7%	1.1%
PHBTR	Setelah terpasang PLTS	22.5%	1.2%

4.2 Batas Maksimum THDi dan THDv di Penyulang Abang

4.2.1 Batas Maksimum THDi

Batas maximum THDi untuk SCratio berdasarkan Standar IEE 519-1992 adalah SCratio > 1000 adalah 20%, untuk SCratio antara 100 sampai dengan 1000 adalah 15%, untuk SCratio antara 50 sampai dengan 100 adalah 12%, untuk SCratio antara 20 sampai dengan 50 nilai THDi adalah 8%, dan untuk besar SCratio < 20 nilai THDi standar adalah 5%. Dengan menentukan SCratio dari data kapasitas trafo di Penyulang Abang dimana analisis batas harmonisa arus dapat dilakukan sebagai berikut :

Dengan data trafo pada PHBTR Penyulang Abang sebagai berikut:

- Kapasitas Trafo (KVA) = 14.100 KVA
- Tegangan SekundeR (KV) = 380 Va = 0,38 KVA
- Impedansi Z (%) = 4%

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z(\%)} = \frac{14.100 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 4} = 535,571 A$$

$$I_L = \frac{KW}{PF \sqrt{3} KV} = \frac{12690}{0,9 \times \sqrt{3} \times 0,38} = 21.424,9 A.$$

Maka SC_{ratio} dapat dicari :

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

$$SC_{ratio} = \frac{535.571}{21.424,9} = 24,99 A.$$

Dengan nilai SC_{ratio} atau I_{sc}/I_L adalah 24,99 A maka batas maksimum THD (*Total Harmonic Distortion*) arus berdasarkan IEEE Standard 519 – 1992 adalah 8%. Hasil pengukuran THD arus beban non linier sebelum terpasangnya PLTS adalah sebesar 13,7%. Hasil pengukuran THD arus beban non linier sesudah terpasangnya PLTS adalah sebesar 22,5%, dimana hasil pengukuran THD arus pada kondisi sebelum dan sesudah terpasangnya PLTS tidak memenuhi standar yang ditetapkan IEEE Standard 519 – 1992 yaitu batas maksimum THD arus untuk I_{sc}/I_L = 24,99 A adalah 8%. Pada sistem kelistrikan di Penyulang Abang batas maximum THDi yang diperbolehkan dapat dilihat pada table 4 .

Tabel 4 batas max THDi menurut IEEE 519-1992

Keadaan	SCratio (A)		THDi max
	Penyulang Abang	IEEE Standar No.519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	13.7%	20-50	8%
Sesudah terpasang PLTS	22,5%	20-50	8%

Perbandingan antara nilai THDi hasil pengukuran dengan standar IEEE 519 tahun 1992 dapat dilihat pada table 5.

Tabel 5 Perbandingan THDi hasil Pengukuran dengan IEEE Standar 519-1992.

Keadaan	Kandungan THDi (Arus)		Keterangan
	Penyulang Abang	IEEE Standar No.519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	13,7%	8%	Tidak sesuai
Sesudah terpasang PLTS	22,5%	8%	Tidak sesuai

Tabel di atas perbandingan THDi hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 menyatakan bahwa nilai THDi pada sistem Distribusi di Penyulang Abang ketentuan tidak sesuai standar, baik sebelum ataupun sesudah terpasangnya PLTS.

4.2.2 Batas Maksimum THDi

Untuk analisis Batas Maksimum THDv (Tegangan) di Penyulang Abang. Batas maksimum untuk THDv yang diperbolehkan pada sistem Distribusi di Penyulang Abang menurut standar IEEE 512-1992 adalah 5%, hal ini disebabkan karena tegangan yang dioperasikan di Penyulang Abang kurang dari 69 KV yaitu 20 KV. Perbandingan hasil pengukuran THDv dengan standar IEEE 519-1992 dapat dilihat pada table 6.

Tabel 6 Perbandingan THDv pengukuran dengan standar IEEE 519-1992.

Keadaan	Kandungan THDv (Tegangan)		Keterangan
	Pengukuran di Penyulang Abang	IEEE 519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	1,1 %	5 %	Sesuai
Sesudah terpasang PLTS	1,2 %	5%	Sesuai

Tabel di atas perbandingan THDv hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 menyatakan bahwa nilai THDv di Penyulang Abang sudah berada sesuai ketentuan standar.

4.3 Hasil perhitungan rugi-rugi daya untuk semua simulasi

Perhitungan rugi-rugi daya pada kondisi sebelum terpasangnya PLTS dengan beban non linier rugi-rugi daya yang terjadi adalah 0,109272 KW, dan pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS dengan beban non linier terdapat losses sebesar 3,7237KW. Hasil perhitungan rugi-rugi daya untuk semua simulasi dapat dilihat pada table 7.

