

APLIKASI TAPIS PELEWAT RENDAH LC (*LOW PASS LC FILTER*) UNTUK MEREDUKSI DISTORSI HARMONIS PADA LAMPU HEMAT ENERGI

Priyo Sasmoko, Subali, Teguh Yuwono
Program Studi Diploma III Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Email : psasmoko@gmail.com

ABSTRACT

Priyo Sasmoko, Subali, Teguh Yuwono, in this paper explain that harmonic (current or voltage) is one of the problems that has to be solved in electric power system, especially that caused by non-linear loads. Harmonic could cause bad impacts for the electric components that sensed it. It is almost certain that using of fluorescent lamp with electronic ballast or it is called energy saving lamp can cause harmonic in electric power system. Considering of the using of energy saving lamp is increased fairly fast as residence and office lighting, so it is important to analyze and solve the harmonic that caused by energy saving lamp. From the harmonic analysis, we can know the harmonic distortion caused by energy saving lamp. And there are some efforts to reduce such harmonic distortion by using a Low Pass Filter.

Keyword: power quality, harmonic, low pass filter.

PENGANTAR

Dewasa ini kebutuhan akan tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan yang sangat penting, baik bagi kalangan masyarakat maupun kalangan industri. Tidak hanya kebutuhan ketersediaan tenaga dan distribusi saja yang dibutuhkan, tetapi keandalan dan kualitas daya listrik yang tersedia juga menjadi kebutuhan yang sama pentingnya.

Harmonik dalam sistem tenaga listrik bersumberkan dari beban *non-linear*. Beban non-linear adalah beban yang menarik gelombang tidak sinusoidal pada saat dicatu oleh sumber tegangan sinusoidal. Apabila terdapat tegangan yang terdistorsi akibat adanya beban non-linear maka tegangan di saluran juga terdistorsi sehingga terjadi perambatan harmonik dalam sistem tenaga listrik. Harmonik tegangan dan arus dapat mengganggu unjuk kerja sistem, dimana peralatan akan mengalami gangguan diluar kondisi normal. Beban non-linear diklasifikasikan atas tiga tipe yaitu: (i) peralatan elektronika daya seperti konverter, ballast elektronik, (ii) peralatan yang menimbulkan busur api (*arcing devices*) seperti *arc furnaces* dan lampu *fluorescent*, dan (iii) peralatan dengan saturasi inti *ferromagnetik* (Standar IEEE 519-1992).

Pada saat ini penggunaan lampu hemat energi (LHE) marak digunakan baik oleh masyarakat umum maupun industri. Lampu hemat energi merupakan gabungan dari peralatan elektronika daya (*ballast elektronik*) dan lampu *fluorescent*, dimana keduanya merupakan sumber harmonik.

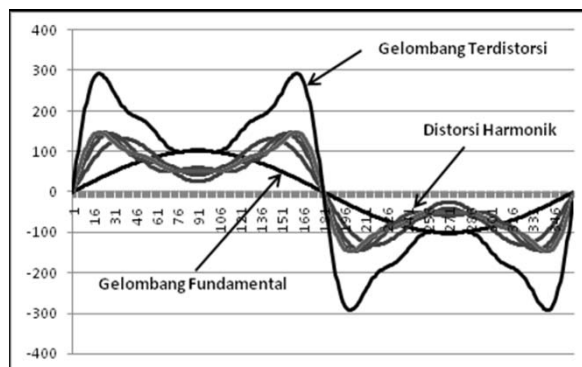
Dengan banyaknya penggunaan lampu hemat energi maka semakin banyak pula potensi sumber harmonik yang secara akumulasi akan menjadi sumber harmonik yang cukup signifikan dalam sistem jaringan listrik. Untuk itu studi dan penelitian tentang eliminasi harmonik pada lampu hemat energi

perlu ditingkatkan. Dalam studi dan penelitian dikembangkan metode-metode untuk mereduksi pengaruh distorsi harmonik dari lampu hemat energi pada jaringan listrik, salah satunya adalah pengembangan perancangan tapis harmonik, yang dalam penelitian ini dipilih tapis pasif pelewat rendah (*Low Pass Passive Filter*) dengan komponen penyusun terdiri dari Induktor dan Kapasitor (LC).

