

STUDI HARMONIK PADA SUMBER LISTRIK AKIBAT PENGUNAAN LAMPU LED, LHE, DAN TL

Novi Gusti Pahiyanti, Soetjipto Soewono
Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

Abstract

Along with the development in the field of lighting, LED, LHE and TL is now widely used as a good lighting for home lighting and street lighting. The lamp is also said to be capable of energy saving lamps produce light more efficiently than incandescent bulbs. Energy saving lamp is a non-linear load that can cause disturbances in electrical power systems are referred to as harmonics. As an energy-saving lamp has a non-linear load that produces both harmonic current harmonic distortion and voltage harmonics. In this research, a combination of LED lights, LHE, and TL. Of the three lights which have the greatest harmonics are LED lights. To suppress harmonics of LED lights can be done with a combination of LED lights and lights LHE.

Keywords: LED lights, LHE lamp, fluorescent lamp, harmonics

Abstrak

Seiring perkembangan dalam bidang penerangan, LED, LHE dan TL kini mulai banyak digunakan sebagai lampu penerangan baik untuk penerangan rumah maupun penerangan jalan. Lampu tersebut juga dikatakan sebagai lampu hemat energi yang mampu menghasilkan cahaya lebih efisien dari pada lampu pijar. Lampu hemat energi merupakan beban non linier yang dapat mengakibatkan gangguan pada sistem tenaga listrik yang disebut sebagai harmonik. Sebagai lampu hemat energi yang memiliki beban non linier yang menghasilkan distorsi harmonik baik harmonik arus maupun harmonik tegangan. Pada penelitian ini dilakukan kombinasi lampu LED, LHE, dan TL. Dari ketiga lampu tersebut yang memiliki harmonik yang paling besar adalah lampu LED. Untuk menekan harmonik dari lampu LED dapat dilakukan dengan kombinasi lampu LED dan lampu LHE.

Kata kunci : lampu LED, lampu LHE, lampu TL, harmonic

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Penghematan penggunaan energi listrik salah satu langkahnya dengan mengurangi pemakaian energi listrik yang digunakan untuk penerangan. PLN mensosialisasikan pengurangan pemakaian energi listrik dengan cara menggunakan lampu hemat energi, baik tingkat rumah tangga, bisnis maupun sektor industri.

Penggunaan lampu LED, lampu LHE dan lampu TL sebagai lampu hemat energi membuat penggunaan lampu hemat energi di masyarakat semakin luas, sehingga banyak perusahaan industri lampu penerangan berinovasi dan mengembangkan lampu hemat energi. Setiap merk lampu hemat energi memiliki kualitas yang berbeda,

sehingga berbeda pula tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh lampu-lampu tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian mengenai karakteristik distorsi harmonisa dari beberapa merk lampu LED, lampu LHE, dan lampu TL, yang beredar di masyarakat yang dapat menimbulkan gangguan sistem kelistrikan.

2. Rumusan Masalah

1. Apakah penggunaan lampu LED, lampu LHE dan lampu TL dalam kehidupan masyarakat menyebabkan distorsi harmonik yang dapat mengganggu sumber tenaga listrik?
2. Nilai apa sajakah yang akan di dapat dari hasil pengukuran harmonisa dengan menggunakan alat ukur harmonisa ?

3. Bagaimana harmonik yang terjadi pada Rumah Sangat Sederhana (RSS) setelah lampu dipasang secara kombinasi antara lampu LED, LHE, dan TL ?

3. Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini ruang lingkungannya dibatasi pada percobaan di dalam laboratorium dengan menggunakan alat ukur harmonisa untuk mengukur lampu LED, LHE, dan TL. Pengukuran ini diarahkan pada Rumah Sangat Sederhana (RSS) yang memiliki 5 titik lampu. Dengan mengkombinasi lampu sebanyak 52 buah. Kombinasi yang semuanya hanya lampu LED saja, kombinasi lampu LED, LHE, dan TL, serta kombinasi lampu LED dan TL.

4. Tujuan Penelitian

1. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat distorsi harmonik pada lampu LED, LHE, dan TL yang berbeda merk.
2. Penelitian dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh pada peralatan listrik akibat dari penggunaan lampu LED, LHE, dan TL yang dipasang pada Rumah Sangat Sederhana (RSS).

5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat dijadikan acuan bagi PLN, dan pihak yang membutuhkan tentang pengetahuan tentang harmonisa.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Kualitas Daya Listrik

Dalam kehidupan sehari – hari peranan tenaga listrik yang semakin penting, baik untuk keperluan industri maupun konsumen lainnya, menyebabkan kualitas daya listrik yang baik semakin menjadi tuntutan dari pihak konsumen tenaga listrik.

Permasalahan dalam kualitas daya berhubungan dengan semua permasalahan daya listrik, berupa penyimpangan nilai tegangan, arus dan frekuensi dari kondisi normalnya, yang dapat menyebabkan buruknya kinerja peralatan konsumen atau berdampak pemadaman listrik.

Kualitas Daya menjadi lebih penting karena peralatan listrik semakin sensitif terhadap fluktuasi tegangan, arus dan frekuensi pendek, dan peralatan ini juga memproduksi harmonik yang dapat menurunkan kualitas daya pada sistem tenaga. Ketidak cocokan antara power supply

dan peralatan dapat menyebabkan kesalahan operasi peralatan pelanggan atau degradasi kualitas produk industri. Hal ini dapat berasal dari sistem kelistrikan internal pelanggan sendiri dan atau sistem kelistrikan eksternal atau pelanggan lain di sekitarnya atau karena penyebab alami^[6].