Table 7 Hasil perhitungan rugi-rugi daya untuk semua simulasi

Kondisi	I rms (A)			IN (A)	R line (Ω)	R netral (Ω)	Losses (KW)
	R	S	T				
Sebelum terpasangnya PLTS	1351	1351	1351	1228	0,05316	0,05316	0,109272
Sesudah terpasangnya PLTS	233,1	233,1	233,1	130	0,0124	0,0124	3,7237

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa rugi-rugi daya terbesar terjadi pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS dengan beban non linier.

4.4 Perbandingan dengan Standar IEEE 519-1992 terhadap hasil analisis THDi, THDv pada saat sebelum dan sesudah terpasangnya PLTS

4.4.1 Perbandingan nilai THDi

Perbandingan nilai THDi dilakukan dari hasil simulasi pada sistem Distribusi Penyulang Abang sebelum dan sesudah terpasangnya PLTS. Hasil THDi juga dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8 Perbandingan nilai THDi dengan Standar IEEE 519-1992

Keadaan	Kandungan THDi (Arus)		Keterangan
	Penyulang Abang	IEEE Standar No.519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	14,81%	8%	Tidak sesuai
Sesudah terpasang PLTS	21,60%	8%	Tidak sesuai

Tabel di atas menyatakan perbandingan nilai THDi yang didapatkan dari hasil simulasi. Standar THDi pada PHBTR adalah 8%, sedangkan nilai THDi pada simulasi system tidak sesuai standar dengan besar nilai THDi 14,81% sebelum terpasangnya PLTS dan meningkat nilai THDi 21,60% tidak memenuhi standar sesudah terpasangnya PLTS.

4.4.2 Perbandingan nilai THDv

Perbandingan nilai THDv dilakukan dari hasil simulasi pada system Distribusi Penyulang Abang sebelum dan sesudah terpasangnya PLTS. Hasil THDv juga dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992 dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan nilai THDv dengan Standar IEEE 519-1992.

Keadaan	Kandungan THDv (tegangan)		Keterangan
	Penyulang Abang	IEEE Standar No.519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	0,01%	5%	sesuai
Sesudah terpasang PLTS	0,01%	5%	sesuai

Tabel 9 menyatakan perbandingan nilai THDv yang didapatkan dari hasil simulasi. Standar THDv adalah 5%, sedangkan nilai THDv pada simulasi sistem sudah sesuai standar dengan besar nilai THDi 0,01% sebelum terpasangnya PLTS dan nilai THDv 0,01% sesudah terpasangnya PLTS.

5. KESIMPULAN

1. Hasil simulasi pada Penyulang Abang Karangasem pada saat sebelum terpasangnya PLTS nilai THDi sebesar 14,81% dan sesudah terpasangnya PLTS nilai THDi sebesar 21,60%, nilai tersebut menyatakan bahwa kandungan nilai THDi tidak sesuai ketentuan standar IEEE 512 tahun 1992. Sedangkan nilai THDv sebelum terpasangnya PLTS sebesar 0,01%, dan sesudah terpasangnya PLTS nilai THDv sebesar 0,01%, nilai tersebut menyatakan bahwa kandungan nilai THDv masih memenuhi ketentuan

standar IEEE 512 tahun 1992, Hasil perhitungan rugi-rugi daya yang terjadi adalah 0,109272 KW, dan mengalami peningkatan pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS dengan beban non linier terdapat rugi-rugi daya sebesar 3,7237KW.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berpengaruh terhadap prosentase Distorsi Harmonisa di Penyulang Abang. Pada kondisi sebelum terpasangnya PLTS nilai THDi sebesar 14,81% dan sesudah terpasangnya PLTS nilai THDi meningkat sebesar 21,60%.Sedangkan sebelum terpasangnya PLTS nilai THDv sebesar 0,01% dan sesudah terpasangnya PLTS nilai THDv sebesar 0,01%. Hasil perbandingan rugi-rugi daya yang terjadi adalah 0,109272 KW, dan pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS dengan beban non linier terdapat rugi-rugi daya sebesar 3,7237KW. Dapat dilihat bahwa rugi-rugi daya terbesar terjadi pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS dengan beban non linier.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Dugan, McGranaghan, Santoso, Beaty. **Electrical Power System Quality-Second Edition**. USA : McGraw-Hill. 2003.
- [2]. Mohan, Ned. **Power Electronic Converter, Application and Design**. New York : A Wiley Interscience Publication, 1989.
- [3]. Duffey, **Update of Harmonic Standard IEEE-519 : IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems**. IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 25. No. 6, November / December 1989. Stratford.1989.