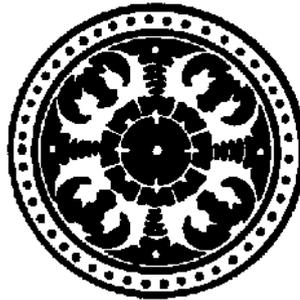


KARYA ILMIAH

**ANALISA DISTORSI HARMONISA
PENGOPERASIAN INVERTER PADA PLTS ABANG
DI KARANGASEM**



oleh :

**I WAYAN RINAS
NIP. 196412311992031028**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
KAMPUS BUKIT JIMBARAN - BALI
2016**

ABSTRAK

Pengoperasian beban-beban non linier mengakibatkan terjadinya peningkatan distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik. Harmonisa merupakan gangguan pada sistem tenaga listrik yang mengakibatkan terbentuknya gelombang dengan frekuensi yang menyimpang dari frekuensi fundamentalnya.

PLTS Abang mengoperasikan 50 buah inverter yang dapat diklasifikasikan sebagai beban nonlinier. Banyaknya inverter yang dioperasikan pada PLTS Abang, akan dapat mengakibatkan meningkatnya distorsi harmonisa pada penyulang tersebut. Pada penelitian ini akan dilihat bagaimana distorsi harmonisa dan rugi-rugi daya yang muncul dengan menggunakan *software simulink* MATLAB.

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada kondisi sebelum terpasangnya PLTS nilai THDi sebesar 14,81% dan sesudah terpasangnya PLTS nilai THDi meningkat sebesar 21,60%, nilai tersebut menyatakan bahwa kandungan nilai THDi tidak sesuai ketentuan standar IEEE 512 tahun 1992. Sedangkan sebelum terpasangnya PLTS nilai THDv 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. Peningkatan rugi-rugi daya akibat distorsi harmonisa meningkat setelah beroperasinya PLTS. Rugi-rugi daya yang terjadi sebelum terpasangnya PLTS adalah 0,109272 KW, dan pada kondisi sesudah beroperasinya PLTS rugi-rugi dayanya sebesar 3,7237KW.

Kata kunci : Beban non linier, THD(total harmonic distortion), rugi-rugi daya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan Kehadapan Tuhan Yang Maha Esa/Ida Sang Hyang Widhi Wasa atas rahmat-Nya, Karya Ilmiah ini dapat kami selesaikan tepat pada waktunya. Dimana judul Karya Ilmiah kami adalah " **Analisa Distorsi harmonisa Pengoperasian Inverter pada PLTS Abang di Karangasem**"

Dalam menyelesaikan Karya Ilmiah ini, banyak bimbingan dan saran telah kami dapatkan sehingga dapat diselesaikan tepat waktu. Untuk itu ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Udayana, Prof. Ir. Ngakan Putu Gede Suardana, MT., Ph.D.
2. Bapak Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Wayan Gede Ariastina, ST., MEngSc, Ph.D.
3. Pimpinan beserta staf Perpustakaan Universitas Udayana.
4. Semua teman-teman di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Udayana yang telah membantu kelancaran Karya Ilmiah ini, walaupun tidak kami sebutkan satu persatu.

Dengan segala kekurangan, kami senantiasa mengharapkan kritik membangun dan semoga Karya Ilmiah ini ada manfaatnya.

Bukit Jimbaran, Pebruari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	
HALAMAN SAMPUL	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	4
2.2 Inverter.....	5
2.3 Kualitas Daya	5
2.4 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.4.1 Sumber Harmonisa.....	6
2.4.2 Permasalahan yang ditimbulkan oleh Harmonisa.....	6
2.4.3 Beban Non Linier.....	7
2.5 Konsep Daya Listrik.....	8
2.5.1 Rugi-Rugi Daya.....	9
2.6 Total Distorsi Harmonisa.....	9
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	12
3.2 Data.....	12
3.2.1 Sumber Data.....	12
3.2.2 Jenis Data.....	12
3.2.3 Teknik Pengumpulan Data.....	12
3.3 Analisis Data.....	13
BAB IV PEMBAHASAN	14
4.1 Pemodelan Sistem.....	14
4.2 Kandungan THD arus dan tegangan hasil pengukuran.....	14
4.3 Batas Maksimum THDi dan THDv di Penyulang Abang.....	14
4.3.1 Batas Maksimum THDi di Penyulang Abang.....	14
4.4 Pemodelan Penyulang Abang sebelum terpasangnya PLTS	16
4.5 Hasil Simulasi THDi dan THDv Penyulang Abang.....	16
4.6 Simulasi Penyulang Abang dengan pengoperasian PLTS.....	18
4.6.1 Penentuan Parameter Simulasi PLTS pada Simulink Matlab.....	18
4.6.2 Hasil Simulasi THDi dan THDv setelah beroperasinya PLTS.....	18
4.7 Analisis Rugi-Rugi Daya Untuk Tiap Simulasi.....	20
4.7.1 Analisa Rugi – rugi daya pada Penyulang Abang.....	20
4.7.2 Analisa Rugi – rugi daya dengan beroperasinya PLTS	20
4.8 Analisa Distorsi Harmonisa Pengoperasian Inverter pada PLTS Abang Karangasem.....	21
BAB VI. SIMPULAN	25
5.1 Simpulan.....	25
DAFTAR PUSTAKA.....	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema dari Sistem <i>Photovoltaic</i>	4
Gb. 2.2 Inverter.....	5
Gambar 2.3 Penurunan Derajat Tegangan pada Jaringan yang di Sebabkan Beban Non Linier.	6
Gambar 2.4 Arus yang diserap oleh beban nonlinier.....	7
Gambar 2.5 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada beban nonlinier.....	7
Gambar 3.1 Alur analisis.....	13
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Distribusi Penyulang Abang.....	16
Gambar 4.2 Sinyal dan Spektrum Hasil Simulasi THDi pada Penyulang Abang.....	17
Gambar 4.3 Sinyal dan Spektrum hasil simulasi THDv.....	17
Gambar 4.4 Pemodelan Sistem Penyulang Abang dengan pengoperasian PLTS ...	18
Gambar 4.5 Data PLTS Penyulang Abang.....	18
Gambar 4.6 Sinyal dan Spektrum Hasil Simulasi THDi pada Penyulang Abang...	19
Gambar 4.7 Sinyal dan Spektrum hasil simulasi THDv pada Penyulang Abang....	19
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai THDi	23
Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai THDv.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batasdistorsi arus harmonisa untuk sistem distribusi umum.....	10
Tabel 2. 2 Batas distorsi tegangan.....	11
Tabel 4.1 Data hasil pengukuran THD arus dan tegangan di Penyulang Abang.....	14
Tabel 4.2 Batas max THDi menurut IEEE 519-1992 di Penyulang Abang.....	15
Tabel 4.3 Perbandingan THDi hasil Pengukuran dengan IEEE Standar 519-1992.....	15
Tabel 4.4 Perbandingan THDv pengukuran dengan standar IEEE 519-1992.....	16
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Untuk Semua Simulasi.....	21
Tabel 4.6 Perbandingan nilai THDi	22
Tabel 4.7 Perbandingan nilai THDv.....	22

