

DESAIN RANGKAIAN ELEKTRONIK SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI BALLAST LAMPU TL GUNA PENGHEMATAN KONSUMSI ENERGI LISTRIK

Aripriharta

Abstrak: Konsumsi daya elektrik pada lampu TL dapat direduksi dengan mendesain rangkaian elektronik yang dapat menghemat energi elektrik. Faktor daya pada penggunaan Lampu TL dengan kapasitas daya 10 W, 15 W dan 20 W dapat diperbaiki dengan menggunakan rangkaian PFC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian PFC dapat menggantikan fungsi ballast lampu TL dengan menghasilkan $\cos \phi$ pada kisaran 82,50% sampai dengan 89,3%. Hasil ini melebihi kisaran hipotesis penelitian yakni 70% sampai 80 %. Penggunaan PFC dapat menghemat daya listrik yang terbuang pada masing-masing lampu TL mencapai 79,03 % untuk TL 10 W, 80,19% untuk TL 15W, dan 81,24% untuk TL 20 W. Hal ini berarti juga mencegah pemborosan daya listrik untuk penerangan dengan prosentase yang sama dengan daya terbuangnya. Penggunaan PFC dapat menyebabkan kenaikan efisiensi sistem mencapai sampai mencapai 83 %, lebih tinggi 5,24% dari efisiensi sistem maksimum jika menggunakan ballast.

Kata Kunci: *ballast, $\cos \phi$, hemat energi, daya terbuang, lampu TL, PFC.*

Sehubungan dengan adanya himbauan Presiden RI tentang penghematan konsumsi daya elektrik sebagai salah satu upaya menghemat penggunaan bahan bakar minyak dan gas di Indonesia. Terlepas dari ada tidaknya himbauan Presiden RI, berbagai alternatif untuk menghemat energi elektrik perlu dikembangkan. Salah satu penggunaan energi elektrik yang terbesar adalah sebagai penerangan. Sehingga penerangan elektrik dapat dijadikan aspek yang dapat dibidik untuk memberikan solusi bagi masalah pemborosan energi elektrik.

Lampu elektrik merupakan peralatan elektrik yang sangat berguna untuk penerangan ruangan pada rumah, kantor, dan gedung – gedung bahkan juga jalanan dan warung-warung di pinggir jalan. Salah satu jenis lampu yang banyak digunakan adalah lampu TL karena kuat cahayanya yang lebih terang, daerah penyinarannya yang lebih lebar dan biasanya lebih awet dari lampu pijar.

Konsumsi daya elektrik pada lampu TL dapat direduksi dengan desain rangkaian elektronik yang dapat menghemat energi elektrik.

Rangkaian elektronik tersebut menggantikan fungsi *ballast* pada lampu TL. *Ballast* (atau biasa dikenal dengan trafo/ induktor) membuat efisiensi pemanfaatan lampu TL menjadi berkurang disebabkan oleh minimnya faktor daya yang dihasilkan oleh ballast tersebut. Sebagai contoh, sebuah lampu TL 20W menggunakan ballast dengan faktor daya 0,370 sampai dengan 0,576 (tanpa menyebutkan *brand/ merk ballast*) merupakan pemborosan dalam konsumsi daya elektrik, karena daya yang diserap pada kenyataannya masih cukup besar, maksimalnya 54,05 VA dan minimalnya 34,72 VA. Pada kasus ini, pemborosan daya elektrik berkisar 73,61% sampai dengan 170,27%. Sehingga dapat dihitung pula pemborosan rupiah sebagai kompensasi pemakaian daya elektrik yang ber-

lebih yakni berkisar pada 73,61% sampai dengan 170,27%.

Awalnya telah diterapkan pemasangan kapasitor sebagai penghemat energi elektrik untuk penggunaan penerangan dari jenis lampu TL, akan tetapi kurangnya pengetahuan dari para pengguna/ konsumen dalam memilih rating kapasitor yang tepat justru dapat berbahaya bagi konsumen, misalnya kasus meledaknya kapasitor setelah dipasang dalam kurun waktu tertentu. Alternatif lain yang ditawarkan adalah berkembangnya lampu hemat energi, namun karena kebutuhan akan *profit* setiap perusahaan sebagai produsen lampu tersebut menjadikan kualitas yang dihasilkan kurang baik ataupun usia pakai yang relatif singkat.

Di sisi lain penggunaan rangkaian elektronik sebagai pengganti balast pada lampu TL yang akan didesain menawarkan tingkat penghematan konsumsi daya elektrik menurun sampai dengan 22,22 VA atau hanya menyimpang 11,11 % dari kapasitas pemanfaatan idealnya, pada kasus yang sama (lampu TL dengan kapasitas 20W). Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan dari segi teknis dalam hal faktor daya sampai dengan 0,9 (dari hasil hipotesis). Apabila dirata-rata tingkat pemborosan energi elektrik berkurang 90,67 %, tentu saja ini merupakan nominal yang sangat berarti dalam hal penghematan konsumsi daya elektrik. Sinergi dengan penghematan energi elektrik tersebut rupiah yang harus dibayarkan oleh konsumen berkurang rata-rata sampai 90,67 %. Demikian pula halnya dengan penghematan bahan bakar minyak dan gas sebagai bahan baku juga akan berkurang

secara linear mencapai angka tersebut.