Saat ini banyak peralatan pelanggan menentukan tingkat kualitas daya untuk bekerja dengan baik. Peralatan yang berbeda membutuhkan tingkat yang berbeda dari kualitas daya. Pada saat krisis moneter masalah kualitas daya setingkat dengan masalah pemadaman^[6].

Kualitas daya yang buruk maka akan mengganggu kinerja sistem tenaga listrik seperti sering terjadi gangguan kontinuitas pelayanan, hubung singkat, potensi kebakaran, pemborosan pembayaran rekening listrik, kerusakan pada alat-alat elektronika dan sebagainya. Kualitas daya merupakan syarat umum yang menggambarkan karakteristik parameter catuan seperti arus, tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang dibandingkan dengan standar harapan/tuntutan.

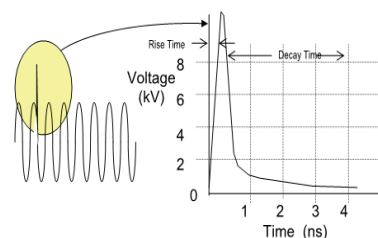
Suplai daya listrik dari generator pembangkit sampai ke beban dioperasikan dalam batas toleransi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, frekuensi dan bentuk gelombang.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas daya seperti halnya dibawah ini :

1. Transient tegangan,
2. Gangguan (*interruption*),
3. Penurunan Tegangan (*sag*)
4. Kenaikan Tegangan (*Swell*),
5. Distorsi Bentuk Gelombang (Harmonik),
6. Fluktuasi Tegangan dan
7. Variasi Frekuensi.

1.1. Transient Tegangan

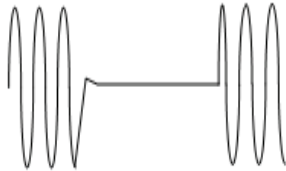
Transient tegangan dapat terjadi disebabkan oleh beberapa hal Sambaran Petir yang terjadi, karena adanya beban induktif atau peralatan-peralatan yang dimatikan dan dihidupkan baik secara di sengaja atau secara otomatis, karena sikring yang putus dan grounding yang buruk^[6].



Gambar 1. Transient Tegangan

1.2. Gangguan (*Interruption*)

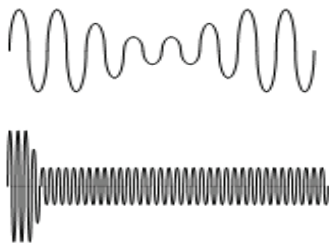
Interruption (gangguan) merupakan hilangnya tegangan atau arus sehingga dapat menyebabkan pemadaman [6]. Terjadinya *interruption* dapat diukur sesuai ketentuan waktu dimulai dari sesaat (0,5 – 30 cycle), seketika (30 cycle – 2 second), sementara (2 second – 2 menit) dan permanen (lebih dari 2 menit) [6].



Gambar 2. Gangguan (*Interruption*)

1.3. Penurunan Tegangan (*Sag*)

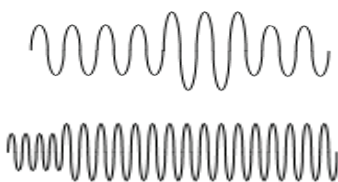
Keadaan saat terjadi kekurangan pembangkitan atau kondisi jaringan yang sangat panjang serta dapat menyebabkan penurunan tegangan. Tegangan disarankan tetap bertahan pada batasan +5% s/d -5% untuk sistem 500 kV dan +5% s/d -10% untuk sistem tenaga lainnya. Penurunan tegangan biasanya terjadi pada kurun waktu sekitar 0,5 cycle - 1 menit. Terjadinya penurunan tegangan dapat mengakibatkan peralatan tertentu tidak bekerja.



Gambar 3. Penurunan Tegangan (*Sag*)

1.4. Swell (kenaikan tegangan)

Swell (kenaikan tegangan) disebabkan beberapa hal yaitu dapat berupa impedansi tinggi pada sambungan netral, pengurangan beban, dan ada beberapa beban peralatan listrik yang cukup besar yang dimatikan [6].



Gambar 4. Kenaikan Tegangan (*Swell*)

1.5. Distorsi Bentuk Gelombang

Distorsi bentuk gelombang dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

- DC offset
- Harmonik
- Interharmonik
- Notching
- Noise

2. Harmonik

Harmonik adalah komponen sinusoidal dari setiap gelombang kompleks periodik semua memiliki frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar gelombang kompleks [6]. Nilai frekuensi dari gelombang harmonik yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonik (f , $2f$, $3f$, dst). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonik (h_1 , h_2 , dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Makin banyak gelombang harmonik yang dikutsertakan pada fundamentalnya, maka gelombangnya akan semakin mendekati bentuk nonsinusoidal.

2.1. Sumber Harmonik

Harmonik muncul akibat adanya beban-beban non linier yang terhubung ke sistem distribusi. Beban non linier ini adalah peralatan-peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan [7].