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi listrik sangat di butuhkan pada zaman modern ini, karena kebutuhan manusia akan teknologi juga semakin meningkat. Oleh karena itu para ilmuwan berlomba-lomba menemukan sumber energy terbarukan . Salah satu pembangkit listrik yang termasuk dalam kreteria energy terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

PLTS merupakan pembangkit listrik yang mengubah energy surya menjadi energy listrik. Sel surya atau sel photovoltaic adalah alat yang mengubah energy matahari menjadi energy listrik menggunakan efek foto elektrik, dimana proses pembangkit listrik yang menggunakan perbedaan tegangan akibat efek foto elektrik untuk menghasilkan listrik. Efek foto elektrik adalah suatu proses dimana sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P di bagian atas terlepas, sehingga hal ini menyebabkan proton mengalir kelapisan panel N di bagian bawah dan perpindahan arus proton ini adalah arus listrik (Mansyur., 2012).

Pada umumnya jaringan listrik yang ada di Indonesia menggunakan system jaringan tegangan AC. Untuk mendistribusikan daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTS diperlukan peralatan inverter, karena PLTS hanya dapat membangkitkan tegangan DC. Inverter ini dapat diklasifikan sebagai peralatan elektronika daya dan termasuk jenis beban nonlinier. 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 (distorsi harmonisa). Harmonisa merupakan gangguan pada system tenaga listrik yang mengakibatkan terbentuknya gelombang dengan frekuensi yang menyimpang dari frekuensi fundamentalnya, sehingga bentuk gelombang tegangan dan arus tidak sinusoidal murni lagi. Akibat dari harmonik yang terjadi komponen-komponen peralatan dalam system akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan.

Besarnya harmonisa pada suatu system distribusi tenaga listrik disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). THD merupakan nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar prosentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat harmonisa yang terjadi pada arus maupun tegangan.

PLTS pada penyulang Abang mengoperasikan 50 buah inverter. yang sebagian besar menggunakan peralatan elektronika daya yang merupakan jenis beban-beban *non*

linear. Berdasarkan kondisi tersebut penulis ingin melakukan penelitian tentang “Analisa distorsi Harmonisa untuk pengoperasian inverter pada PLTS. Abang di Karangasem”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latarbelakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah bagaimanakah kondisi *Total Harmonic Distortion* (THD) dan rugi-rugi daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) penyulang Abang Kabupaten Karangasem?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui kondisi *Total Harmonic Distortion* (THD) dan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Abang Kabupaten Karangasem.
- 2) Untuk mengetahui bagaimanakah perbandingan *Total Harmonic Distortion* (THD) dan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Abang Kabupaten Karangasem.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk meningkatkan kualitas tenaga listrik pada system distribusi 20 kV di PLN Bali Timur Rayon Karangasem serta dapat memberikan pengetahuan kepada masyarakat pada umumnya dan mahasiswa Teknik Elektro pada khususnya bagaiman akajian dan analisa *Total Harmonic Distortion* (THD) dan rugi-rugi daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Penyulang Abang Karangasem.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Mengingat demikian luasnya ruang lingkup permasalahan, maka dibuat pembatasan masalah serta asumsi-asumsi sebagai berikut, yaitu :

1. Analisis penelitian dilakukan dengan menggunakan *simulink MATLAB*.
2. Analisa *Total Harmonic Distortion* (THD) dan rugi-rugi daya pada Penyulang Abang setelah masuknya PLTS dilakukan dengan menentukan

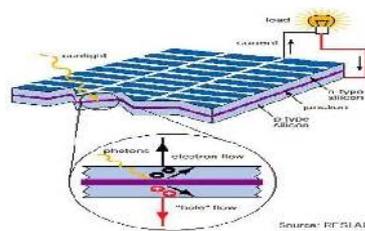
beban siang berdasarkan beban puncak karena PLTS ini tidak menggunakan baterai.

3. Sistem distribusi yang dievaluasi adalah system distribusi tipe radial.
4. Data PLTS yang digunakan hanya daya yang dihasilkan oleh PLTS, sehingga tidak dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai PLTS.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi matahari merupakan sumber energi penting sejak dahulu, dimulai cara memanfaatkan yang primitif sampai teknologi *photovoltaic*. Matahari melepas 95% energinya sebagai cahaya yang bisa dilihat dan sebagian lagi sebagai yang tidak terlihat seperti sinar infra-red dan ultra-violet. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m² /hari dengan variasi bulanan sekitar 10 % dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi energi surya rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.