Selain itu, keuntungan lain yang akan didapat dari alat yang akan didesain adalah adanya piranti pewaktu (*timer*) untuk mengendalikan waktu pemadaman atau waktu penyalaan lampu TL secara otomatis yang dapat diset atau ditetapkan oleh pengguna / konsumen. Sehingga pemborosan akibat kelalaian dari konsumen dapat dieliminir. Pokok permasalahan tentang perbaikan faktor daya *input* pada pemakaian lampu TL 10 W, 15 W dan 20 W, pengaruh rangkaian PFC dalam menghemat pemakaian energi elektrik pada lampu TL 10 W, 15 W dan 20 W, pengaruh pemakaian rangkaian PFC terhadap efisiensi sistem.

TINJAUAN PUSTAKA

Umum

Energi saving (penghematan energi) listrik merupakan *trend* teknologi yang berkembang saat ini. Baik kalangan industri, maupun peneliti terus mengembangkan berbagai cara atau alternatif metode untuk menghemat konsumsi energi elektrik. Di Indonesia, pemerintah melalui himbauan dari presiden RI hal tersebut memberi tendensi yang positif untuk perkembangan penelitian di bidang *energi saving*. *Electrical energi saving* (penghematan energi elektrik) melibatkan bidang ilmu yakni *power electronic*, khususnya *power quality*. Selain dengan mengurangi pemakaian energi listrik, penghematan energi listrik dapat dicapai dengan memperbaiki kualitas daya dari peralatan listrik maupun elektronik yang digunakan di gedung-gedung, pabrik, bahkan konsumen residensial. Penelitian ini difokuskan pada desain alat

pengganti *ballast* untuk mengurangi konsumsi energi elektrik pada lampu TL 10 W, 15 W, dan 20 W.

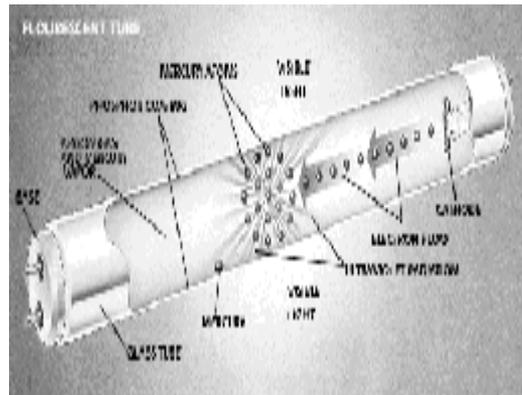
Lampu TL

Lampu TL biasa disebut juga lam-pu *neon* adalah jenis lampu yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat kita sebagai alat penerangan. Gambar 1 a dan Gambar 1 b me-nunjukkan sebuah lampu TL. Lampu TL bekerja dengan peralatan pe-ngawalan (*starter*) yang dipasang paralel dan *ballast* yang dipasang secara seri. Apabila sumber energi elektrik diberikan pada ujung – ujung terminal *input* lampu TL dengan konfigurasi seperti pada Gambar 2.1 b, maka arus ac akan mengalir melalui kumparan pada kutub - kutub lampu dan meng-hasilkan elektron - elektron yang akan berloncatan pada tabung kaca yang dilumuri *ZnS*. Dalam hal ini energi elektrik (*eV*) dikonversi men-jadi energi

kinetik (*J*) yang kemudian menjadi energi cahaya (*foton*) yang dapat dipendarkan oleh *ZnS*. Sinar ter-sebut menjadi cahaya elektrik yang berguna sebagai penerangan.(Bose, 1995: 121)



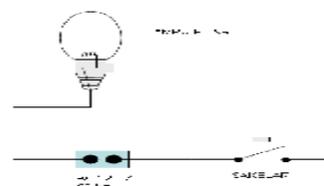
(a)



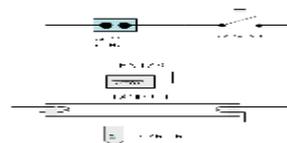
(b)

Gambar 1 Lampu TL. (*Fluorescent Lamp*. 2006: 1 dan 2)

Ada berbagai merk lampu TL yang beredar dipasaran. Umumnya lalmpu – lampu tersebut memiliki kapasitas daya yang standar yakni: 10 W, 15 W, 20 W , 40 W dan 60 W. Seperti pada lampu pijar (Gambar 2 a), semakin besar kapasitas dayanya maka semakin besar pula kuat penerangan (*Cd*) yang dihasilkan oleh lampu TL. Lampu TL relatif lebih awet dari lampu pijar, tetapi instalasinya lebih rumit (Gambar 2.2 b).