TINJAUAN PUSTAKA

Studi Harmonik

Harmonik adalah deretan gelombang arus atau tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar tegangan atau arus itu sendiri. Harmonik merupakan salah satu parameter kualitas daya listrik. Pada batas tertentu keberadaan harmonik sangat mengganggu bahkan merugikan sistem jaringan listrik, dalam hal ini batasan standar yang digunakan adalah IEEE 519-1992. Gambaran gelombang arus listrik yang terdistorsi harmonik dapat ditunjukkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Gelombang terdistorsi harmonik

Dalam analisis harmonik ada beberapa indeks penting yang digunakan untuk melukiskan pengaruh harmonik pada komponen sistem tenaga listrik dan sistem komunikasi. Untuk menganalisis harmonik terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indek harmonik yaitu THD (*Total Harmonik Distortion*) dan TDD (*Total Demand Distortion*).

Tabel 1. Batas Distorsi Tegangan Menurut IEEE 519-1992

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion (%)
≤ 69 KV	3.0	5.0
69 - 161 KV	1.5	2.5
≥ 161 KV	1.0	1.5

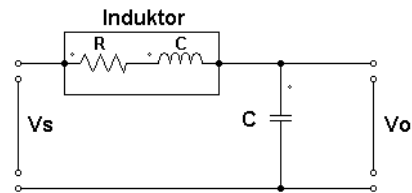
THD (*Total Harmonik Distortion*) didefinisikan sebagai perbandingan nilai rms komponen harmonik terhadap komponen dasar yang dinyatakan dalam persen (%). Indek ini digunakan untuk mengukur penyimpangan (*deviation*) dari bentuk gelombang satu periode yang mengandung harmonik pada satu gelombang sinus sempurna. Untuk satu gelombang sinus sempurna pada frekuensi dasar, THD adalah nol. Demikian pula untuk pengukuran distorsi harmonik individual untuk tegangan dan arus pada orde ke-h didefinisikan sebagai V_h / V_1 dan I_h / I_1 .

THD tegangan
$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$$

THD arus
$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Tapis pasif pelewat rendah LC (*low pass passive LC filter*)

Tapis pasif pelewat rendah (*low pass passive filter*) merupakan tapis yang terdiri dari komponen resistans, induktans dan kapasitans yang dapat melewatkan frekuensi dibawah frekuensi *cut-off* dan menahan frekuensi diatas frekuensi *cut-off*. Gambar 2 memperlihatkan tipe tapis pelewat rendah LC .



Gambar 2. Rangkaian filter pasif pelewat rendah LC

Pada tapis pasif tipe LC, nilai sinyal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$V_0 = \left(\frac{1/j\omega C}{R + j\omega L + 1/j\omega C} \right) V_s$$

dimana V_0 adalah sinyal keluaran tapis, dan V_s merupakan sinyal masukan. Sedangkan tahanan R pada tapis pasif pelewat rendah tipe LC merupakan tahanan dalam induktor. Filter pasif tipe LC, nilai impedans rangkaian filternya dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini pada sisi sumber atau input, dan pada sisi out put nilai impedans dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan ini.

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

bagian imajiner impedans pada persamaan akan mempunyai nilai nol jika :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

sehingga nilai ω adalah :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

dimana $\omega_0 = 2\pi f_0$ dengan f_0 merupakan frekuensi resonansi atau cut-off yang nilai impedansi bagian imajiner pada frekuensi ini adalah nol (David Irwin, 1996).

Pada filter pasif pelewat rendah LC nilai parameter induktor dan kapasitor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} \text{ Henry}$$

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L} \text{ farad}$$

Tabel 2. Batas Distorsi Arus Menurut IEEE 519-1992

Max harmonic current distortion in percent of IL						
Individual harmonic order (Odd harmonic)						
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<25	<35	TDD
<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

METODOLOGI PENELITIAN

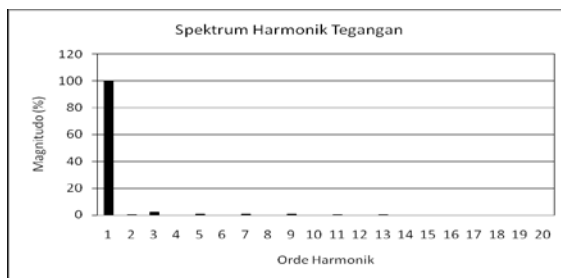
Dalam melakukan penelitian ada beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu :

- Studi pustaka
- Membuat rencana kerja penelitian
- Mengumpulkan alat dan bahan penelitian.
- Membuat rangkaian penelitian.
- Meneliti watak harmonik sumber tegangan.
- Meneliti watak harmonik arus dan tegangan Lampu Hemat Energi.
- Menghitung THD arus dan tegangan Lampu Hemat Energi.
- Mendesain filter pasif LC untuk mengurangi harmonik.
- Menguji filter menggunakan AFG, Frekuensi Counter dan osiloskop.
- Meneliti watak harmonik setelah dipasang filter LC pada Lampu Hemat Energi.

