

Rangkaian Dimmer Pengatur Iluminasi Lampu Pijar Berbasis *Internally Triggered* TRIAC

Herlan
Bidang Komputer
Pusat Penelitian Informatika LIPI
herlan@informatika.lipi.go.id

Briliant Adhi Prabowo
Bidang Komputer
Pusat Penelitian Informatika LIPI
briliant@informatika.lipi.go.id

Abstrak

Salah satu implementasi piranti semikonduktor adalah untuk rangkaian dimmer yang dapat digunakan pada pengaturan iluminasi lampu pijar. Pengaturan iluminasi pada lampu AC memiliki kompleksitas yang berbeda dengan lampu dc. Metode yang digunakan adalah dengan pengaturan sudut fasa penyalan gelombang AC dengan piranti semikonduktor sejenis TRIAC dan DIAC. Pada percobaan ini digunakan piranti *Internally Triggered* TRIAC sebagai inti rangkaian dimmer. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh sistem yang responsif terhadap iluminasi sebuah lampu pijar, melalui pengaturan Tegangan Root Mean Square. Dengan menggunakan *Integrally Triggered Triac* rangkaian dimmer memiliki respon yang signifikan terhadap pengaturan iluminasi lampu pijar.

Kata kunci: TRIAC, dimmer, iluminasi, Lampu Pijar

1. Pendahuluan

Pengaturan iluminasi cahaya lampu pijar pada sumber tegangan searah (DC/Direct Current) cukup sederhana untuk diimplementasikan hanya dengan pengaturan tegangan menggunakan variabel resistor. Berbeda dengan implementasi pada rangkaian dengan sumber arus bolak-balik (AC/ Alternating Current) diperlukan sebuah rangkaian dimmer untuk pengaturan iluminasi lampu pijar.

Prinsip dari sebuah rangkaian dimmer adalah dengan pengaturan fasa penyalan tegangan AC yang melintasi beban.

Pada sebuah gedung, pencahayaan memberi kontribusi sebesar 20-60% dari total konsumsi pemakaian daya listrik. [1] Oleh karena itu, penghematan pada pemakaian pencahayaan memegang peranan yang cukup signifikan. Penghematan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah dengan mengendalikan jumlah pemakaian lampu berdasarkan keberadaan pengguna dalam ruangan dan mengendalikan iluminasi pencahayaan pada sebuah ruangan, sehingga

ruangan mendapat pencahayaan yang cukup, tidak berlebihan ataupun kekurangan yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan.

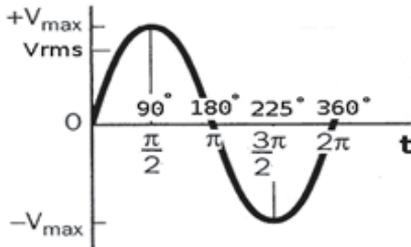
Pengaturan iluminasi pada sebuah lampu dengan tegangan AC dipengaruhi oleh impedansi lampu tersebut, dimana pengaturan impedansi akan mempengaruhi, arus, tegangan dan frekuensi tegangan yang melintasi lampu. Dengan pengaturan impedansi maka pengaturan iluminasi lampu dapat dilakukan. [2]

Pengendalian pencahayaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penggunaan energi cahaya dan waktu operasi sebuah lampu, bahkan pada bangunan nonoffice penerapan pengendalian pencahayaan dapat menghemat energy mencapai 37%. [3] Paper ini akan memaparkan rangkaian dimmer untuk pengaturan iluminasi lampu pijar dengan menggunakan *Internally Triggered Triac* Q4004LT.

2. Landasan teori

2.1 Tegangan AC Satu Phasa

Tegangan AC satu phasa apabila dilihat dalam sebuah oscilloscope berdasarkan grafik pada kawasan waktu (t) terhadap tegangan (v) dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk gelombang tegangan ac ideal.