Gambar 2.1 Skema dari Sistem *Photovoltaic*
(Sumber: Ingenieros, A.M., 2011)

Kelebihan dan kekurangan dari penggunaan energi panas matahari antara lain:

- a. Kelebihan:
 - Energi panas matahari merupakan energi yang tersedia hampir diseluruh bagian permukaan bumi dan tidak habis (*renewable energy*).

- Penggunaan energi panas matahari tidak menghasilkan polutan dan emisi yang berbahaya baik bagi manusia maupun lingkungan.

b. Kerugian:

- Sistem pemanas air dan pembangkit listrik tenaga surya tidak efektif digunakan pada daerah memiliki cuaca berawan untuk waktu yang lama.
- Pada musim dingin, pipa-pipa pada sistem pemanas ini akan pecah karena air di dalamnya membeku.
- Membutuhkan lahan yang sangat luas yang seharusnya digunakan untuk pertanian, perumahan, dan kegiatan ekonomi lainnya. Hal ini karena rapat energi matahari sangat rendah.
- Sistem hanya bisa digunakan pada saat matahari bersinar dan tidak bisa digunakan ketika malam hari atau pada saat cuaca berawan.

2.2 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC (Alternating Current). Output suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (sine wave), gelombang kotak (square wave) dan sinus modifikasi (sine wave modified). Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa step up transformer.

Jenis – Jenis Inverter DC Ke AC Berdasarkan jumlah fasa output inverter dapat dibedakan dalam : Inverter 1 fasa, yaitu inverter dengan output 1 fasa. Inverter 3 fasa, yaitu inverter dengan output 3 fasa. Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangan-nya, yaitu : Voltage Fed Inverter (VFI) yaitu inverter dengan tegangan input yang diatur konstan, Current Fed Inverter (CFI) yaitu inverter dengan arus input yang diatur konstan, Variable dc linked inverter yaitu inverter dengan tegangan input yang dapat diatur



Gb. 2.2 Inverter

Sumber: : <http://elektronika-dasar.web.id/artikel-elektronika/inverter-dc-ke-ac/>

2.3 Kualitas Daya Listrik

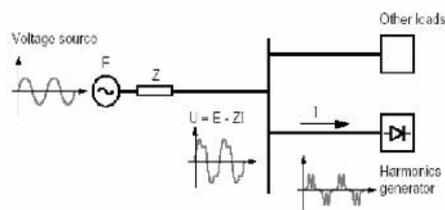
Kualitas daya listrik adalah tenaga listrik yang handal, energi listrik dengan kualitas yang baik dan memenuhi standar, mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Kualitas daya listrik juga diartikan sebagai hubungan dari daya listrik dengan peralatan listrik. Jika peralatan listrik bekerja secara tepat dan handal tanpa mengalami tekanan dan kerugian dapat dikatakan peralatan listrik tersebut mempunyai kualitas daya yang baik, sebaliknya ketika perlengkapan listrik gagal fungsi (*malfunction*), kurang handal atau mengalami kerugian pada saat penggunaan normal, dapat dikatakan bahwa peralatan tersebut memiliki kualitas daya yang buruk. Pada dasarnya, tegangan disuplai dalam bentuk sinusoidal yang mempunyai amplitudo dan frekuensi yang sesuai dengan standar (pada umumnya) atau spesifikasi sistem.

2.4 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 (Dugan,dkk, 2003).

2.4.1 Sumber Harmonisa

Terjadinya gangguan harmonisa pada sistem tenaga listrik di industri disebabkan karena banyaknya pemakaian peralatan yang merupakan beban – beban non linier, seperti: inverter, converter, dan lain sebagainya.



Gambar 2.3 Penurunan Derajat Tegangan pada Jaringan yang di Sebabkan Beban Non Linier.

(Sumber: Ferracci, Ph. 2001)

2.4.2 Permasalahan yang ditimbulkan oleh Harmonisa

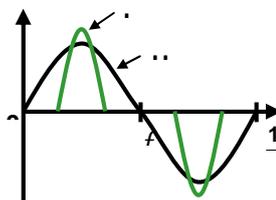
Unsur-unsur individual pada sistem tenaga harus diuji sensitifitasnya terhadap harmonisanya sebagai dasar untuk merekomendasikan pada tingkatan yang diijinkan. Efek utama dari tegangan dan arus harmonisa di dalam sistem tenaga adalah:

1. Penambahan tingkat harmonisa akibat dari resonansi hubungan seri dan paralel.
2. Penurunan efisiensi pada daya generator, transmisi dan pemakaiannya.
3. Interferensi dengan rangkaian-rangkaian telepon (telekomunikasi) dan pemancar karena arus harmonisa urutan nol.
4. Kesalahan-kesalahan pada meter-meter piringan putar pengukur energi.

Secara garis besar, efek harmonisa yang timbul pada sistem tenaga listrik tergantung pada sumber harmonisa dan letak harmonisa. Harmonisa dalam sistem tenaga listrik dapat menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan, seperti :peralatan menjadi panas, *life time* (usia pakai) peralatan menjadi berkurang, bahkan dapat menyebabkan peralatan menjadi rusak, *interferensi* sinyal (seperti *noise* pada saluran telepon).