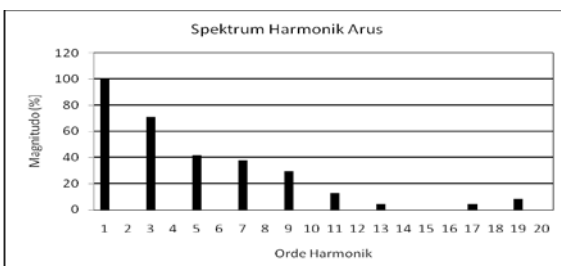
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Harmonik Lampu Hemat Energi Tanpa Dipasang Tapis Pelewat Rendah LC

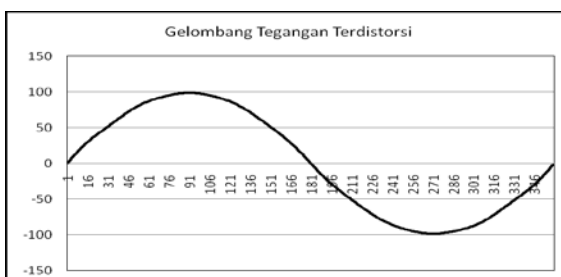
Pada penelitian ini digunakan lampu hemat energi merk "PHILIPS" Essential 23 watt sebagai obyek penelitian. Data hasil pengukuran watak harmonik Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis sampai pada orde harmonik ke-20 untuk tegangan dan arus harmonik ditunjukkan pada tabel 3. Spektrum komponen-komponen tegangan dan arus harmonik dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Spektrum harmonik Tegangan pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis LC.



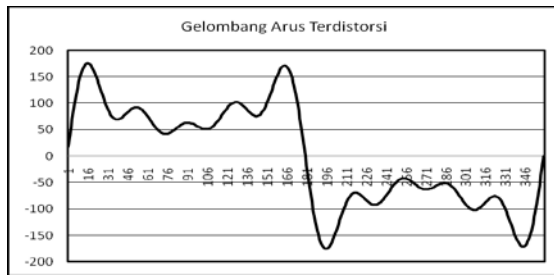
Gambar 4. Spektrum harmonik Arus pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis LC.



Gambar 5. Gelombang tegangan terdistorsi harmonik pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis LC.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis LC

Nomor Harmonik	Tegangan (%)	Arus (%)	Nomor Harmonik	Tegangan (%)	Arus (%)
1	100	100	11	0.51	12.50
2	0.56	0.00	12	0.00	0.00
3	2.09	70.83	13	0.28	4.17
4	0.14	0.00	14	0.05	0.00
5	0.74	41.67	15	0.23	0.00
6	0.09	0.00	16	0.09	0.00
7	0.84	37.50	17	0.19	4.17
8	0.19	0.00	18	0.00	0.00
9	0.74	29.17	19	0.09	8.33
10	0.05	0.00	20	0.00	0.00



Gambar 6. Spektrum harmonik Arus pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis LC.

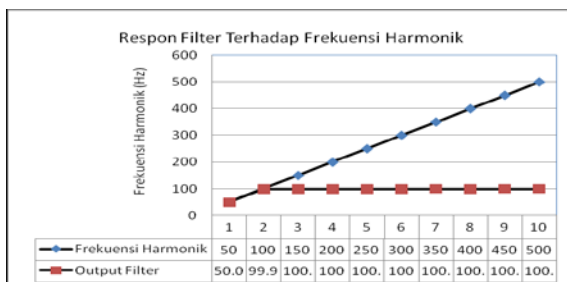
Berdasarkan pengukuran dan pengamatan spektrum harmonik tegangan memperlihatkan bahwa komponen harmonik di dominasi oleh harmonik orde ganjil dengan nilai komponen tertinggi terjadi pada orde ke-3. Sedangkan harmonik arus di dominasi juga oleh harmonik orde ganjil dengan nilai komponen tertinggi terjadi pada orde ke-3.

Besarnya THD tegangan dan THD arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2). Pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis THD tegangan adalah 2,6 %. Sedangkan THD arus pada kondisi tersebut adalah 72,5 %.

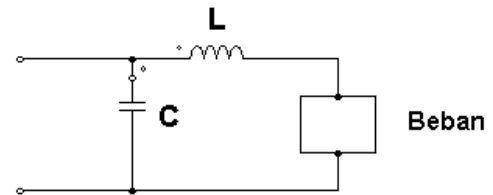
Nilai komponen arus harmonik pada Lampu Hemat Energi tanpa dipasang tapis melebihi nilai yang ditetapkan pada standar IEEE-159-1992, maka perlu dilakukan upaya untuk mengurangi komponen harmonik hingga berada di bawah standar.