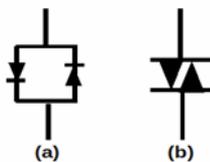
Dimana:

$$V(t) = V_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (1)$$

sedangkan V_{rms} untuk sinyal sinus ideal

$$V_{rms} = \frac{V(t)}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

V_{rms} merupakan Voltage Root Mean Square, dimana secara sederhana dapat diartikan sebagai tegangan rata-rata berdasarkan kawasan waktu (t) yang menghasilkan daya ekuivalen dengan tegangan dc pada level tersebut.¹ Dalam penggunaan secara umum, tegangan AC di Indonesia bernilai 220 V, nilai 220 V tersebut merupakan nilai tegangan V_{rms} . Artinya daya yang dihasilkan dari tegangan tersebut sebanding dengan daya yang dihasilkan dari tegangan 220 Vdc.



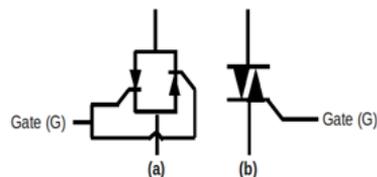
Gambar 2 Diac :
(a) Rangkaian ekuivalen.
(b) Simbol Rangkaian

Berdasarkan teori tersebut maka daya pada beban dapat diatur dengan pengaturan V_{rms} pada tegangan AC, yaitu dengan pengaturan phasa saat penyalaan gelombang sinusoidal. Komponen yang dapat kita gunakan adalah Internally Triggerred Triac Q4004LT.

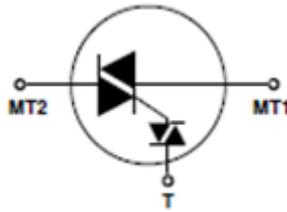
2.2 DIAC dan TRIAC

DIAC dan TRIAC merupakan piranti *thyristor bidirectional* yang memungkinkan untuk diimplementasikan pada rangkaian arus bolak-balik. Karakteristik dari DIAC memiliki arus penahan dalam salah satu dari dua arah yang mungkin dari terminalnya.² DIAC tidak akan menghantarkan arus sebelum batas tegangan *breakdown* terlampaui oleh tegangan pada terminal-terminalnya. Prinsip dari DIAC dapat diilustrasikan dengan dua buah dioda yang terpasang secara paralel dan berlawanan arah seperti pada Gambar 2 (a), dimana arus dapat dialirkan secara bolak-balik setiap melewati batas tegangan *breakdown*. Sedangkan simbol untuk DIAC ditunjukkan seperti pada Gambar 2 (b).

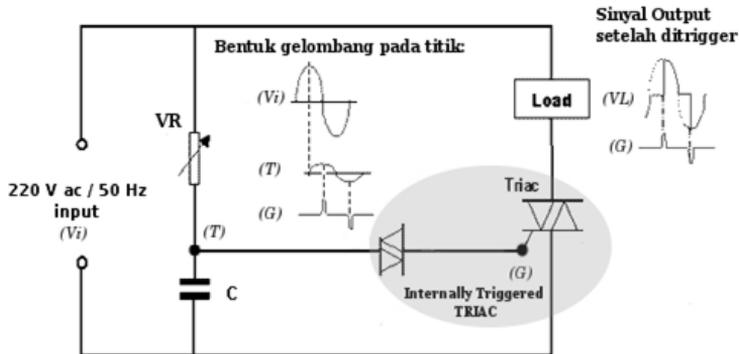
Sedangkan TRIAC merupakan tipe SCR (Silicon Controlled Rectifier) yang bekerja secara bidirectional.² Berbeda dengan DIAC yang dapat digunakan sebagai konduktor dilakukan dengan menaikkan tegangan terminal hingga di atas tegangan *breakdown*, pada TRIAC terdapat sebuah terminal Gate (G) yang digunakan untuk pemicu (trigger) prategangan maju. Ilustrasi rangkaian ekuivalen dari TRIAC ditunjukkan seperti pada gambar 3 (a), sedangkan simbol elektronisnya ditunjukkan pada Gambar 3 (b).



Gambar 3 Triac
(a) Rangkaian ekuivalen.
(b) Simbol Rangkaian



Gambar 4 Internally Triggered TRIAC (IT TRIAC) 3



Gambar 5 Analisa rangkaian dimmer

2.3 Internally triggered TRIAC

Internally triggered TRIAC merupakan komponen elektronika terintegrasi yang terdiri dari DIAC dan TRIAC. Simbol rangkaian untuk *Internally triggered* TRIAC ditunjukkan seperti pada Gambar 4, dimana di dalam sebuah TRIAC pemicu tegangan maju pada terminal T, dilewatkan terlebih dahulu melalui DIAC. Sehingga tegangan AC yang terhubung di MT1 dan MT2 dapat kita atur sudut fasa penyalan sinusoidal. Apabila tegangan di titik T, kita berikan tegangan AC dengan frekuensi yang sama dengan tegangan AC yang melintasi MT1 dan MT2, TRIAC akan merespon sudut fasa penyalan sinusoidal sesuai dengan *breakdown voltage* yang dilakukan pemicu pada DIAC.