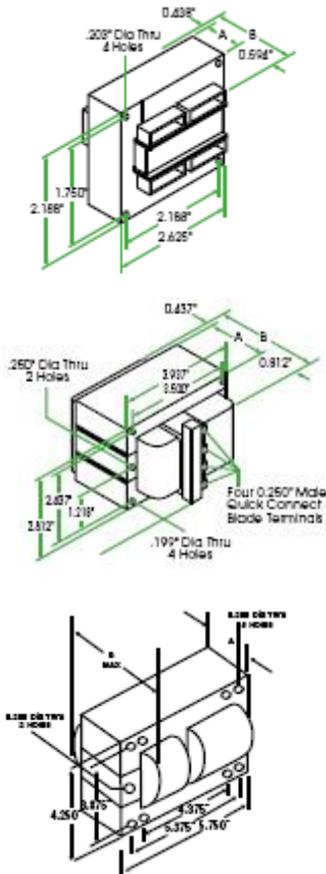
(a)



(b)

Gambar 2 Rangkaian instalasi lampu 220 V. (*Modern Power Electronics and AC Drives*. 2002, 8-13)(a) lampu pijar, (b) lampu TL

Lampu TL (*The fluorescent Lamp*) akan semakin efisien jika dioperasikan pada frekuensi tinggi. Pada frekwensi kerja (f_c) yang lebih besar dari 25 kHz efisiensi energi pada lampu tersebut akan meningkat 20 sampai 30 % jika dibandingkan dengan frekwensi kerja konvensional (kasus di Indonesia $f = 50\text{Hz}$). (Mohan, 1995 : 452)



Gambar 3 Ballast lampu TL. (*Hid Core & Coil Ballasts 50 Hz. 2006 : 5-37*)

Lampu TL memiliki karakteristik resistansi negatif, artinya lampu tersebut memerlukan induktor (*choke*) yang dipasang seri untuk menjaga kestabilan kinerjanya. Beberapa contoh *ballast* jenis induktor (*choke*) atau *magnetic ballast* diperlihatkan pada Gambar 3. Kinerja lampu TL secara umum dapat terlihat pada kurva karakteristiknya.

$$V_s = V_{ballast}^2 + V_{lampu\ TL}^2 \quad [1]$$

Daya Elektrik Dan Faktor Daya

Daya elektrik dikelompokkan menurut unsurnya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yakni daya nyata (Watt), daya reaktif (VAr) dan daya semu (VA). (Mismail, 1995: 183-193)

✚ Daya Nyata (Watt) merupakan daya rata-rata yang diserap oleh suatu unsur rangkaian yang bersifat resistif, sesuai persamaan berikut:

$$P = V_s \cdot I_s \cos \varphi \quad [2]$$

$$P = V_s^2/R = I_s^2/R \quad [3]$$

✚ Daya reaktif (VAr) adalah daya maksimum pada unsur rangkaian yang memiliki sifat reaktif. Daya reaktif bisa bernilai negatif ataupun positif tergantung pada faktor reaktifnya.

$$Q = V_s \cdot I_s \cdot \sin \varphi \quad [4]$$

$$Q = [V_s]^2/X \quad [5]$$

$$Q = P \tan [\cos^{-1} \varphi] \quad [6]$$

$$\varphi = \tan^{-1} (Q/P) \quad [7]$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = (2\pi L)/T \quad [8]$$

$$X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f \quad [9]$$

$$L) = T/(2\pi C)$$

f = frekwensi kerja (Hz)

T = perioda (s)

L = induktor (H)

C = kapasitor (F)

✚ Daya semu (VA) adalah resultan (vektor) daya nyata dan daya reaktif.

$$\mathbf{S} = V_s \cdot \mathbf{I}_s^* = P + jQ \quad [10]$$

atau

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [11]$$

$$S = V_s^2/Z = I_s^2/Z \quad [12]$$

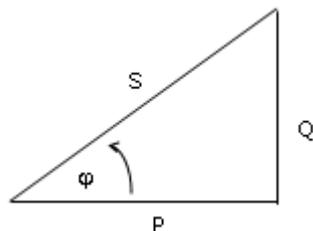
$$\mathbf{Z} = Z \angle \varphi \quad [13]$$

Sebagai distributor daya elektrik, PLN telah menetapkan standar pengelompokkan dalam pemanfaatan daya elektrik, dengan membagi menjadi 3 (tiga) kategori jenis daya elektrik, yakni:

✚ Daya terpasang. Daya terpasang menentukan kapasitas daya

elektrik yang terpasang pada konsumen dalam menetapkan besarnya abodemen pembayaran rekening listrik, misalnya 450 VA, 900 VA, 1300 VA, 2200 VA dan seterusnya.

- ✚ Daya terpakai. Daya terpakai merupakan daya yang dikonsumsi oleh konsumen energi elektrik, misalnya pada suatu rumah rata-rata perhari memakai 100 VA sehingga selama sebulan terakumulasi dalam kisaran rata-rata 3000 VA atau 3 KVA.
- ✚ Daya terbuang. Daya elektrik yang terpakai sebagai daya reaktif akibat faktor daya yang menyimpang dari nilai idealnya ($\cos \varphi = 1$), sehingga pada perhitungan konsumsi daya elektrik merupakan kerugian yang diderita oleh penyalur energi elektrik (PLN). Pada konsumen elektrik dengan daya terpasang diatas 2200 VA diwajibkan membayar rekening untuk daya terbuang.



