

# KONVERTER AC-AC SATU FASA BERBASIS MIKROKONTROLLER

Susatyo Handoko  
Agung Nugroho

**Abstrak :** Konverter ac-ac merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan keluaran ac variabel dari sumber ac tetap. Jika sebuah saklar semikonduktor dihubungkan antara sumber ac dan beban, aliran energi dapat dikontrol oleh variasi nilai rms dari tegangan ac yang dipakai oleh beban. Penelitian ini membahas tentang konverter ac-ac satu fasa dengan menggunakan triac serta memanfaatkan mikrokontroller sebagai penghasil pulsa pemicuannya. Pengujian modul konverter ini dilakukan untuk memperoleh tegangan keluaran AC variabel.

**Kata kunci :** mikrokontroller, konverter AC-AC

Elektronika daya dapat didefinisikan sebagai penerapan elektronika *solid-state* untuk pengendalian dan konversi tenaga elektrik. Saling berkaitan antara energi, elektronika dan pengendalian Elektronika daya dengan mudah dapat dilihat aplikasinya pada teknologi modern yang sekarang ini digunakan begitu banyak variasi produk dengan daya tinggi, mencakup pengendalian suhu, pengontrolan pencahayaan, pengendalian motor, catu daya sistem populasi dan sistem *High Voltage Direct Current*.

Rangkaian konverter ac-ac merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan keluaran ac variabel dari sumber ac tetap. Jika sebuah saklar thyristor dihubungkan antara sumber ac dan beban, aliran energi dapat dikontrol oleh variasi nilai rms dari tegangan ac yang dipakai oleh beban dan jenis rangkaian ini disebut sebagai pengontrol tegangan ac (*ac voltage controller* atau *ac regulator*). Aplikasi yang sering digunakan dari pengontrol tegangan ac adalah pemanas industri, pengubahan tap pada trafo beban, kontrol lampu, pengontrol kecepatan pada motor induksi banyak fasa dan pengontrol magnet ac. Untuk transfer energi, dua jenis pengontrol biasanya digunakan yaitu kontrol on-off dan kontrol sudut fasa

Pada kontrol on-off, saklar menghubungkan beban dengan sumber ac selama beberapa putaran tegangan masukan dan diputus selama

beberapa putaran yang lain. Kontrol on-off menggunakan saklar dengan *self-commutated* seperti *Gate Turn-off Thyristors* (GTOs), transistor daya, *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBTs) dan *MOS-controlled Thyristors* (MCTs). Pada kontrol fasa, saklar menghubungkan beban dengan sumber AC untuk setiap bagian dari putaran tegangan masukan. Kontrol fasa menggunakan silicon controlled rectifier (SCR) atau triac

Pengontrol tegangan ac dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu pengontrol satu fasa dan pengontrol tiga fasa. Tiap jenis dapat dibagi lagi menjadi semi terkontrol dan terkontrol penuh. Ada bermacam konfigurasi dari pengontrol tiga fasa tergantung pada hubungan saklar thyristor.

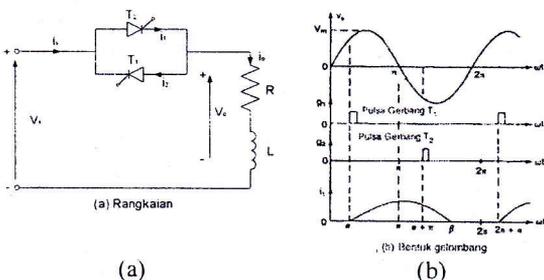
Dalam makalah ini akan dibahas konverter ac-ac dengan pengaturan sudut fasa pada sistem satu fasa untuk terkontrol penuh yang menggunakan satu buah *TRIAC* dimana pemicuannya dilakukan oleh mikrokontroller. Untuk pengambilan data pada model konverter ini digunakan beban lampu pijar sebagai beban resistif dan motor induksi satu fasa sebagai beban induktif.