3. Perancangan dimmer

Pada penelitian yang dilakukan akan digunakan Internally Triggered TRIAC pabrikan *Quadrac* dengan tipe Q4004LT. Piranti tersebut diproduksi dengan tujuan utama untuk saklar AC dan aplikasi

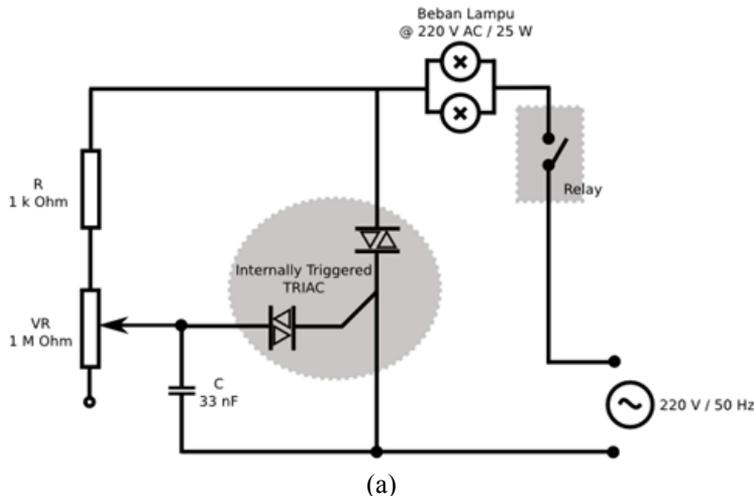
pengontrolan fasa seperti kontrol kecepatan motor AC, kontrol modulasi temperatur, kontrol pencahayaan dimana diperlukan pengaturan iluminasi.

Analisa rangkaian dimmer yang dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 5.

Dari rangkaian tersebut dapat kita analisa, pada tegangan AC sumber sebesar 220 V dengan frekuensi 50 Hz akan melewati resistor variabel untuk pengaturan amplituda dari sinusoidal yang akan menjadi pemicu prategangan IT TRIAC. Sedangkan kapasitor C pada rangkaian tersebut akan menyebabkan adanya pergeseran fasa antara pra tegangan pada terminal T dengan tegangan sumber V_i . Pergeseran fasa tersebut terjadi karena terdapat delay waktu pengisian dan pengosongan kapasitor. Waktu pengisian dan penosongan kapasitor C juga dipengaruhi oleh nilai VR, karena VR mempengaruhi besarnya arus yang masuk ke dalam Kapasitor. Sehingga resistor variabel VR memiliki dua peranan, yaitu untuk mengatur pergeseran fasa sekaligus amplituda gelombang sinusoidal untuk pra tegangan IT TRIAC.

Gelombang sinusoidal dengan perubahan amplituda dan fasa tersebut akan melewati DIAC di dalam IT TRIAC dan ketika melewati level tegangan *breakdown* akan dilewatkan sinusoidal yang akan memicu TRIAC seperti diilustrasikan pada tegangan prategangan pemacu.

di titik *G*. Dari gelombang sinus tersebut berupa sinusoidal dengan sudut penyalaan pada fasa sesuai pergeseran fasa pada .sinyal V_i yang melewati Beban Lampu akan mengalami perubahan bentuk gelombang,



(a) Rangkaian schematic
(b) implementasi rangkaian

Gambar 6 Rangkaian Dimmer

4. Hasil pengukuran dan pembahasan

Rangkaian dimmer yang digunakan pada penelitian ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 6.

Pada rangkaian dimmer tersebut, digunakan dua buah lampu 220 V/50 Hz dengan daya 25 W, dengan asumsi

diujicobakan pada bidang ruangan 80 cm x 60 cm x 30 cm dengan iluminasi cahaya difraksi dari luar area adalah 2,79 lux.