Peralatan-peralatan elektronik tersebut adalah sebagai berikut :

- Peralatan rumah tangga
 - Lampu fluorescent dengan ballast elektronik,
 - Lampu compact fluorescent (lampu hemat energy)
 - Oven microwave
 - Televisi
- Perlengkapan kantor
 - Computer
 - Printer
 - Mesin fotocopy
 - Mesin fax
- Peralatan industry
 - Mesin las
 - Kontrol kecepatan motor (*variable speed drive*)
 - Electroplating
 - Dapur busur listrik
- UPS (*Uninterruptible Power Supplies*)

2.2. Identifikasi Harmonik

Untuk mengidentifikasi adanya harmonik pada sistem distribusi, dapat diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut :

- Identifikasi Jenis Beban
- Pengukuran
- Pemeriksaan Transformator
- Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah

2.3. Individual dan Total Harmonik Distortion

Individual Harmonik distortion (IHD) merupakan rasio antara nilai rms dari harmonik individual terhadap nilai rms dari fundamental (Sankaran, Power 81). Sebagai contoh, nilai rms dari arus harmonik ketiga adalah 25 A, nilai rms dari arus harmonik kelima adalah 20 A, dan nilai rms dari arus fundamental adalah 60 A. maka,

IHD ketiga adalah :

$$IHD_3 = 25/60 = 0,416 \text{ atau } 41,6 \%$$

IHD kelima adalah :

$$IHD_5 = 20/60 = 0,333 \text{ atau } 33,3 \%$$

2.4. Harmonik Tegangan dan Harmonik Arus

Definisi tegangan dan arus dalam fungsi waktu dalam deret Fourier (Penangsang, Anam, Energi 62-65) adalah :

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (1)$$

Dimana $v(t)$ adalah tegangan sesaat, V_0 adalah harga rata-rata, V_h adalah harga rms dari tegangan harmonik h , dan α_h adalah sudut fasa dari tegangan harmonik.

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2)$$

Dimana $i(t)$ adalah arus sesaat, I_0 adalah komponen dc, I_h adalah harga rms dari arus harmonik h , dan β_h adalah sudut fasa dari arus harmonik h .

Harga rms tegangan dan arus adalah :

$$V = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} V_h^2} ; \quad I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} \quad (3)$$

Kemudian dengan memisahkan komponen fundamental V_1, I_1 dari komponen harmonik V_H, I_H maka akan diperoleh :

$$V_2 = V_1^2 + V_h^2 \quad (4)$$

2.5. Standar Harmonik

Standar harmonik berdasarkan standar IEEE 519-1992, ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik. Yang pertama adalah batasan

untuk harmonik arus, dan yang kedua adalah batasan untuk harmonik tegangan. Untuk standar harmonik arus ditentukan oleh rasio I_{SC}/I_L , I_{SC} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standar harmonik tegangan ditentukan oleh tegangan system yang dipakai.

Standar harmonik arus dapat dilihat pada table 1, sedangkan standar harmonik tegangan dapat dilihat pada table 2.

Tabel 1. Standar Harmonik Arus

I_{SC}/I_L	Harmonic Orde (Odd harmonics)					THD (%)
	<11	11=<h<17	17=<h<23	23=<h<35	35=<h	
	IHD (%)					
<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

Dimana :

I_{SC} = Arus Maksimum Hubung Singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*)

I_L = Arus Beban Maksimum (*fundamental frequency*) pada PCC

Sumber : Ned Mohan. Power Electronics: Converter, Application and Design. New York : John Wiley & Sons, 1994, p.412

Tabel 2. Standar Harmonik Tegangan

Maximum Distortion	System Voltage		
	Below 69 kV	69 - 138 kV	> 138 kV
Individual Harmonics (%)	3	1.5	1
Total Harmonics (%)	5	2.5	1.5

Sumber : Ned Mohan. Power Electronics: Converter, Application and Design. New York : John Wiley & Sons, 1994, p.412

2.6. Pengaruh Harmonik

Pada sistem distribusi listrik aliran harmonik menurunkan kualitas daya listrik sehingga akan menimbulkan beberapa masalah. Secara garis besar pengaruh harmonik terhadap system tergantung dari sumber harmonik, letak sumber harmonik, dan karakteristik jaringan.

Umumnya harmonik pada arus membawa dampak lebih jika dibandingkan dengan harmonik pada tegangan. Pada system distribusi listrik, dampak utama yang ditimbulkan dari pengaruh harmonik pada arus adalah mengakibatkan bertambahnya harga nilai rms fundamental.

Beberapa dampak lain yang dapat ditimbulkan akibat adanya harmonik dalam sistem tenaga listrik [8] adalah :

- Panas berlebih pada kawat netral sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu fasa.

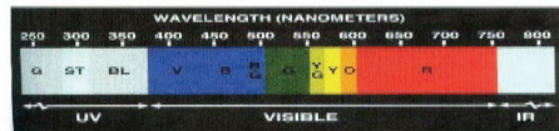
2. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar, yang dapat mengakibatkan putaran piringan akan lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar.
3. Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Harmonik ketiga pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi.
4. Pemutusan beban. Pemutus beban dapat bekerja tidak normal. Pemutus beban yang dapat terhindar dari gangguan harmonik pada umumnya adalah pemutus beban yang mempunyai respon terhadap arus rms sebenarnya (*true-rms current*) atau arus lebih.

2.7. Mengatasi Harmonik

Gangguan harmonik yang cukup besar dapat mengakibatkan kualitas daya listrik menjadi buruk. Usaha untuk meredam gangguan harmonik yang dapat menyebarkan arus harmonik ke bagian yang lain dari suatu system tenaga listrik adalah dengan memasang filter harmonik, yakni kombinasi rangkaian induktansi (L) dan kapasitor (C) secara seri yang diharapkan mampu menekan distorsi tegangan atau arus yang disebabkan oleh penggunaan beban-beban non linier.