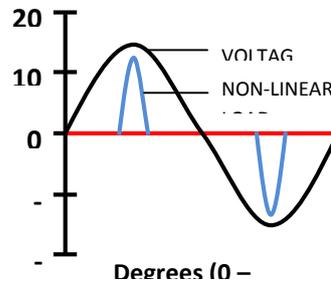
2.4.3 Beban Non Linier

Beban yang komponen arusnya tidak proporsional terhadap komponen tegangannya, sehingga bentuk gelombang arusnya tidak sama dengan bentuk gelombang tegangannya. Tidak terdapat hubungan yang linier antara arus dan tegangan. Beban nonlinier menyerap arus non sinusoidal demikian juga arus harmonik, walaupun disuplai oleh tegangan sinusoidal. Seperti Gambar 2.4 di bawah ini (Dugan; Rizy, 2001).



Gambar 2.4 Arus yang diserap oleh beban nonlinier
Sumber : Dugan; Rizy, 2001

Contoh beban nonlinier antara lain penyearah (*power supply*, UPS, komputer, pengaturan kecepatan motor, alat-alat ferromagnetik, motor DC, dan tungku busur api, dan lain-lain (Dugan; Rizy, 2001).



Gambar 2.5 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada beban nonlinier
Sumber : Dugan; Rizy, 2001

Sebagian besar beban nonlinier yang digolongkan *deforming loads* adalah konverter statis. Beban ini dapat berdaya besar dengan jumlah yang sedikit atau berdaya rendah dengan jumlah yang banyak. Contoh beban ini antara lain (Dugan; Rizy, 2001):

- Lampu neon / TL (*fluorescent lamps*)
- *Light dimmers*
- Komputer
- Peralatan listrik rumah tangga seperti TV, *microwave*, radio, dan piringan induksi (*induction plates*).

2.5 Konsep Daya Listrik

Arus dan tegangan dapat dinyatakan secara umum sebagai : (Buhron, 2001)

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} a_h \cos(h\omega_o t + \phi_h) \quad (2.1)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} b_h \cos(h\omega_o t + \theta_h) \quad (2.2)$$

maka daya aktif dapat dinyatakan sebagai :

$$P_{total} = \sum_{h=1}^{\infty} a_h b_h \cos(\phi_h - \theta_h) \quad (2.3)$$

dan daya nyata dinyatakan sebagai :

$$S_{total} = \sum_{h=1}^{\infty} a_h b_h \quad (2.4)$$

Bila daya reaktif diturunkan dengan cara yang sama sebagaimana mendapatkan daya aktif P, maka didapat :

$$Q_{total} = \sum_{h=1}^{\infty} a_h b_h \sin(\omega_h - \theta_h) \quad (2.5)$$

Definisi daya reaktif pada persamaan (2.5) di atas belum disepakati secara bulat oleh para insinyur listrik. Salah satunya dikarenakan apabila kita terapkan persamaan “standar” untuk daya tampak (*apparent power*) ;

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.6)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (Var)

ternyata P dan Q tidak memenuhi persamaan di atas. Untuk itu, diintrodukir satu besaran lain, yaitu *daya distorsi* D, yang dinyatakan sebagai :

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.7)$$

Dari ulasan singkat di atas, tampak bahwa definisi daya, khususnya daya reaktif yang normal harus ditinjau ulang akibat kehadiran harmonisa.

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 (2.8). 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, rugi-rugi daya terjadi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$P_L = 3 \times I^2 R_{line} \quad (2.8)$$

Dimana : P_L = Rugi-rugi daya pada saluran (W), I = arus saluran/beban (A)

R = resistansi saluran (Ω).

Dalam keadaan tidak seimbang dimana arus netral tidak sama dengan nol maka rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_L = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)R_{line} + I_N^2 R_{netral} \quad (2.9)$$

Dimana : P_L = losses pada saluran (W), I_A, I_B, I_C = arus saluran/beban fase A,B,C (A)

$$I_N = I_A + I_B + I_C = \text{arus netral (A)}; R_{line} = \text{resistansi saluran } (\Omega)$$

$$R_{netral} = \text{resistansi netral } (\Omega)$$

2.6 Total Distorsi Harmonisa

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 (2.10) dan Persamaan (2.11) sebagai berikut (Mohan, 1989):

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.10)$$

V_h = Komponen harmonisa tegangan ke-h

V_1 = Tegangan frekwensi fundamental (rms)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.11)$$

Di mana:

I_h = Komponen harmonisa arus ke-h

I_1 = Arus frekwensi fundamental (rms)

Menurut Standar *IEEE 519 – 1992*, untuk total distorsi harmonisa atau cacat gelombang *sinusoidal* diperlihatkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Batasdistorsi arus harmonisa untuk sistem distribusi umum

<i>Maximum Harmonics Current Distortion $I_n \% I_L$</i>						
<i>Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)</i>						
I_{sc} / I_L	<11	11= \leq h<17	17= \leq h<23	23= \leq h<35	35= \leq h	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

Sumber : Dugan, 2003

THD_i harmonisa urutan genap dibatasi 25% dari harmonisa urutan ganjil di atas, Distorsi arus yang disebabkan sebuah penyearah setengah gelombang ditiidak 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

Menurut IEEE Standard 519 - 1992, untuk menentukan standar batas maksimum THDi pada *utility*, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*). SC_{ratio} dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (2.12)$$

Dimana, I_{sc} (Arus hubung singkat) dapat dicari dengan rumus:

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z (\%)} \quad (2.13)$$

Sedangkan I_L (Arus beban maksimum) dapat dicari dengan rumus:

$$I_L = \frac{KW}{PF \cdot \sqrt{3} \cdot KV} \quad (2.14)$$

Keterangan :

I_{sc} = Arus hubung singkat maksimum pada PCC

I_L = Arus beban maksimum

KW= Total daya aktif

Tabel 2. 2 Batas distorsi tegangan

Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69 kV – 161 kV	1.5	2.5
161 kV	1.0	1.5

Sumber :Dugan, 2003

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dan PT. PLN (Persero) Distribusi Bali. Waktu penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2015.