Gambar 4 Segitiga daya (*Rangkaian Elektrik I. 1995 : 7.8*)

Analisa daya elektrik pada suatu rangkaian dapat dipermudah dengan menggunakan segitiga daya (*power triangle*) seperti pada Gambar 2.5. Segitiga daya tersebut mengindikasikan hubungan dari ketiga besaran daya elektrik, yakni: S, P dan Q.

Daya reaktif Q dapat direduksi dengan memasang filter aktif pada

Point of Common Coupling (PCC) (Gambar 2.6) untuk menginjeksikan arus kapasitif (I_c) (dalam hal ini arus filter (i_f)) pada rangkaian, sehingga diperoleh angka pengurangan daya reaktif pada nilai tertentu sesuai persamaan 17.

Faktor daya merupakan besaran yang menentukan kualitas daya yang tersalurkan ke beban elektrik. Idealnya faktor daya suatu rangkaian elektrik adalah 1. Hal ini berarti bahwa beban tersebut bersifat resistif murni. Namun pada kondisi praktis, sifat resistif murni suatu beban elektrik masih belum memungkinkan. Selain beban resistif murni (beban beban induktif dan kapasitif) menghasilkan faktor daya yang kurang dari satu, bahkan pada peralatan-peralatan elektrik seperti lampu TL yang menggunakan *ballast*, $\cos \varphi$ hanya dapat mencapai kisaran 0,370 sampai dengan 0,570.

Perbaikan Faktor Daya

Berbagai peralatan elektrik yang dihubungkan ke sumber daya elektrik untuk memberikan keluaran tertentu ditentukan oleh kebutuhan volt-ampere beban, karena keluarannya dipengaruhi langsung oleh faktor daya beban yang bersangkutan. Umumnya, perusahaan listrik memberikan suatu aturan tertentu dalam tarifnya yang menganjurkan para pelanggan memaksimalkan faktor daya pada beban terpasangnya. Dengan faktor daya maksimum, rugi-rugi daya karena resistansi saluran akan berkurang. Alasannya sebagai berikut: untuk memberikan daya yang sama besar diperlukan arus yang lebih besar bila faktor daya maksimumnya lebih rendah dari faktor daya beban. Rugi-rugi resistansi saluran sebanding

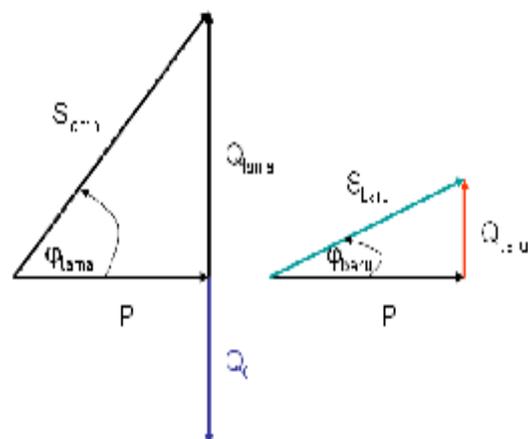
dengan pangkat dua arus yang mengalir dalam saluran, sehingga, rugi-rugi ini akan menjadi lebih kecil bila faktor dayanya tinggi. Perbaikan atau koreksi faktor daya tersebut dapat dilakukan dengan memasang kapasitor yang dihubungkan paralel dengan beban yang umumnya bersifat induktif seperti motor induksi, alat las, lampu TL, dan sebagainya. Perbaikan faktor daya dengan metode ini disebut dengan kompensasi fasa. (Mismail, 1995: 198-199)

Sebenarnya, sudut fasa dapat dikurangi sampai dengan nol, tetapi dengan alasan ekonomi, dalam praktek faktor daya cukup dibuat pada kisaran nilai 0,900 sampai dengan 0,950. (Mismail, 1995: 198-199). Hal ini dijelaskan sebagai berikut: Untuk membuat bahan resistif murni dengan faktor daya sama dengan 1 dibutuhkan peralatan berteknologi canggih yang memerlukan biaya sangat mahal.

Sebagai contoh lampu TL (Gambar 3 a) dengan kapasitas 20 W dengan faktor daya 0,370 terpasang pada tegangan PLN 220 V 50 Hz ingin dikoreksi faktor dayanya menjadi 0,750. Bila kasus tersebut diselesaikan dengan kompensasi fasa, maka akan diperoleh konfigurasi rangkaian seperti pada Gambar 2.7. Oleh karena kapasitor terpasang secara paralel, maka tegangan kerjanya akan tetap sebesar 220 V, hal ini mengacu pada Hukum Tegangan Kirchhoff. Injeksi arus kapasitif ke beban (lampu TL) menyebabkan daya reaktif lampu TL berkurang, sementara itu telah disebutkan sebelumnya bahwa pada perbaikan faktor daya, daya nyata yang dikonsumsi lampu TL besarnya tetap, yakni $P_{lama}=P_{baru}=P=20$ W.