Hasil pengukuran pada percobaan ini, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Perubahan Phasa, Vrms, dan Iluminasi

No	Phasa	Vrms (V)	Iluminasi (Lux)
1	0°	209.9	416
2	5°	208.32	405.5
3	10°	206.61	394.9
4	15°	205.13	384.4
5	20°	203.33	373.9
6	25°	201.70	363.4
7	30°	200.42	352.5
8	35°	198.91	341.6
9	40°	198.11	330.6
10	45°	197.12	321.3
11	50°	192.52	300.1
12	55°	187.97	278.7
13	60°	183.43	247.3
14	65°	178.82	226.1
15	70°	174.25	204.7
16	75°	169.68	183.6
17	80°	165.12	162.1
18	85°	160.62	140.7
19	90°	156.02	120.4

No	Phasa	Vrms (V)	Iluminasi (Lux)
20	95°	148.06	107.9
21	100°	140.11	95.5
22	105°	132.21	83.1
23	110°	124.25	70.6
24	115°	116.36	58.2
25	120°	108.41	45.7
26	125°	100.21	33.3
27	130°	92.55	20.8
28	135°	84.6	8.34
29	140°	70.3	7.4
30	145°	60.5	6.5
31	150°	50.2	5.6
32	155°	38.2	4.6
33	160°	25.4	3.6
34	165°	21.4 m	2.79
35	170°	20.2 m	2.79
36	175°	20.0 m	2.79
37	180°	19.7 m	2.79

4.1 Perubahan gelombang sinus dari penyalan phasa 0° sampai 180°

Perubahan Gelombang sinusoidal yang melintasi beban lampu pijar, dapat ditunjukkan pada Gambar 7.

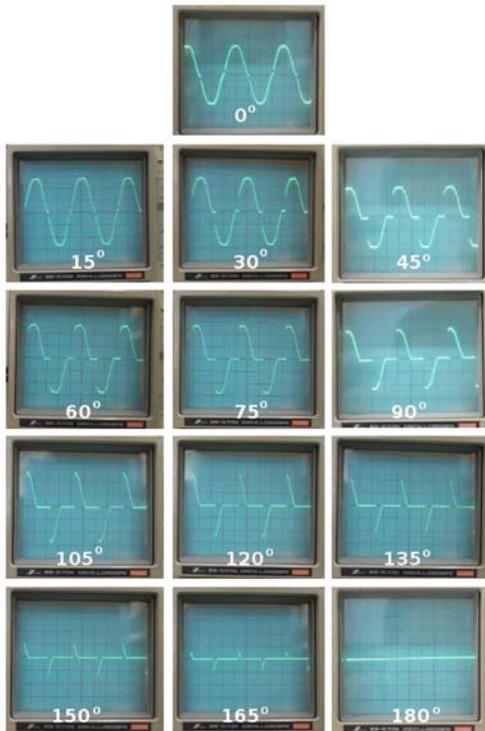
Dari perubahan sinyal tersebut dapat kita perhatikan bahwa penyalan gelombang sinus bergeser sesuai pengaturan phasa antara 0o sampai 180o . Pengaruh perubahan bentuk gelombang sinus dapat kita perhatikan pada Tabel 1, akan mempengaruhi nilai Vrms yang melintasi beban lampu pijar. Sehingga iluminasi dari lampu pijar dapat diatur.

4.2 Penyalaan sinusoidal phasa 0°

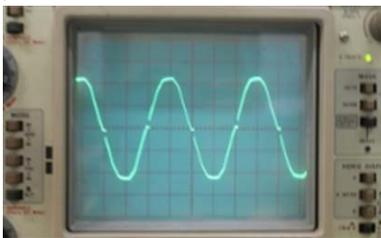
Penyalan phasa 0o gelombang sinus yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan oscilloscope merupakan sinusoidal yang mendekati ideal. Capture bentuk sinyal sinusoidal penyalan pada phasa 0o dapat dilihat seperti pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 tersebut dapat dilihat bahwa output sinusoidal yang dihasilkan sedikit cacat pada bagian sumbu x, hal tersebut dikarenakan sinyal sinusoidal pada rangkaian dimmer melewati rangkaian

Resistor-Capacitor (Rangkaian RC) dimana impedansinya tidak dapat mencapai nilai ideal pada kondisi penuh yaitu 0Ω . !