3.2 Data

3.2.1 Sumber Data

Sumber-sumber data yang diperoleh dalam menunjang pembuatan penelitian ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dan PT. PLN (Persero) Distribusi Bali.

3.2.2 Jenis Data

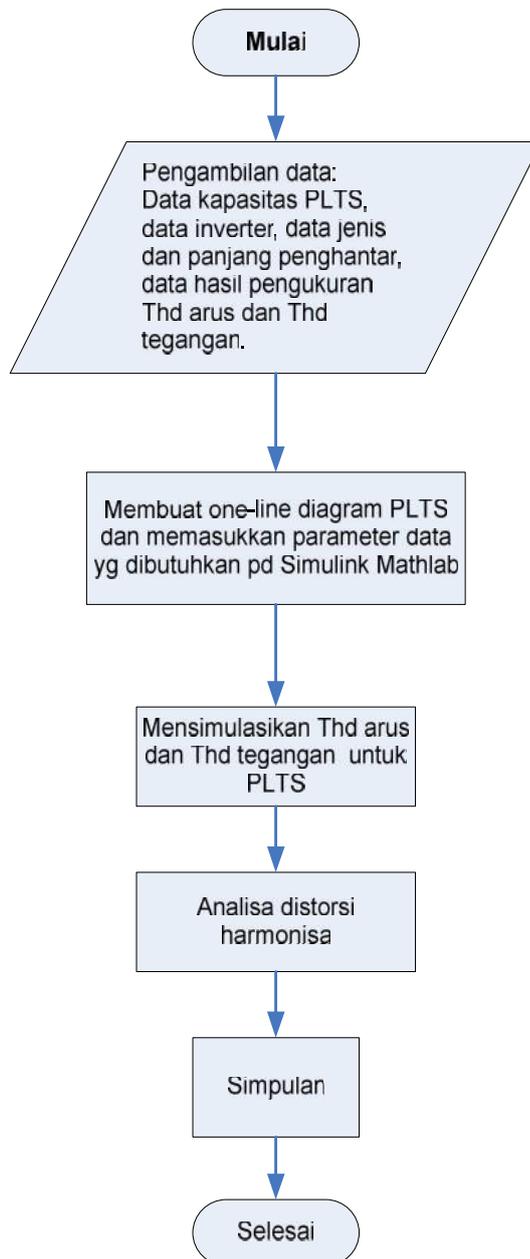
Data-data yang dipakai dalam penyusunan penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dan PT. PLN (Persero) Distribusi Bali.

3.2.3 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, cara pengumpulan data yang diperoleh didasarkan pada metode kepustakaan berdasarkan observasi pada PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dan

PT. PLN (Persero) Distribusi Bali dan pembelajaran literatur yang menunjang materi pembahasan.

3.3 Analisis Data



BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Pemodelan Sistem.

Sebelum melakukan simulasi perlu dilakukan pemodelan sistem untuk penyulang Abang. Penyulang Abang memiliki 2 suplai tenaga listrik yaitu dari Gardu Induk (GI) Amlapura dan Pembangkit Tenaga Listrik (PLTS). PLTS dioperasikan untuk menambah suplai daya listrik. Penyulang Abang memiliki jumlah pelanggan sebanyak 15.017 dan mendapatkan pasokan tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) Amlapura dengan beban puncak sebesar 1.989 kW (PT. PLN).

4.2 Kandungan THD arus dan tegangan hasil pengukuran

Hasil pengukuran Thd arus dan tegangan sebelum dan sesudah pengoperasian PLTS Abang sesuai dengan standar IEEE 519 Tahun 1992. Data pengukuran diperoleh sebagai berikut.

Tabel 4.1 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%

4.3 Batas Maksimum THDi dan THDv di Penyulang Abang

4.3.1 Batas Maksimum THDi di Penyulang Abang

Standar batas maksimum THD_i pada sistem distribusi menurut IEEE Standard 519 – 1992 didapatkan dengan mengetahui rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*) sebesar :

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times Z(\%)} = \frac{14.100 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 4} = \frac{1410000}{2,6327} = 535,571 A$$

Dan perhitungan arus beban (I_L) menggunakan persamaan (2.16) sebesar:

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

$$I_L = \frac{12690}{0,9 \sqrt{3} 0,38} = \frac{12690}{0,5923} = 21.424,9A$$

$$SC_{ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{535.571}{21.424,9}$$

$$= 24,99$$

Jadi nilai SCratio di Penyulang Abang yaitu sebesar 24,99.

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% .

Pada sistem kelistrikan di Penyulang Abang batas maximum THDi yang diperbolehkan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Batas max THDi menurut IEEE 519-1992 di Penyulang Abang

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 tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Perbandingan THDi hasil Pengukuran dengan IEEE Standar 519-1992.

Keadaan	Kandungan THDi(Arus)		KETERANGAN
	Pengukuran di Penyulang Abang	IEEE 519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	13.7%	8 %	Tidak Sesuai
Sesudah terpasang PLTS	22,5%	8%	Tidak Sesuai