3. Lampu

Konsep dasar dari sebuah lampu adalah salah bentuk pemanfaatan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari transfer energi secara kimiawi pada saat lampu menyala^[3]. Radiasi elektromagnetik tidak semuanya dapat mudah terlihat oleh mata manusia, untuk menghasilkan radiasi elektromagnetik yang dapat terlihat oleh manusia, dipilih radiasi dengan panjang gelombang antara 380 nm sampai dengan 780 nm, karena pada panjang gelombang inilah radiasi gelombang elektromagnetik lebih efisien untuk dapat diubah menjadi terlihat oleh manusia. Gelombang yang terdapat oleh manusia itulah yang selanjutnya merupakan cahaya yang dihasilkan oleh lampu.



Gambar 5. Komposisi Spektrum Cahaya
 Sumber : Paschal,J.Step By Step Guide To Lighting.
 USA : Primedia Inertec, 1998, p.129

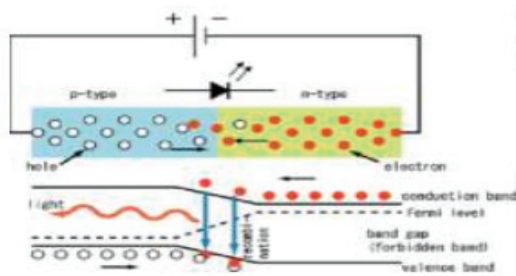
3.1. Lampu LED

LED merupakan lampu sejenis diode semikonduktor istimewa yang terdiri dari sebuah chip bahan semikonduktor yang diisi penuh, atau di-dop, dengan ketidakmurnian untuk menciptakan sebuah struktur yang disebut p-n junction^[3]. LED memiliki panjang gelombang dari cahaya yang dipancarkan, dan warnanya, tergantung dari selisih pita energi dari bahan yang membentuk p-n junction.

Tidak seperti lampu pijar dan lampu neon, lampu LED mempunyai kecenderungan polarisasi. Chip pada LED mempunyai kutub positif dan negatif (p-n) dan hanya akan menyala bila diberikan arus maju, hal tersebut dikarenakan lampu LED terbuat dari bahan semikonduktor yang hanya akan memperbolehkan arus listrik mengalir ke satu arah dan tidak ke arah sebaliknya. Pada Chip LED pada umumnya mempunyai tegangan rusak yang relatif rendah.

Chip LED pada umumnya memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik dioda yang hanya memerlukan tegangan tertentu untuk dapat beroperasi. Namun jika diberikan tegangan yang terlalu besar, lampu LED akan rusak walaupun tegangan yang diberikan adalah tegangan maju.

Cahaya pada LED merupakan energi elektromagnetik yang dipancarkan dalam bagian spektrum yang dapat dilihat. Cahaya yang tampak merupakan hasil kombinasi panjang-panjang gelombang yang berbeda dari energi yang dapat terlihat, mata bereaksi melihat pada panjang-panjang gelombang energi elektromagnetik dalam daerah antara radiasi ultra violet dan infra merah. Cahaya terbentuk dari hasil pergerakan elektron pada sebuah atom.



Gambar 6. Perpindahan Elektron Pada Sebuah LED

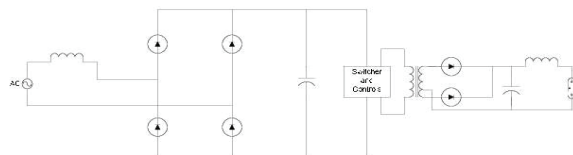
3.2. LHE

Lampu hemat energi (LHE) atau *compact fluoresxent* adalah salah satu bentuk pengembangan dari lampu fluorescent [3]. Lampu hemat energi ini terdiri dari ballast elektronik dan tabung gelas.

Balas elektronik terdiri dari komponen – komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai :

- a. Pembangkit tegangan induksi yang tinggi agar terjadi perlepasan elektron di dalam tabung.
- b. Membatasi arus yang melalui tabung setelah lampu bekerja normal.

Dimana proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan dan dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien selama periode pengaturan yang telah ditentukan.



Gambar 7. Rangkaian Ballast Elektronik
Sumber : dukan, Roger C. Electrical Power System Quality. 2nd ed. New York : The Mc Graw-Hill Companies, Inc,2003,p.137

Proses kerja ballast elektronik dimana menggunakan prinsip switching akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Yaitu arus/electron-elektron yang mengalir dari sisi elektroda "positif" menuju elektroda "negative" yang berbenturan dengan campuran gas Argon dan Merkuri yang terionisasi tentulah mempunyai besaran yang berubah-ubah setiap saat sesuai kondisi benturan sehingga impedansi lampu yang terdiri dari unsure R-L-C merupakan fungsi waktu yang tidak linier :

$$F(Z(t)) = f(R(t)) + f(L(t)) + f(C(t)) \quad (5)$$

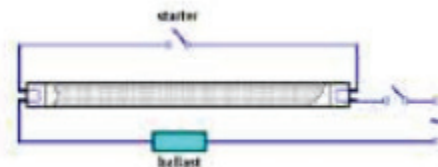
Inilah yang membuat gambaran gelombang arus :

$$F(i(t)) = f(v(t)) / \{f(R(t)) + f(L(t)) + f(C(t))\} \quad (6)$$

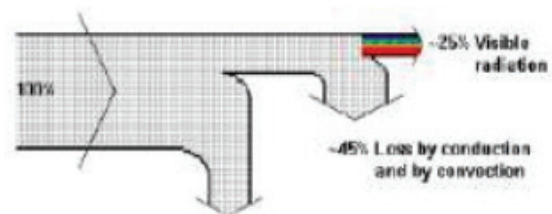
Semakin rusak bentuk gelombang sinusoidal, maka semakin besar amplitude komponen gelombang harmonik.