Dalam contoh kasus ini, $\cos \phi_{lama} = 0,370$ dan $\cos \phi_{baru} = 0,900$. Jika Daya VA dihitung dengan persamaan 20 dan 21, maka akan diperoleh $VA_{lama} = S_{lama} = 54,05$ VA dan $VA_{baru} = S_{baru} = 26,67$ VA. Sedangkan untuk daya reaktif diperoleh $Q_{lama} = Q_L = 50,21$ VAR, $Q_{baru}=Q_T = 26,67$ VAR, dan daya reaktif yang disuplay oleh kapasitor ke sistem tersebut (Q_C) diperoleh dari persamaan berikut ini,

$$Q_C = Q_T - Q_L$$



Gambar 5 Diagram fasor kompensasi fasa dengan adaptasi (*Rangkaian Elektrik I. 1995 : 7.11*)

Analisis tentang daya dan perbaikan faktor daya dapat dipermudah dengan menggunakan segitiga daya pada Gambar 4. Saat koreksi faktor daya dilakukan dengan metode kompensasi fasa, maka diperoleh Gambar segitiga daya yang sedikit berbeda dengan Gambar 5.

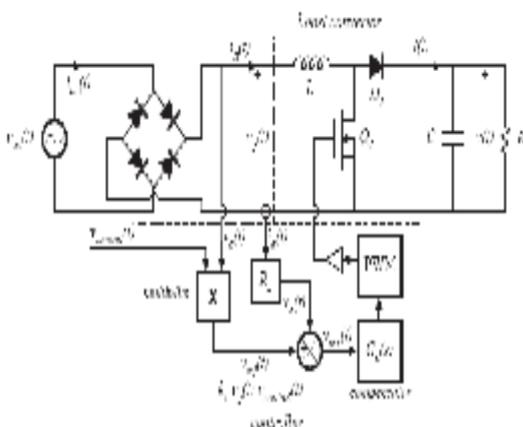
Persamaan 25 menghasilkan daya reaktif kapasitor, pada contoh kasus ini $Q_c = -32,58$ VAR. Diagram fasor pada Gambar 2.7 memperlihatkan bahwa $Q_{baru}= Q_T$ berkurang setelah dikompensasi fasanya, demikian halnya dengan beda fasa (ϕ) Beda fasa (ϕ) yang berkurang dari $68,32^\circ$ menjadi $41,43^\circ$. Hal ini dilaku-

kan demi pertimbangan pada pemilihan kapasitornya.

Rangkaian Elektronik PFC

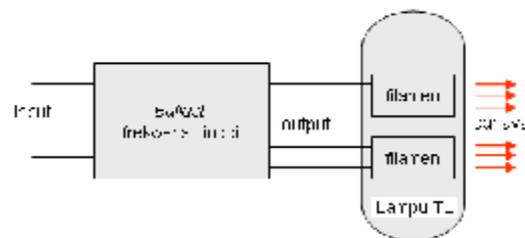
Khusus untuk Lampu TL, metode kompensasi fasa yang telah banyak dikenal untuk mendapatkan beda fasa yang kecil atau faktor daya hanya mampu mencapai 0,750 (dilakukan pada $f = 50\text{Hz}$). Metode lain yang banyak bermunculan sekarang adalah dengan mengoperasikan Lampu TL pada frekwensi tinggi.

Sebelumnya telah diuraikan bahwa efisiensi lampu TL akan meningkat bila dioperasikan pada frekwensi tinggi. Salah satu cara mengoperasikan lampu TL pada frekwensi tinggi adalah dengan membuat rangkaian konverter dc ke dc (*chopper*). Ada 4 jenis topologi rangkaian *chopper* yakni *buck*, *boost*, *buck-boost* dan *cuk*. Lampu TL memerlukan tegangan *starting* (pengawalan) yang relatif cukup besar, hal ini biasanya direalisasikan dengan menggunakan topologi rangkaian *chopper* jenis *boost* yang memiliki sifat menaikkan tegangan keluarannya.



Gambar 6. Topologi rangkain pengganti ballast (*Fundamentals of Power Electronics*, 2000: 10)

Rangkaian konverter *boost* merupakan alat konversi daya elektrik yang dapat bekerja secara elektronik mengatur besarnya tegangan keluaran dan arus keluaran sesuai nilai yang diinginkan. Beban R_L dapat berupa kumparan/filamen pada lampu TL sehingga keluaran pada rangkaian *Power Factor Correction (PFC)* berjumlah 4 terminal, masing masing untuk mencatu 4 terminal lampu TL (2 buah filamen). Hal ini diperlihatkan pada blok diagram pada Gambar 7.



Gambar 7 Blok diagram ballast frekwensi tinggi pada Lampu TL (*Power Electronics Converter, Application and Design.*, 2nd edition. 1995: 16-5)

Rangkaian *chopper boost* pada Gambar 2.8 terdiri atas 3 bagian penting, yakni: (1) penyearah jembatan dioda 1 fasa, (2) rangkaian *chopper* dan (3) rangkaian kendali *Pulse Width Modulation (PWM)*.

METODOLOGI

Metode Desain

Alat pengganti *ballast* lampu TL merupakan sebuah rangkaian elektronik yang didesain sebagai produk penelitian. Metode atau teknik yang digunakan untuk mendesain alat pengganti ballast lampu TL dibagi menjadi beberapa prosedur berikut ini,

- (1) mengidentifikasi masalah,
- (2) studi literatur,
- (3) membuat hipotesis,

- (4) menggambar blok diagram alat pengganti *ballast* lampu TL.
- (5) menentukan spesifikasi parameter rangkaian PFC.
- (6) membuat model matematis rangkaian PFC yang digunakan untuk simulasi.
- (7) mendesain produk penelitian,
- (8) melakukan simulasi terhadap model matematis rangkaian PFC,
- (9) melakukan analisis perbandingan antara lampu TL dengan *ballast* dan lampu TL dengan PFC.