4.3.2 Batas Maksimum THDv (Tegangan) di Penyulang Abang

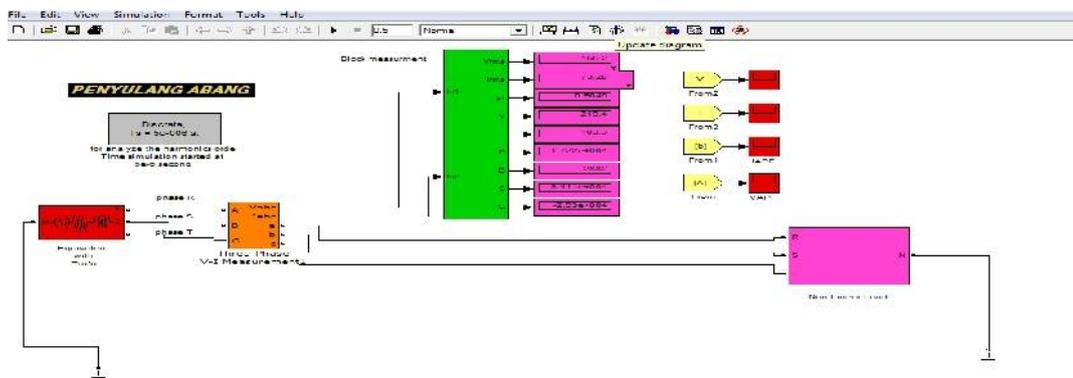
Batas maksimum untuk THDv yang diperbolehkan pada sistem Distribusi di Penyulang Abang menurut standar IEEE 512-1992 adalah 5%, hal ini disebabkan karena tegangan yang dioperasikan di Penyulang Abang kurang dari 69KV yaitu 20 KV. Tabel 5.4 memperlihatkan perbandingan hasil pengukuran THDv dengan standar IEEE 519-1992.

Tabel 4.4 Perbandingan THDv pengukuran dengan standar IEEE 519-1992.

Keadaan	Kandungan THDi(Arus)		KETERANGAN
	Pengukuran di Penyulang Abang	IEEE 519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	1,1%	5%	Sesuai
Sesudah terpasang PLTS	1,2%	5%	Sesuai

4.4 Pemodelan Penyulang Abang sebelum terpasangnya PLTS

Pada simulasi ini akan membangun model sistem Distribusi Penyulang Abang sebelum terpasangnya PLTS, terdiri dari sumber tiga fasa, feeder dan beban yang terpasang. Pada lembar kerja matlab dapat dilihat pada gambar (4.1).



Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Distribusi Penyulang Abang

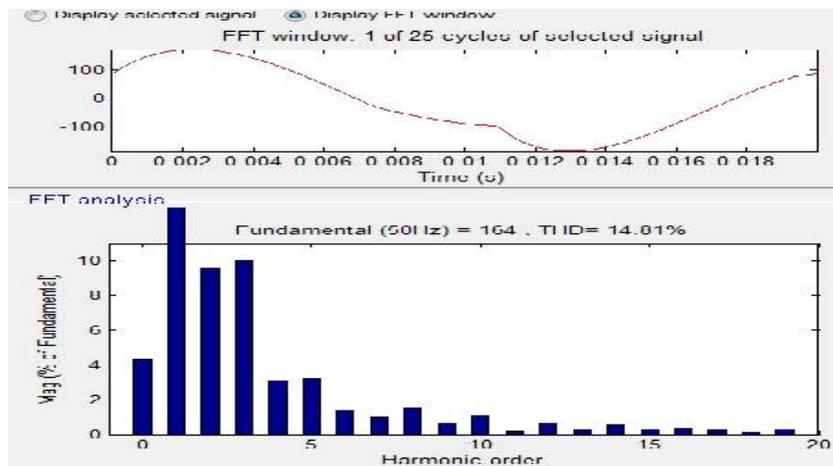
Input data pada sumber tiga fasa menggunakan data trafo dengan kapasitas 14.100 KVA dimana tegangan primer trafo adalah 20 KV dan tegangan pada sisi sekunder trafo adalah 380 VA (0,38). Impedansi trafo adalah 4%, resistansi trafo adalah 1,2% dan reaktansi sebesar 3,82%.

4.5 Hasil Simulasi THDi dan THDv Penyulang Abang

Hasil simulasi THD dapat ditentukan dengan menjalankan simulasi yang sudah diinputkan parameter pada beban non-linier. Hasil THD berbentuk gelombang dan grafik

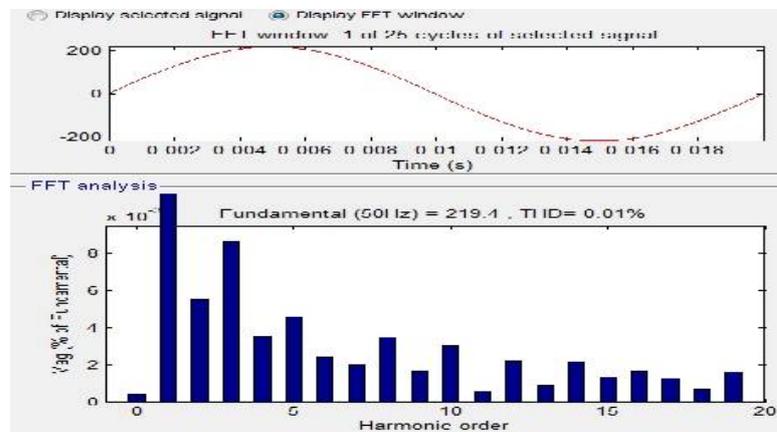
dengan menggunakan bantuan dari *Fast Fourier transform* (FFT) tool. Hasil simulasi yang didapatkan dari FFT untuk menentukan THD pada penyulang Abang dapat dilihat pada gambar 4.2 THDi dan 4.3 THDv.

- Hasil FFT untuk menentukan THDi



Gambar 4.2 Sinyal dan Spektrum Hasil Simulasi THDi pada Penyulang Abang

- Hasil FFT Untuk menentukan THDv



Gambar 4.3 Sinyal dan Spektrum hasil simulasi THDv

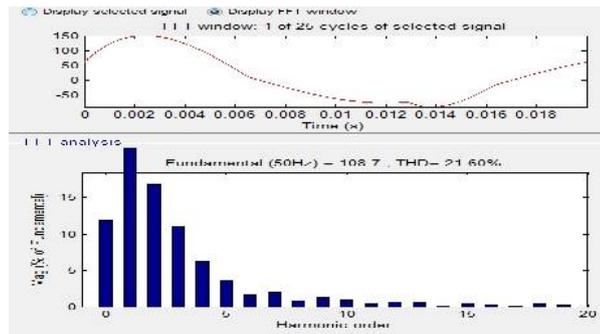
Spesifikasi data yang didapat pada simulasi di penyulang Abang adalah :

- $V_{fundamental}$ = 219,2 V
- $I_{fundamental}$ = 1759 A
- THD arus = 14,81%
- THD tegangan = 0,01%
- V_{rms} = 155 V
- I_{rms} = 1351 A
- Daya reaktif = 2,93KVar.