3.3. Lampu TL

Lampu hemat energi merupakan salah satu lampu penyebab harmonik, diantara berbagai jenis lampu, lampu neon termasuk kategori lampu hemat energi dan banyak dipakai di perumahan dan perindustrian [3]. Lampu neon mempunyai kemampuan sampai berusia 10 ribu jam, sepuluh kali usia lampu pijar. Namun memiliki dampakyang besar bagi lingkungan, kedua jenis lampu ini cukup berbahaya. Kandungan merkuri pada lampu neon pun tidak baik bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Tingkat efisiensi energi yang rendah membawa pengaruh bagi pemanasan global.



Gambar 8. Rangkaian Lampu TL atau Neon



Gambar 9. Diagram Alir Energi Lampu TL

C. METODOLOGI PENELITIAN

Pada pengukuran harmonik ini metode yang dilakukan dalam penelitian yaitu terdiri dari:

1. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mencatat langsung data-data dari manual book, name plate alat ukur, dan data lampu LED, Lampu LHE dan Lampu TL yang digunakan pada saat pengukuran.
2. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Dasar Teknik Elektro dengan pengukuran 1 fasa.
3. Data yang akan diukur adalah THD tegangan (%), THD arus (%), spektrum harmonik serta bentuk gelombang tegangan dan arusnya.

- Pengukuran dengan mengkombinasi 8 buah lampu yang terdiri sebagai berikut :

Tabel 3. Lampu Yang Digunakan Pada Pengukuran

No	Merek Lampu	Jenis Lampu	Watt	Jumlah
1	Philips	TL	18	1
2	Philips	LHE	8	1
3	Philips	LHE	14	1
4	Panasonic	TL	18	1
5	Krisbow	LED	4	1
6	Krisbow	LED	7,5	1
7	Hight Intensity	LED	10	1
8	Hight Intensity	LED	10	1

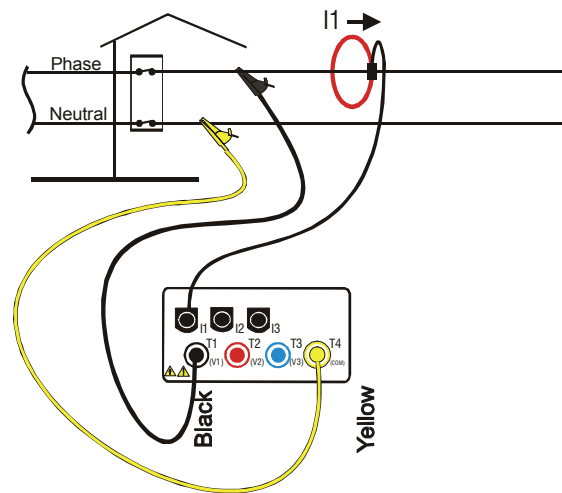
- Berdasarkan jumlah lampu yang digunakan pada Rumah Sangat Sederhana (RSS) yang terdiri dari 5 titik lampu, maka dihasilkan sebanyak 52 kombinasi lampu dari lampu LED, lampu TL, dan Lampu LHE.
- Untuk kombinasi lampu LED saja yang terpasang dirumah sebanyak 6 buah kombinasi.
- Untuk kombinasi lampu LED, lampu LHE, dan lampu TL yang terpasang dirumah sangat sederhana sebanyak 18 buah kombinasi.
- Untuk kombinasi lampu LED dan lampu LHE yang terpasang dirumah sangat sederhana sebanyak 6 buah kombinasi.
- Pengukuran dilakukan selama 1 menit, data yang dihasilkan merupakan data avarege.

Alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data penelitian ini adalah Power Quality Analyzer DM III Multitest. Alat ukur ini digunakan untuk mengukur besarnya tegangan, arus, daya, power factor dan tingkat kandungan harmonisa.

Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur Power Quality Analyzer DM III Multitest dapat berbentuk gelombang, spectrum yang terjadi dari tiap-tiap orde harmonisa, dan teks. Alat ukur ini juga memiliki memori penyimpanan. Dimana dari memori penyimpanan ini data akan ditransfer ke komputer.



Gambar 9. Alat Ukur Power Quality DM III Multitest



Gambar 10. Rangkaian Pengukuran Satu Phase

D. HASIL PENGUKURAN

Dalam pengukuran di Laboratorium sebagai contoh Rumah Sangat Sederhana (RSS) yang memiliki 5 titik lampu dengan menggunakan tabel kombinasi lampu dengan sampel sebanyak 8 buah lampu mendapatkan kombinasi pengukuran lampu sebanyak 52 buah. Sesuai Tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. Kombinasi Lampu