Gambar 7 Perubahan bentuk gelombang sinusoidal terhadap penyalan sudut fasa.



Gambar 8 Output sinyal pada penyalan fasa 0°

Pada kondisi tersebut hasil pengukuran yang diperoleh adalah sebagai berikut:

V_{rms} pada beban lampu 209,9 V. Penurunan nilai ideal tersebut dari 220 V efek rangkaian RC, dimana impedansi minimumnya tidak mencapai nilai ideal. Iluminasi yang dihasilkan pada kondisi tersebut 416 Lux.

Dengan analisa tersebut, iluminasi (E) maksimum yang dapat dicapai oleh beban

lampu pada rangkaian dimmer tersebut adalah :

$$\begin{aligned} E &= E_{ukur} - E_{dif} & (3) \\ &= 416 \text{ Lux} - 2.69 \text{ Lux} \\ &= 413.31 \text{ Lux.} \end{aligned}$$

Dimana,

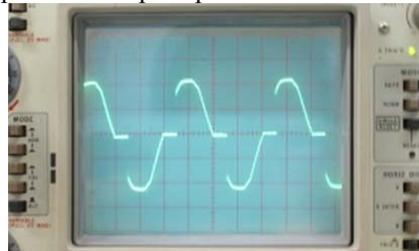
E : Iluminasi riil lampu pijar

E_{ukur} : Iluminasi lampu hasil pengukuran dengan Lux meter

E_{dif} : Iluminasi pengukuran cahaya difraksi dari luar ruangan.

4.3 Penyalan sinusoidal fasa 45°

Hasil pengukuran gelombang sinus yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan oscilloscope pada penyalan fasa 45° dapat dilihat seperti pada Gambar 9

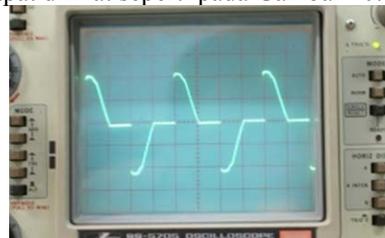


Gambar 9 Output sinyal pada penyalan fasa 45°

Pada saat pengukuran gelombang sinusoidal dengan penyalan pada fasa 45°, V_{rms} yang dihasilkan 197.1 V. Sedangkan iluminasi hasil pengukuran cahaya lampu 321.3 lux atau iluminasi riil sebesar 318.51 lux. Atau mengalami penurunan iluminasi sebesar 22.94 %.

4.4 Penyalan sinusoidal fasa 90°

Hasil pengukuran gelombang sinus yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan *oscilloscope* pada penyalan fasa 90° dapat dilihat seperti pada Gambar 10.

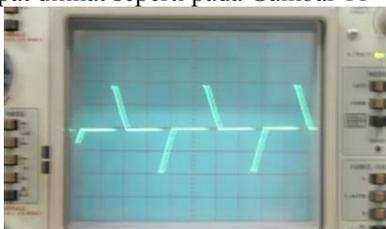


Gambar 10 Output sinyal pada penyalan fasa 90°.

Pada saat pengukuran gelombang sinusoidal dengan penyalan pada fasa 90°, V_{rms} yang dihasilkan 156.1 V. Sedangkan iluminasi hasil pengukuran cahaya lampu 120.4 lux atau dengan persamaan(3) iluminasi riil dapat dihitung sebesar 117.61 lux. Atau mengalami reduksi iluminasi sebesar 71.73 %.

4.5 Penyalan sinusoidal fasa 135°

Hasil pengukuran gelombang sinus yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan *oscilloscope* pada penyalan fasa 135° dapat dilihat seperti pada Gambar 11



Gambar 11 Output sinyal pada penyalan fasa 135°.

Pada saat pengukuran gelombang sinusoidal dengan penyalan pada fasa 135°, V_{rms} yang dihasilkan 84.6 V. Sedangkan iluminasi hasil pengukuran cahaya lampu 8.34 lux atau dengan persamaan(3) iluminasi riil dapat dihitung sebesar 5.55 lux. Sehingga pada penyalan fasa tersebut lampu pijar mengalami reduksi iluminasi sebesar 98.67 %.