4.6.2 Hasil Simulasi THDi dan THDv setelah beroperasinya PLTS

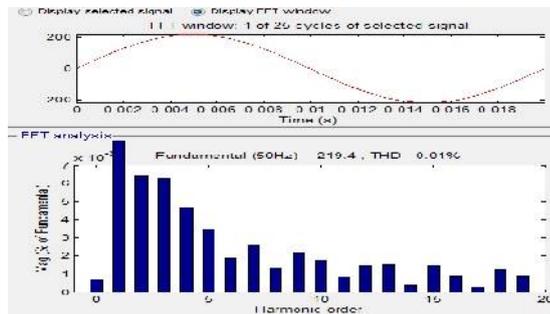
Hasil simulasi THD dapat ditentukan dengan menjalankan simulasi yang sudah diinputkan parameter pada beban non-linier.. Hasil simulasi yang didapatkan dari FFT untuk menentukan THD pada penyulang Abang dapat dilihat pada gambar 4.6 THDi dan 4.7 THDv.

- Hasil FFT untuk menentukan THDi



Gambar 4.6 Sinyal dan Spektrum Hasil Simulasi THDi pada Penyulang Abang

Hasil FFT Untuk menentukan THDv



Gambar 4.7 Sinyal dan Spektrum hasil simulasi THDv pada Penyulang Abang

Spesifikasi data yang didapat pada simulasi di penyulang Abang adalah :

- $V_{\text{fundamental}} = 219,4 \text{ V}$
- $I_{\text{fundamental}} = 321,5 \text{ A}$
- THD arus = 21,60%
- THD tegangan = 0,01%
- $V_{\text{rms}} = 155,1 \text{ V}$.
- $I_{\text{rms}} = 233,1 \text{ A}$.
- Daya reaktif = 2,03KVar.
- Power factor = 0,9247.
- $I_{\text{Netral}} = 130 \text{ A}$

4.7 Analisis Rugi-Rugi Daya Untuk Tiap Simulasi

Analisa rugi-rugi daya dilakukan untuk masing-masing simulasi yaitu untuk kondisi penyulang Abang sendiri dan penyulang abang dengan beroperasinya PLTS.

4.7.1 Analisa Rugi – rugi daya pada Penyulang Abang.

Hasil simulasi dengan beban non linier pada kondisi sebelum terpasangnya PLTS adalah sebagai berikut :

$$I \text{ fasa R} = 1351 \text{ A.}$$

$$I \text{ fasa S} = 1351 \text{ A.}$$

$$I \text{ fasa T} = 1351 \text{ A.}$$

$$I_N = 1228 \text{ A.}$$

$$R_{\text{line}} = 0,05316 \text{ } .$$

$$R_{\text{netral}} = 0,05316$$

Maka dapat dicari rugi-rugi daya pada simulasi beban non linier pada kondisi sebelum terpasangnya PLTS :

$$P_L = (3 \times 1351^2) \times 0.05316 + (1228^2) \times 0.05316 \text{ Watt.}$$

$$= (29,108 + 80,164) \text{ Watt.}$$

$$= 109,272 \text{ Watt.}$$

$$= 0,109272 \text{ KW}$$

4.7.2 Analisa Rugi – rugi daya dengan beroperasinya PLTS

Hasil simulasi beban non linier pada kondisi sesudah terpasangnya PLTS adalah sebagai berikut :

$$I \text{ fasa R} = 233,1 \text{ A.}$$

$$I \text{ fasa S} = 233,1 \text{ A.}$$

$$I \text{ fasa T} = 233,1 \text{ A.}$$

$$I_N = 130 \text{ A.}$$

$$R_{\text{line}} = 0,05316 \text{ } .$$

$$R_{\text{netral}} = 0,05316$$

Maka dapat dicari rugi-rugi daya pada simulasi beban non linier untuk kondisi beroperasinya PLTS:

$$P_L = (3 \times P_L = (3 \times 133,1^2) \times 0,05316) + (130^2) \times 0,05316 \text{ Watt.}$$

$$= (2825,3 + 898,4) \text{ Watt.}$$

$$= 3723,7 \text{ Watt.}$$

$$= 3,7237 \text{ KW}$$

Hasil analisa rugi-rugi daya untuk semua simulasi secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Untuk Semua Simulasi.

Kondisi	Irms (A)			IN (A)	R line ()	R netral ()	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 4.5 dapat dilihat bahwa pada kondisi sebelum beroperasinya PLTS dengan beban non linier, rugi-rugi dayanya adalah 0,109272 KW, dan pada kondisi sesudah beroperasinya PLTS dengan beban non linier rugi-rugi dayanya sebesar 3,7237KW.

4.8 Analisa Distorsi Harmonisa Pengoperasian Inverter pada PLTS Abang Karangasem

1. THD arus :

Analisa distorsi harmonisa arus dapat dilakukan setelah melakukan simulasi THD pada kondisi tanpa PLTS dan kondisi beroperasinya PLTS ..Hasil THDi juga dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992. Perbandingan nilai THDi dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan nilai THDi

Keadaan	Kandungan THDi(Arus)		KETERANGAN
	Pengukuran di Penyulang Abang	IEEE 519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	14,81 %	8 %	Tidak Sesuai
Sesudah terpasang PLTS	21,60 %	8%	Tidak Sesuai
Selisih THD arusnya	6.79 %	-	meningkat

Tabel 4.6 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. Dari hasil simulasi THD arus untuk pengoperasian Inverter pada PLTS untuk Penyulang Abang besar THD nya adalah 6.79 %.