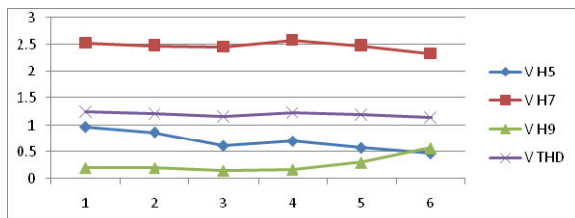
JENIS LAMPU										NO KOMBINASI
LED 4 W	LED 7,5 W	LED 10 W	LED 10 W	TL 18 W	TL 18 W	LHE 5 W	LHE 10 W	KONFI	BANYAKNYA	
KRIS BOW	KRIS BOW	HIGHT INTENSITY	HIGHT INTENSITY	PANA SONIC	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS	GURASI	KOMBINASI	
128	64	32	16	8	4	2	1			
			1	1	1	1	1	5	1	
		1		1	1	1	1	5	2	
		1	1		1	1	1	5	3	
		1	1	1		1	1	5	4	
		1	1	1	1	1		5	5	
	1			1	1	1	1	5	6	
	1		1		1	1	1	5	7	
	1		1	1		1	1	5	8	
	1		1	1	1		1	5	9	
	1		1	1	1	1		5	10	
	1	1			1	1	1	5	11	
	1	1		1		1	1	5	12	
	1	1		1	1		1	5	13	
	1	1		1	1	1		5	14	
	1	1	1			1	1	5	15	
	1	1	1		1		1	5	16	
	1	1	1		1	1		5	17	
	1	1	1	1			1	5	18	
	1	1	1	1		1		5	19	
	1	1	1	1	1			5	20	
1				1	1	1	1	5	21	
1			1		1	1	1	5	22	
1			1	1		1	1	5	23	
1			1	1	1		1	5	24	
1			1	1	1	1		5	25	
1		1			1	1	1	5	26	
1		1		1		1	1	5	27	
1		1		1	1		1	5	28	
1		1		1	1	1		5	29	
1		1	1			1	1	5	30	
1		1	1		1		1	5	31	
1		1	1		1	1		5	32	
1		1	1	1			1	5	33	
1		1	1	1		1		5	34	
1		1	1	1	1			5	35	

JENIS LAMPU										NO KOMBINASI
LED 4 W	LED 7,5 W	LED 10 W	LED 10 W	TL 18 W	TL 18 W	LHE 5 W	LHE 10 W	KONFI	BANYAKNYA	
KRIS BOW	KRIS BOW	HIGHT INTENSITY	HIGHT INTENSITY	PANA SONIC	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS	GURASI	KOMBINASI	
128	64	32	16	8	4	2	1			
1	1				1	1	1	5	36	
1	1			1		1	1	5	37	
1	1			1	1		1	5	38	
1	1			1	1	1		5	39	
1	1		1			1	1	5	40	
1	1		1		1		1	5	41	
1	1		1		1	1		5	42	
1	1		1	1			1	5	43	
1	1		1	1		1		5	44	
1	1		1	1	1			5	45	

JENIS LAMPU										NO KOMBINASI
LED 4 W	LED 7,5 W	LED 10 W	LED 10 W	TL 18 W	TL 18 W	LHE 5 W	LHE 10 W	KONFI	BANYAKNYA	
KRIS BOW	KRIS BOW	HIGHT INTENSITY	HIGHT INTENSITY	PANA SONIC	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS	GURASI	KOMBINASI	
128	64	32	16	8	4	2	1			
1	1	1				1	1	5	46	173
1	1	1			1		1	5	47	174
1	1	1			1	1		5	48	175
1	1	1		1			1	5	49	176
1	1	1		1		1		5	50	177
1	1	1	1				1	5	51	179
1	1	1	1			1		5	52	180

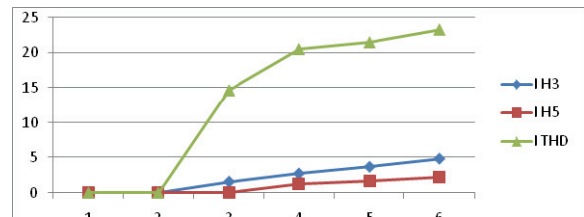
1. Hasil Percobaan Pada Pengukuran Lampu LED

Pada Gambar 11. merupakan kombinasi 5 buah titik lampu dengan semua lampunya adalah LED, harmonik tegangan yang dihasilkan yaitu harmonik ke 5, ke 7, dan ke 9. Pada grafik harmonik arus ke 5 mengalami penurunan nilai harmoniknya. Pada grafik harmonik arus ke 7 mengalami nilai harmonik yang cukup besar. Sedangkan grafik pada harmonik ke 9 mengalami kenaikan yang linier dari setiap percobaan.



Gambar 11. Grafik Harmonik Tegangan Dengan Kombinasi Lampu LED

Pada Gambar 12. di analisa dari grafik yang ada, didapat bahwa harmonik arus yang terlihat terdapat harmonik arus yang ke 3 dan ke 5, dari kedua grafik tersebut dapat dilihat mengalami kenaikan yang linier hal tersebut dikarenakan pemasangan 5 buah titik lampu yang terpasang semuanya lampu LED.