Penafsiran awal nilai variabel bebas dan tak bebas disusun menjadi hipotesis penelitian. Hipotesis penelitian ini meliputi:

- ✚ Estimasi nilai perbaikan $\cos j$ menggunakan rangkaian PFC mencapai 0,75.
- ✚ Estimasi penghematan daya elektrik berkisar pada range 4,21 VA – 27,39 VA pada penggunaan lampu TL 10 W, 15 W dan 20 W.
- ✚ Estimasi prosentase penghematan pembayaran rekening listrik berkisar pada range 24,07 % sampai dengan 50,67 %.
- ✚ Alat diperkirakan dapat bekerja dengan efisiensi sebesar 0,75 sampai dengan 0,80.
- ✚ Timer dapat berfungsi dengan baik dalam mengatur waktu pemataman dan penyalaan lampu TL.

Hasil hipotesis pada tabel 3.1 dibuktikan dengan validasi data dari uji laboratorium dan uji simulasi. Hasil penafsiran awal (hipotesis) kemudian dibandingkan dengan hasil validasi sehingga menghasilkan penafsiran baru yang lebih akurat. Pro-

sentase tingkat kesalahan penafsiran dihitung berdasarkan rasio antara nilai aktual dikurangi nilai hipotesis terhadap nilai aktualnya. Hasil-hasil penafsiran tersebut dibandingkan dengan perhitungan teoritis dan dicari prosentase kesalahannya. Signifikansi hasil analisis perbandingan tersebut kemudian diuraikan menjadi kesimpulan hasil penelitian. Selain itu juga disimpulkan tentang penghematan pembayaran rekening listrik berdasarkan perhitungan yang mengacu pada tarif listrik PLN. Sedangkan kelemahan – kelemahan yang ditemukan dalam penelitian akan diuraikan menjadi saran-saran bagi perkembangan penelitian di bidang *energi saving*, khususnya penghematan energi elektrik pada pemakaian lampu TL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Karakteristik Lampu TL

Berdasarkan prosedur pada Bab III, diperoleh 4 (tiga) kelompok data, yakni: data hasil uji laboratorium lampu TL tanpa PFC, data hasil uji Lampu TL dengan PFC lampu TL dan data hasil uji rangkaian timer.

Data Hasil Uji Lampu TL Tanpa PFC

Uji laboratorium untuk lampu TL 10 W, 15 W dan 20 W yang menggunakan *ballast* (tanpa PFC) dengan teraan $\cos \phi = 0,370$; $\cos \phi = 0,440$; dan $\cos \phi = 0,570$ menghasilkan data arus listrik, tegangan listrik, daya listrik (W). Data hasil uji laboratorium tersebut di-muat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Uji Lampu TL tanpa PFC

No.	Lampu TL (W)	cos ϕ	I _s (A)	V _s (V)	P _{in} (W)	I _o (A)	V _o (V)
1	10	0,370	0,193	220	15,71	0,193	220
		0,440	0,173	220	16,75	0,173	220
		0,570	0,150	220	18,81	0,150	220
2	15	0,370	0,254	220	20,67	0,254	220
		0,440	0,225	220	21,78	0,225	220
		0,570	0,190	220	23,82	0,190	220
3	20	0,370	0,316	220	25,72	0,316	220
		0,440	0,277	220	26,81	0,277	220
		0,570	0,229	220	28,72	0,229	220

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa dengan perlakuan yang sama (variabel terkontrol berupa tegangan sumber 220 V dan frekwensi (f) 50 Hz) kombinasi 3 (tiga) jenis ballast menarik arus sumber (I_s) dengan magnitudo yang berbeda-beda sedangkan daya nyata yang diserap lampu tetap konstan sebesar 10 W. *Ballast* dengan cos ϕ = 0,370 menarik arus sumber sebesar 0,193 A. *Ballast* dengan cos ϕ = 0,440 menarik arus sumber sebesar 0,173 A. *Ballast* dengan cos ϕ = 0,570 menarik arus sumber sebesar 0,150 A. Arus sumber yang ditarik oleh lampu TL dengan kapasitas daya 10 W cenderung berkurang bila menggunakan ballast dengan teraan cos ϕ semakin besar. Hal ini juga berlaku untuk lampu TL dengan kapasitas daya elektrik 15 W dan 20 W.

Data Hasil Uji Lampu TL Dengan PFC

Nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk pada Cos ϕ meter yang terpasang pada rangkaian pengujian PFC (Gambar 3.3) dengan mengontrol variabel V_s = 220 V, f₁ = f_s = 50 Hz, δ = 1, menghasilkan data-data pengukuran seperti yang tertera pada Tabel 2 berikut ini,

Tabel 2 Data Hasil Uji Lampu TL Dengan PFC

No.	Lampu TL (W)	V _s (V)	cos ϕ	I _s (A)	P _{in} (W)	I _o (A)	V _o (V)
1	10	220	0,870	0,060	12,78	0,060	220
2	15	220	0,869	0,060	13,02	0,060	220
3	20	220	0,893	0,123	24,09	0,090	220

Hasil pengujian (Tabel 4.2) menunjukkan bahwa cos ϕ PFC bervariasi yakni 0,870; 0,869; dan 0,893. Selanjutnya cos ϕ PFC disebut dengan cos ϕ baru.