Perancangan Tapis Pasif Pelewat Rendah LC

Pada gambar 3 dan 4 memperlihatkan bahwa komponen harmonik arus pada orde ke-3 nilainya cukup besar, sehingga pada perancangan tapis pasif frekuensi *cut-off* diambil pada frekuensi 100 Hz. Pemasangan tapis pasif pelewat rendah pada frekuensi *cut-off* 100 Hz diharapkan dapat meredam harmonik arus pada orde ke-3, dan seterusnya.



Gambar 7. Grafik respon Filter LC dengan cut-off 100 Hz terhadap frekuensi harmonik.



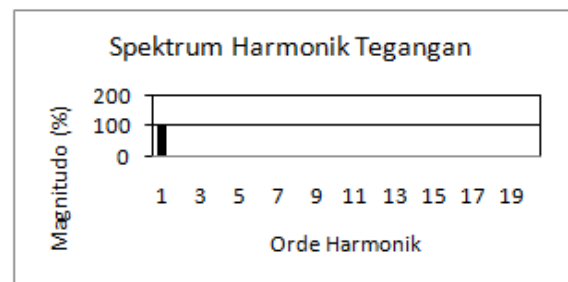
Gambar 8. Rangkaian Tapis Pasif LC yang digunakan pada Penelitian

Rangkaian tapis pasif yang digunakan dalam penelitian diperlihatkan pada gambar 8. Nilai komponen induktor dan kapasitor dihitung dengan menggunakan persamaan (8) dan (9) berdasarkan nilai frekuensi *cut-off* yang telah ditentukan.

Hal ini dilakukan karena untuk menentukan nilai kapasitor yang tersedia dipasaran sangat terbatas. Untuk frekuensi *cut-off* 100 Hz dan nilai kapasitor 25 mikroFarad, maka nilai induktor 100 mHenry dengan resistans sebesar 0,162 ohm.

Hasil Pengukuran Harmonik Lampu Hemat Energi Setelah Dipasang Tapis Pelewat Rendah LC

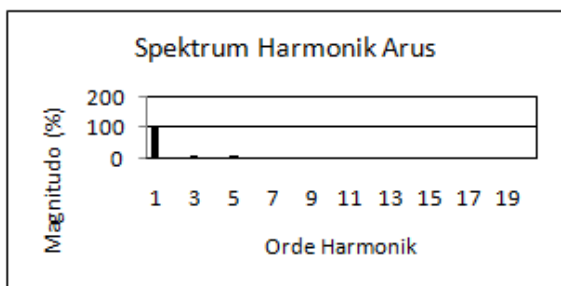
Data hasil pengukuran watak harmonik Lampu Hemat Energi "PHILIPS" Essential 23 watt setelah dipasang tapis pelewat rendah LC sampai pada orde harmonik ke-20 untuk tegangan dan arus harmonik ditunjukkan pada tabel 4. Spektrum komponen-komponen tegangan dan arus harmonik dapat dilihat pada gambar 9 dan 10.



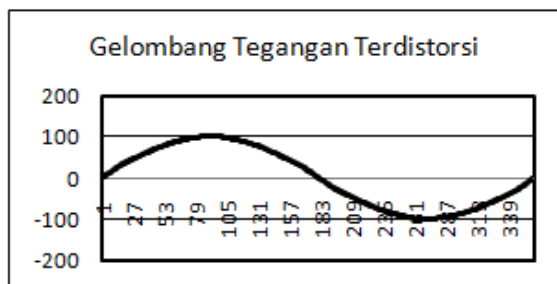
Gambar 9. Spektrum harmonik Tegangan pada Lampu Hemat Energi setelah dipasang tapis LC.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Harmonik Lampu Hemat Energi Setelah Dipasang Tapis LC

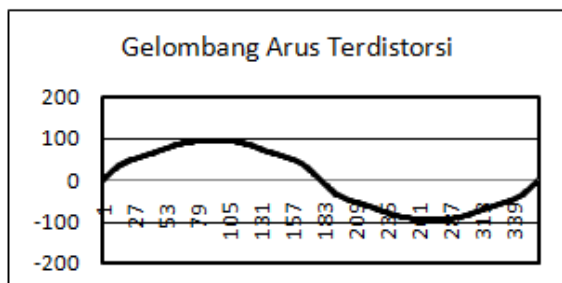
Nomor Harmonik	Tegangan (%)	Arus (%)	Nomor Harmonik	Tegangan (%)	Arus (%)
1	100	100	11	0.51	0.00
2	0.56	0.00	12	0.00	0.00
3	2.09	6.09	13	0.28	0.36
4	0.14	0.00	14	0.05	0.00
5	0.74	4.30	15	0.23	0.00
6	0.09	0.00	16	0.09	0.00
7	0.84	3.23	17	0.19	0.00
8	0.19	0.00	18	0.00	0.00
9	0.74	0.36	19	0.09	0.00
10	0.05	0.00	20	0.00	0.00



Gambar 10. Spektrum harmonik Arus pada Lampu Hemat Energi setelah dipasang tapis LC.