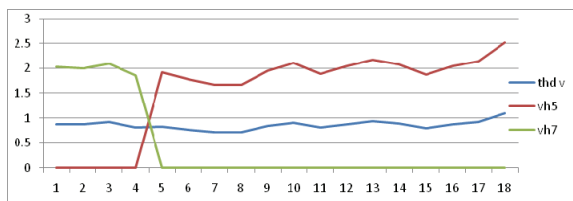
Gambar 12. Grafik Harmonik Arus Dengan Kombinasi Lampu LED

Tabel 5. Hasil Pengukuran Lampu LED

Data Pengukuran	Banyaknya Percobaan					
	1	2	3	4	5	6
RMS Voltage THD	1,25	1,22	1,17	1,24	1,2	1,15
RMS Voltage DC	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 1st Harm	225,8	225,5	225,7	225,6	225,2	225,2
RMS Voltage 3rd Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 5th Harm	0,97	0,87	0,61	0,7	0,57	0,47
RMS Voltage 7th Harm	2,54	2,49	2,46	2,59	2,49	2,34
RMS Voltage 9th Harm	0,2	0,2	0,15	0,17	0,3	0,57
RMS Voltage 11th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 13th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 15th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 17th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 19th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 21th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current THD	0	0	14,61	20,45	21,42	23,22
RMS Current DC	0	0	0	0	0	0
RMS Current 1st Harm	5,08	6,99	10,86	14,8	19,05	23,11
RMS Current 3rd Harm	0	0	1,59	2,75	3,72	4,88
RMS Current 5th Harm	0	0	0	1,26	1,67	2,24
RMS Current 7th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 9th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 11th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 13th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 15th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 17th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 19th Harm	0	0	0	0	0	0
RMS Current 21th Harm	0	0	0	0	0	0

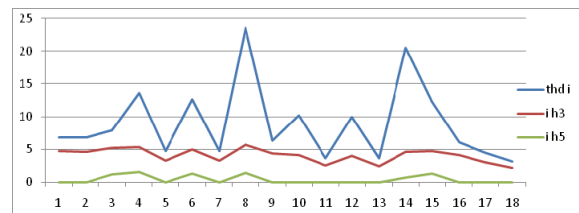
2. Hasil Percobaan Pada Pengukuran Lampu LED, LHE dan TL

Pada gambar 13. di dapat grafik harmonik tegangan dengan harmonik tegangan ke 5 dan ke 7, hal tersebut melihat dengan mengacu pada tabel 4.3. Pada grafik harmonik tegangan ke 5 yang tadinya memiliki nilai nol dari percobaan 1 sampai 4, setelah percobaan selanjutnya mengalami kenaikan nilai besarnya. Pada grafik harmonik tegangan ke 7 mengalami perbedaan pada percobaan 1 sampai 4 mempunyai nilai yang tinggi setelah percobaan berikutnya mengalami penurunan nilai harmonik tegangannya sampai nol.



Gambar 13. Grafik Harmonik Tegangan Dengan Kombinasi Lampu LED, LHE dan TL

Pada gambar 14. menunjukkan grafik harmonik arus dengan kombinasi lampu LED, TL, dan LHE menghasilkan harmonik arus ke 3 dan ke 5 dimana grafik harmonik arus ke 5 memiliki nilai yang lebih kecil dari grafik harmonik arus ke 3, sedangkan Total Harmonik Arus nya memiliki nilai yang besar.



Gambar 14. Grafik Harmonik Arus Dengan Kombinasi Lampu LED, LHE dan TL

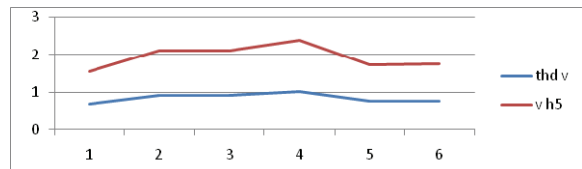
Tabel 6. Hasil Pengukuran Lampu LED, LHE dan TL

DATA PENGAMATAN	SATUAN	BANYAKNYA PERCOBAAN								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		127	128	132	133	136	137	140	141	147
RMS Voltage THD	Ø1 (%)	0,88	0,87	0,92	0,81	0,83	0,77	0,72	0,72	0,84
RMS Voltage DC	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 1st Harm	Ø1 (V)	228,5	228,5	228,3	228,2	229,7	230,3	230,3	230,4	232
RMS Voltage 3rd Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 5th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	1,91	1,78	1,66	1,66	1,95
RMS Voltage 7th Harm	Ø1 (V)	2,02	1,99	2,09	1,85	0	0	0	0	0
RMS Voltage 9th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 11th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 13th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 15th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current THD	Ø1 (%)	6,77	6,73	7,81	13,56	4,73	12,57	4,67	23,56	6,32
RMS Current DC	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current 1st Harm	Ø1 (A)	69,78	69,43	68,71	41,08	69,01	41,23	69,41	26,34	69,08
RMS Current 3rd Harm	Ø1 (A)	4,72	4,67	5,21	5,34	3,26	5,01	3,24	5,73	4,36
RMS Current 5th Harm	Ø1 (A)	0	0	1,26	1,57	0	1,35	0	1,4	0
RMS Current 7th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current 9th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current 11th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current 13th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RMS Current 15th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DATA PENGAMATAN	SATUAN	BANYAKNYA PERCOBAAN									
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		148	151	152	155	156	162	165	166	172	
RMS Voltage THD	Ø1 (%)	0,91	0,81	0,88	0,94	0,89	0,8	0,88	0,92	1,09	
RMS Voltage DC	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 1st Harm	Ø1 (V)	232,1	232,3	231,8	231,8	232,3	232,9	231,5	231,5	231,5	
RMS Voltage 3rd Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 5th Harm	Ø1 (V)	2,11	1,89	2,05	2,17	2,07	1,87	2,05	2,14	2,52	
RMS Voltage 7th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 9th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 11th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 13th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Voltage 15th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current THD	Ø1 (%)	10,12	3,59	9,98	3,53	20,52	12,22	5,97	4,46	3,1	
RMS Current DC	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current 1st Harm	Ø1 (A)	40,53	69,48	40,44	68,98	22,84	40,04	69,17	68,48	69,38	
RMS Current 3rd Harm	Ø1 (A)	4,11	2,5	4,04	2,43	4,61	4,7	4,13	3,05	2,15	
RMS Current 5th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0,69	1,35	0	0	0	
RMS Current 7th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current 9th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current 11th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current 13th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RMS Current 15th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