Uji laboratorium untuk lampu TL 10 W, 15 W dan 20 W yang menggunakan PFC dengan teraan cos ϕ = 0,870 menghasilkan data arus listrik, tegangan listrik, daya listrik (W). Data hasil uji laboratorium tersebut dimuat pada Tabel 4.3.

Hasil pengujian pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan perlakuan yang sama diperoleh data arus elektrik sumber yang ditarik oleh Lampu TL yang menggunakan PFC bertambah besar apabila daya lampu diperbesar. Hal ini terbukti dengan data amperemeter untuk I_s yang menunjukkan nilai 0,060 A untuk daya lampu TL 10 W; 0,095 A untuk daya lampu TL 15 W; 0,123 A untuk daya lampu TL 20 W.

Data Hasil Uji Rangkaian Timer

Hasil uji terhadap fungsi timer dicatat pada tabel 3. Pada pukul 18.30 hitungan timer alat akan mengalami state ON dan pukul 05.00 hitungan timer alat akan mengalami state OFF. Hal ini berlaku untuk ketiga jenis lampu TL.

Tabel 3 Data Hasil Uji Laboratorium Timer

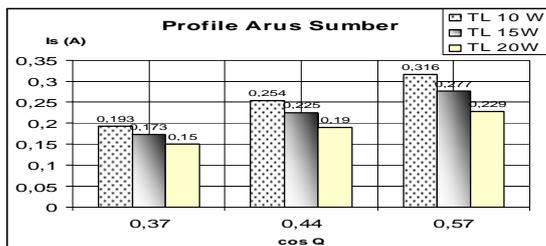
No.	Setting (j)	State
1	05.00	OFF
2	18.30	ON

Analisis Data

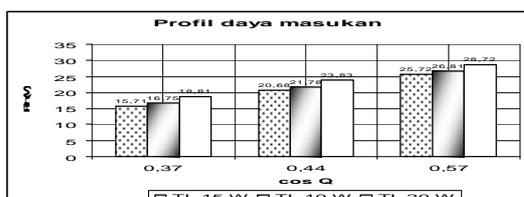
Validasi data-data variabel bebas dan variabel terikat pada pengujian karakteristik lampu TL sebelum dan sesudah menggunakan PFC adalah melalui Uji Laboratorium. Variabel - variabel yang diperlukan sebagai bahan analisis telah ditabulasi pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3.

Ada dua (2) hal penting yang akan dibandingkan telah disebutkan pada bab sebelumnya, yakni karakteristik lampu TL sebelum dan sesudah dipasang PFC. Tabel 4.1 menampilkan data variabel bebas, yakni V_s , dan variabel terikat yakni I_s , $\cos \phi$, P_o , V_o dan I_o untuk masing - masing lampu TL sebelum menggunakan PFC (masih menggunakan *ballast*).

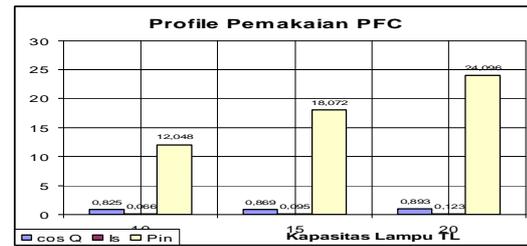
Tabel 4.2 menampilkan data variabel bebas, yakni V_s , dan variabel terikat yakni I_s , $\cos \phi$, P_o , V_o dan I_o untuk masing - masing lampu TL setelah menggunakan PFC. Jika data-data pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 dibandingkan maka akan diperoleh suatu hasil yang signifikan, seperti yang terlihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8 Grafik Profil arus masukan lampu TL tanpa PFC



Gambar 9 Grafik Profil daya masukan lampu TL tanpa PFC



Gambar 10 Grafik Profil lampu TL dengan PFC

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan arus sumber (I_s) dan daya masukan (P_{in}) apabila $\cos \phi$ ballast diperbesar untuk berbagai kapasitas Lampu TL. Gambar 3 menunjukkan adanya

Berdasarkan persamaan – persamaan pada Bab II, dapat diperoleh variabel - variabel tak bebas yang meliputi; daya semu (S), selisih daya semu (ΔS), daya reaktif (Q) atau daya terbuang, energi elektrik (E). Berikut ini adalah cara memperhitungkan nilai dari masing-masing variabel tersebut. Pada lampu TL dengan daya 10 W tanpa PFC (acuan Tabel 4.1):

- $\cos \phi = 0,370$ diperoleh

$$S_{lama} = V_s \cdot I_s = 220 \cdot 0,193 = 42,06 \text{ VA}$$

$$\phi = \cos^{-1} (\cos \phi) = \cos^{-1} (0,370) = 68,28^\circ$$

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)} = \sqrt{(4206^2 - 15,7^2)} = 3945 \text{ VAR}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai variabel – variabel S , ϕ , dan Q untuk Lampu TL 15 W, 20 W dengan $\cos \phi = 0,440$ dan dengan $\cos \phi = 0,5370$. Hasil perhitungan tersebut dimuat dalam tabel 4. Demikian pula halnya dengan lampu TL dengan PFC.