Gambar 11. Gelombang tegangan terdistorsi harmonik pada Lampu Hemat Energi setelah dipasang tapis LC.



Gambar 12. Spektrum harmonik Arus pada Lampu Hemat Energi setelah dipasang tapis LC.

Berdasarkan spektrum tersebut terlihat bahwa telah terjadi penurunan komponen harmonik arus maupun komponen harmonik tegangan. THD tegangan setelah dipasang

tapis dihitung dengan menggunakan persamaan (1). THD tegangan setelah dipasang tapis LC pada Lampu Hemat Energi adalah 2,3 %. Pemasangan tapis pasif pelewat rendah LC dapat menurunkan THD tegangan sebesar 11,54 %.

Sedangkan THD arus harmonik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Nilai THD arus setelah dipasang tapis pelewat rendah LC pada lampu hemat energi adalah 7,21 %. Pemasangan tapis pasif pelewat rendah LC pada lampu hemat energi dapat menurunkan THD arus harmonik sebesar 90,07 %.

Dari pengukuran dan pengamatan di atas nilai komponen tegangan dan arus harmonik setelah pemasangan tapis pasif pelewat rendah jauh berkurang. Hal ini terlihat dari bentuk gelombang tegangan dan arus yang hampir mendekati bentuk gelombang tegangan dan arus fundamental. Berdasarkan tabel standar IEEE 519-1992, maka terlihat bahwa setelah dilakukan pemasangan tapis pasif pelewat rendah pada frekuensi *cut-off* 100 Hz nilai komponen harmonik pada lampu hemat energi sudah mendekati standar IEEE 519-1992.

KESIMPULAN

Berdasar pada data penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

- Lampu Hemat Energi yang diteliti menghasilkan distorsi arus harmonisa yang sangat besar yakni THD_1 72,5%.
- Watak harmonik arus dan tegangan pada Lampu Hemat Energi didominasi oleh harmonik orde ganjil, dengan nilai tertinggi pada orde ke-3.
- Pemasangan tapis pelewat rendah LC (*Low Pass Filter LC*) pada Lampu Hemat Energi mampu menurunkan THD_V dari 2,26 % menjadi 2,23 % dan

THD_I 72,5% menjadi 7,2%.

- Pemasangan tapis pelewat rendah LC (*Low Pass Filter LC*) cukup efektif untuk mengurangi distorsi harmonik total pada Lampu Hemat Energi.
- Tapis pasif pelewat rendah yang dirancang menggunakan kapasitor 25 mikro Farad dan induktor 100 mHenry dengan hambatan dalam sebesar 0.162 ohm. Pemasangan tapis pasif pelewat rendah LC dapat menurunkan THD tegangan 11,54 % dan THD arus 90,07 % pada Lampu Hemat Energi "PHLIPS" Essential 23 watt.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arrillaga, J. and N.R. Watson, 2003, **Power System Harmonics**, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
2. Dugan, R.C., M.F. McGranaghan, Surya Santoso and H.W. Beaty, 2004, **Electrical Power Systems Quality**, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York.
3. Emanuel AE, JA Orr. D Cyganski, 1993, **A survey of Harmonic Voltages and Currents at the Customers's bus**, IEEE. Trans.on Power Delivery. New York
4. IEEE Standards Association. 519-1992., 1993., **Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**. New York: IEEE Press.
5. McGranaghan M.F, 1998, **Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems-IEEE P519A**, The 8th International Conference on Harmonic and Quality of Power ICHQP,
6. Sabar Nababan, 2001, **Tapis Parallel Pasif Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik Beban Taklinear**, Thesis JTE FT. UGM, Yogyakarta.
7. Sasmoko, Priyo, 2010, **Modul Simulator Generator Harmonik**, Tesis S-2, Universitas GadjahMada, Yogyakarta
8. Sudarno, Harsono, Liem Ek Bien, 2004, **Pengujian Harmonisa dan Upaya Pengurangan Gangguan Harmonisa pada Lampu Hemat Energi**, Journal Teknik Elektro Trisakti, Teknik Elektro Universitas Trisakti, 4, 53-64.