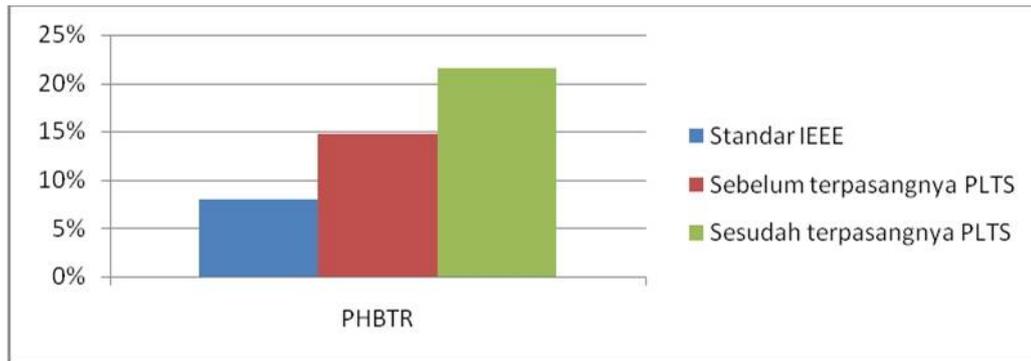
2.THd tegangan:

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. Dari hasil simulasi THD tegangan untuk pengoperasian Inverter pada PLTS untuk Penyulang Abang besar THD nya adalah 6.79 %. Perbandingan nilai THDi dapat dilihat pada tabel 4.7

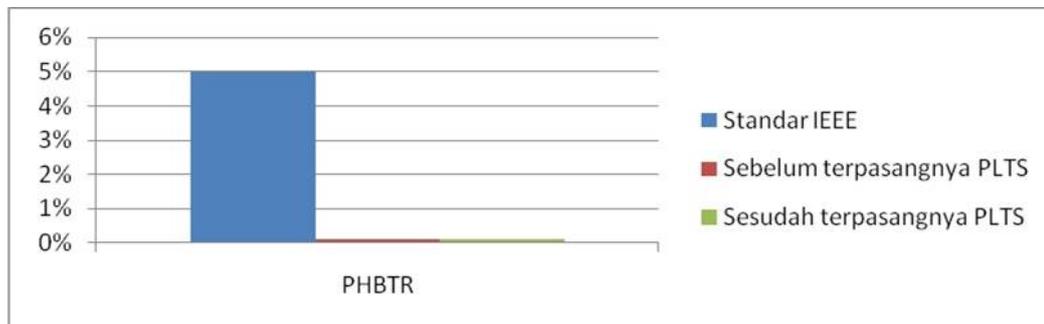
Tabel 4.7 Perbandingan nilai THDv

Keadaan	Kandungan THD v (Tegangan)		KETERANGAN
	Pengukuran di Penyulang Abang	IEEE 519-1992	
Sebelum terpasang PLTS	0,01%	5%	Sesuai
Sesudah terpasang PLTS	0,01%	5%	Sesuai
Selisih THD tegangan	0,00%	-	tetap

Analisa hasil yang didapatkan dengan mengoperasikan 50 buah inverter pada PLTS Abang untuk mensuplai daya listrik ke Penyulang Abang mengakibatkan munculnya THD sebesar 6.79 %. Dan rugi rugi daya listrik meningkat .sebesar 3.6145 Kw. Bentuk grafiknya dapatnya dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai THDi



Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai THDv

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan

Simpulan yang didapatkan dari hasil analisa pada simulasi terhadap Total Harmonic Distortion (THD) pengoperasian inverter untuk PLTS di Penyulang Abang adalah hasil simulasi Penyulang Abang Karangasem pada kondisi belum beroperasinya PLTS nilai THDnya sebesar 14,81% dan sesudah beroperasinya PLTS nilai THDi sebesar 21,60%.

Dari kondisi ini dapat dilihat adanya peningkatan nilai THD arus sebesar 6.79 %, sehingga dapat disimpulkan pengoperasian 50 inverter pada PLTS Abang untuk mensuplai daya listrik ke Penyulang Abang mengakibatkan munculnya THD arus Sebesar 6.79 %. Akibat pengoperasian 50 buah inverter pada PLTS Abang juga mengakibatkan peningkatan rugi-rugi daya listrik sebesar 3.6 KW

DAFTAR PUSTAKA

- Buhron ; Sutanto. 2001. **Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya**. Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung, Dept. Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya dan Staf Operasi Distribusi PLN Distribusi Jawa Barat dan Banten.
- Duffey; Stratford. 1989. **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.
- Dugan; McGranagan; Santoso; Beaty. 2003. **Electrical Power System Quality-second Edition**. USA: McGraw-Hill.
- Ferracci, Ph. 2001. **Power Quality**. Cahier Technique Merlin Gerin no: 199.
- Mohan, Ned. **Power Electronic Converter, Application and Design**. New York : A Wiley Interscience Publication, 1989.
- SPLN 12 : 1978. **Pedoman Penerapan Sistem Distribusi 20KV, Fasa-Tiga, 4-Kawat**. No: 051/DIR/78 Tanggal 20 Nopember 1978.
- Setiawan. 2007. **Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik**. Jurnal Eltek ISSN 1693-4024 Volume 05 Nomor 02, Oktober 2007

:

Inverter: <http://elektronika-dasar.web.id/artikel-elektronika/inverter-dc-ke-ac/>