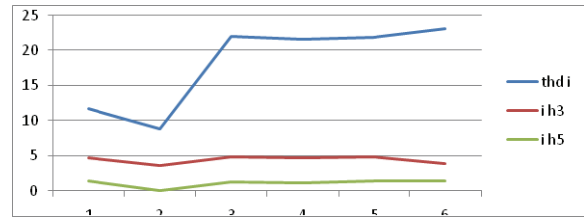
3. Hasil Pecobaan Pada Pengukuran Lampu LED, dan LHE

Pada gambar 15 didapat grafik harmonik tegangan pada pecobaan lampu LED dan lampu LHE saja diperoleh harmonik tegangan ke 5 saja dengan nilai harmonik tegangan yang cukup rendah.



Gambar 15. Grafik Harmonik Tegangan Dengan Kombinasi Lampu LED dan LHE

Pada gambar 16. didapat grafik harmonik arus hanya pada harmonik arus ke 3 dan ke 5, dengan memiliki nilai harmonik arus ke 5 lebih kecil dari pada harmonik ke 3.



Gambar 16. Grafik Harmonik Arus Dengan Kombinasi Lampu LED dan LHE

Tabel 7. Hasil Pengukuran Lampu LED dan LHE

DATA PENGAMATAN	SATUAN	BANYAKNYA PERCOBAAN					
		1	2	3	4	5	6
RMS Voltage THD	Ø1 (%)	0,68	0,91	0,91	1,03	0,75	0,75
RMS Voltage DC	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 1st Harm	Ø1 (V)	230,4	232,2	231,5	231,6	232,6	232,9
RMS Voltage 3rd Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 5th Harm	Ø1 (V)	1,56	2,11	2,11	2,39	1,74	1,75
RMS Voltage 7th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 9th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 11th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 13th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
RMS Voltage 15th Harm	Ø1 (V)	0	0	0	0	0	0
KATA PENGAMATAN	SATUAN	BANYAKNYA PERCOBAAN					
		1	2	3	4	5	6
RMS Current THD	Ø1 (%)	11,84	8,89	22,13	21,67	21,96	23,16
RMS Current DC	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0
RMS Current 1st Harm	Ø1 (A)	42	41,04	22,67	22,65	22,96	18,19
RMS Current 3rd Harm	Ø1 (A)	4,79	3,65	4,86	4,78	4,88	3,99
RMS Current 5th Harm	Ø1 (A)	1,35	0	1,23	1,13	1,29	1,35
RMS Current 7th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0
RMS Current 9th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0
RMS Current 11th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0
RMS Current 13th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0
RMS Current 15th Harm	Ø1 (A)	0	0	0	0	0	0

Analisa dari hasil pengukuran adalah bahwa yang memberikan nilai harmonisa yang terbesar adalah pada pemasangan lampu LED sampai terjadi pada harmonik tegangan ke 9. Jika digunakan dengan bersamaan dengan lampu TL atau LHE dapat meredam harmonisa yang terjadi.

E. KESIMPULAN

1. Pada lampu LED menghasilkan kelipatan harmonik ke 9, tidak menutup kemungkinan jika LED yang terpasang lebih banyak akan menghasilkan kelipatan harmonik lebih dari harmonik ke 9.

2. Kombinasi lampu LED dan lampu TL atau kombinasi lampu LED dan lampu LHE akan mengurangi besarnya nilai harmonik dan mengurangi banyaknya kelipatan harmoniknya dibandingkan hanya menggunakan lampu LED saja.
3. Penggunaan lampu LED dan LHE dapat dapat mengurangi kelipatan harmonik sampai dengan harmonik ke 5 baik harmonik tegangan maupun harmonik arus.
4. Disarankan untuk setiap rumah yang ingin menggunakan lampu LED harus juga terpasang lampu LHE untuk memperkecil nilai harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Assaffat, Luqman, *"Tingkat Harmonisa Pada Lampu Essensial Yang Berbeda Merk"*. Media Elektrika Vol. 3 Nol , Semarang, Juni 2010.
2. Gardy Santoso, *"Understanding Power System Harmonics"*. 2004. 24 Agustus 2005.<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>
3. Harto Saputro, Jimmy. *"Analisa Penggunaan Lampu LED Pada Penerangan Dalam Rumah"*.
4. Ned Mohan, *"Power Electronics: Converter, Application and Design"*. New York : John Wiley & Sons, 1994, p.412
5. Sankaran,C. *"Power Quality"*, USA : CRC Press LLC, 2002
6. Soewono, Soetjipto, *"Kualitas Daya Listrik"*, Bahan Ajar , Jakarta 2015
7. Sumani, Sambodho, *"Penelitian Harmonik Pada Berbagai - macam Lampu Hemat Energi"*. Jakarta, 2012.
8. Tribuana, Wanhar. Pengaruh Hrmonik Pada Transformator Distribusi 1999. 24 Agustus 2005.