4.6 Penyalan sinusoidal fasa 180°

Hasil pengukuran gelombang sinus yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan *oscilloscope* pada penyalan fasa 180° dapat dilihat seperti pada Gambar 12.

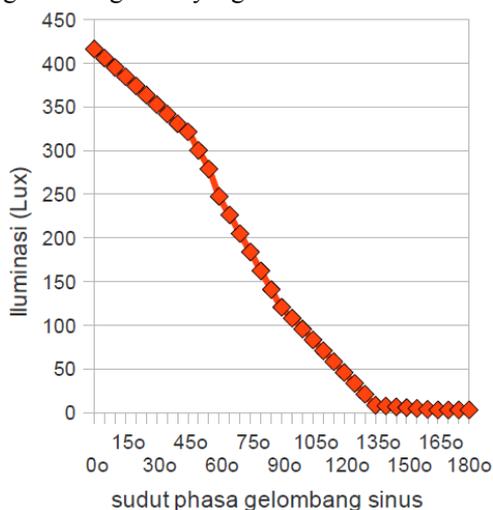


Gambar 12 Output sinyal pada penyalan fasa 180°.

Pada saat pengukuran gelombang sinusoidal dengan penyalan pada fasa 180°, V_{rms} yang dihasilkan 19.7 mV. Sedangkan iluminasi hasil pengukuran cahaya lampu 2.79 lux atau bisa dikatakan pada kondisi tersebut lampu pijar sudah tidak menghasilkan cahaya iluminasi yang mempengaruhi cahaya di dalam ruangan tempat melakukan ujicoba.

4.7 Penyalan sinusoidal fasa 180°

Dari data pengukuran hasil pengujian, dapat ditampilkan grafik respon iluminasi lampu pijar terhadap perubahan bentuk gelombang sinus yang melintasi beban.



Gambar 13 Grafik respon perubahan iluminasi lampu pijar terhadap perubahan penyalan fasa gelombang sinus.

Dari grafik respon perubahan iluminasi terhadap sudut fasa, dapat diperhatikan, bahwa respon grafik tidak linier. Hal tersebut disebabkan karena komponen resistro variabel (VR) yang digunakan untuk pengaturan perubahan sudut fasa tidak memiliki perubahan yang linier pula. Selain faktor komponen VR, V_{rms} juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik gelombang sinus sempurna, dimana pergeseran setiap sudut fasa respon V_{rms} juga tidak linier konstan. Sehingga grafik iluminasi yang dihasilkan tidak linier sempurna.

Dari data pengukuran iluminasi juga dapat dianalisa lebih lanjut, pada sudut penyalan fasa 135° tegangan Vrms sudah tidak mampu mempengaruhi iluminasi lampu pijar meskipun nilai tegangan masih terdeteksi pada orde milivolt.

5. Kesimpulan

Rangkaian dimmer berbasis Internally Triggered TRIAC Q4004LT yang dilakukan pada penelitian ini memiliki respon yang signifikan terhadap perubahan iluminasi lampu pijar AC, yang dilakukan dengan pengaturan penyalan sudut fasa gelombang sinus.

Pada penelitian selanjutnya perlu pemilihan variabel resistor dengan sensitifitas lebih tinggi dan perubahan yang lebih linier, sehingga respon perubahan iluminasi juga dapat menunjukkan grafik yang lebih linier. Pengaturan VR dapat dilakukan pula secara digital, sehingga pengaturan iluminasi cahaya lampu pijar dapat diimplementasikan dengan *digital controller*.

6. Daftar Pustaka

- [1] Energy Sustainability Unit, "Technical Guide Towards Energy Smart Office", National University of Singapore, 1999.
- [2] Guan Chyun Hsieh and friends, "Experimental Study on the behavior of a Fluorescent Lamp with Dimmer Control", The 7th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, 1996.
- [3] Jennings, *Residential Lighting: The Data to Date*, "Journal of the Illuminating Engineering Society of North America", 1997.
- [4] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995.
- [5] Malvino, Albert Paul, *Aproksimasi rangkaian Semikonduktor*, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [6] Teccor electronic, *Quadrac Internally Triggered TRIAC Q4004LT*, Thyristor Product Catalog, www.teccor.com akses 1 Oktober 2009.