PENUTUP

Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini, yakni:

Faktor daya pada penggunaan Lampu TL dengan kapasitas daya 10 W, 15 W dan 20 W dapat diperbaiki dengan menggunakan rangkaian PFC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian PFC dapat menggantikan fungsi ballast lampu TL dengan menghasilkan $\cos \phi$ pada kisaran 0,825 (82,50%) sampai dengan 0,893 (89,3%). Hasil ini melebihi kisaran hipotesis penelitian yakni 0,700 (70%) sampai 0,800 (80%).

Penggunaan PFC dapat menghemat daya listrik yang terbuang pada masing-masing lampu TL mencapai 79,03 % untuk TL 10 W, 80,19% untuk TL 15W, dan 81,24% untuk TL 20 W. Hal ini berarti juga mencegah pemborosan daya listrik untuk penerangan dengan prosentase yang sama dengan daya terbuangnya.

Penggunaan PFC dapat menyebabkan kenaikan efisiensi sistem mencapai sampai mencapai 83 %, lebih tinggi 5,24% dari efisiensi sistem maksimum jika menggunakan ballast.

Saran

Performasi rangkaian PFC, pengaruh rugi-rugi switching merupakan dua buah variabel yang perlu diteliti lebih lanjut dalam merencanakan sebuah rangkaian PFC sebagai alternatif pengganti ballast lampu TL. Uji coba selanjutnya dapat menggunakan beban lampu TL 60 W.

DAFTAR RUJUKAN

- . 2003.SG 2524, SG 3524 *Regulating Pulse-Width Modulators*. Texas: Texas Instruments Incorporated
- , 2002. *Switchmode Power Supplies Reference Manual and Design Guide*. Colorado: Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC).
- Adams, J. 2001. *Flyback Transformer Design for the IRIS40xx Series*. California: International Rectifier.
- Adams, J. 2001. *Bootstrap Component Selection For Control IC's*. California: International Rectifier.
- Bose, B. K. 2002. *Modern Power Electronics and AC Drives*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Caspian. 2004. *Power Factor Correction (PFC) Modules*. Sunnyvale: RO Associates, Inc.
- Chew, M. H. 2002. *Design of Power Factor Correction Circuit Using Greenline Compact Power Factor Controller MC33260*. Colorado: Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC).
- Chey, C., Parry, J. 2003. *Managing Transients in Control IC Driven Power Stages*. California: International Rectifier.
- Chwirka, S. 2000. *Power Converter Design Using the Saber Simulator*. Beaverton: Analogy, Inc.
- Contenti, C., Sekine, M., Green, P. 2002. *Universal Input Dual Lamp Ballast Series Configuration for T8/32W and T8/36W*. California: International Rectifier.
- Erickson, Robert W. 2000. *Fundamentals of PowerElectronics*.

- Boulder: University of Colorado.
- Green, P. 2004. *Low Voltage DC Supply Dimmable Ballast for 1 x 36W T8 Lamp*. California : International Rectifier.
- Green, P. 2004. *Isolation method for 1-10V controlled ballast based on the IR21592*. California : International Rectifier.
- Grelet, G., and G. Clerc. 1997. *Actionneurs électriques*. Paris: Éditions Eyrolles.
- Mismail, B. 1995. *Rangkaian Listrik I*. Bandung: Penerbit ITB.
- Mohan, N., Underland, T., Robins, W.P. 1995. *Power Electronics Converter, Application and Design., 2nd edition*. Canada: John Weley & Sons.
- Rossetto, L., Tenti, P., Spiazzi, G. 2000. *Boost PFC with 100-Hz Switching Frequency Providing Output Voltage Stabilization and Compliance with EMC Standards. IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 36, No. 1, January/February*.
- Ribarich T., Thompson E., Mathur A. 2000. *Dual Lamp Ballast Parallel Configuration*. California: International Rectifier.
- Ribarich T., Thompson E. 2000. *T5 Lamp Ballast Using Voltage-Mode Filament Heating*. California : International Rectifier.
- Ribarich, T. J., Ribarich, J. J. 1998. *A New Control Method for Dimmable High-Frequency Electronic Ballasts*. California : International Rectifier.
- Rashid, Muhammad H. 2000. *Power Electronics Circuit, Devices, and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Stenerson, J. 1999. *Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensor, and Commu- nications, 2nd edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Tood, P. C., 1999. *Boost Power Factor Corrector Design With The UC3853*. Merrimack: Texas Instruments Inc.
- Tood, P. C., 1999. *UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design*. Merrimack: Texas Instruments Inc.
- Tenti, P. , Spiazzi, G. 1995. *Harmonic Limiting Standards and Power Factor Correction Techniques*. Padova: Department of Electronics and Informatics University of Padova.
- Zuhal. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.