## DASAR TEORI

### Konverter AC-AC

*Susatyo Handoko, Agung Nugroho (susatyo.agungn@elektro.ft.undip.ac.id) adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip) Semarang Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang Semarang 50275*

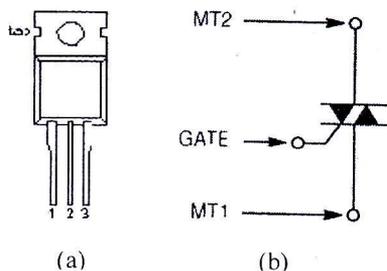
Konverter ac-ac dengan sebuah beban RL ditunjukkan pada gambar 2-1a. Dapat pula thyristor tersebut diganti dengan triac, karena sifat antiparalel thyristor sama dengan sifat triac. Diasumsikan thyristor  $T_1$  firing pada waktu setengah siklus positif dan membawa arus beban. Karena induktansi pada rangkaian, arus thyristor  $T_1$  tidak akan jatuh menuju nol pada  $\omega t = \pi$ , ketika tegangan masukan menjadi negatif. Thyristor  $T_1$  akan terus terhubung sampai arus  $i_1$  jatuh menjadi nol pada  $\omega t = \beta$ . Sudut konduksi thyristor  $T_1$  adalah  $\delta = \beta - \alpha$  dan bergantung pada sudut tunda  $\alpha$  dan sudut factor daya beban  $\theta$ . Bentuk gelombang untuk arus thyristor, pulsa-pulsa gerbang dan tegangan masukan ditunjukkan pada gambar 2-1b.



Gambar 2.1 Konverter AC - AC dengan beban RL

**Triac**

Triac merupakan suatu semikonduktor tegangan ac yang dapat dipicu hingga terkonduksi ketika suatu sinyal arus rendah dialirkan pada gatunya. Tidak seperti SCR (*silicon controlled rectifier*), triac dapat dipicu pada siklus positif dan siklus negatif saat turn-on. Triac dapat dianggap sebagai dua buah SCR yang tersambung antiparalel yang gatunya disambung jadi satu. Ini seperti terlihat pada gambar berikut



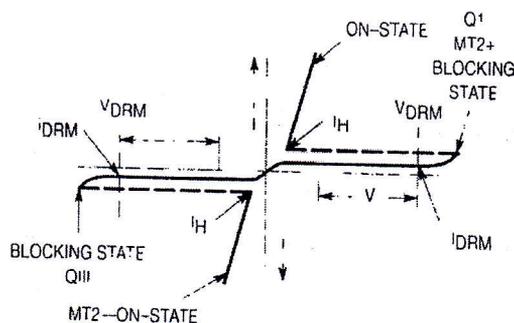
Gambar 2.2 (a) Konfigurasi Triac, (b) simbol Triac

Triac dirancang sebagai suatu alat yang serbaguna dan ekonomis untuk pengendalian tegangan ac secara teliti. Ini memiliki beberapa keuntungan daripada switching mekanik yang konvensional. Pada saat turn-on atau turn-off, triac tidak mengalami ledakan atau bunga api tidak seperti switching mekanik. Switching triac sangat cepat dibandingkan dengan relay konvensional, sehingga memberikan kontrol yang lebih akurat. Triac dapat dipicu dengan tegangan dc, tegangan ac, tegangan ac yang disearahkan, atau tegangan pulsa. Karena hanya membutuhkan arus yang rendah untuk pemicuan triac.

Gambar 2.2b menunjukkan simbol triac. Karena triac merupakan piranti bilateral, jadi istilah anoda dan katoda yang digunakan untuk piranti unilateral tidak memiliki arti. Oleh karena itu terminalnya didesain secara sederhana oleh  $MT_1$ ,  $MT_2$ , dan G, dimana  $MT_1$  dan  $MT_2$  merupakan terminal pembawa arus, dan G, adalah terminal gate yang digunakan untuk memicu triac. Untuk menghindari kebingungan, maka  $MT_1$  digunakan sebagai titik acuan.

**Karakteristik Triac**

Karakteristik arus terhadap tegangan triac ditunjukkan pada gambar 2.3 di mana  $MT_1$



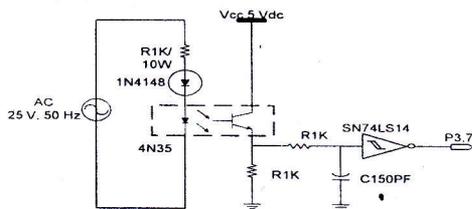
Gambar 2.3 Karakteristik Triac

Kuadran pertama, Q-I, merupakan daerah, di mana  $MT_2$  lebih positive dari pada  $MT_1$ , dan kuadran III merupakan kebalikan dari kuadran I. Beberapa istilah digunakan pada pengkarakterisasian triac seperti pada gambar.  $V_{DRM}$  merupakan tagangan *breakover* triac dan merupakan tegangan tertinggi triac yang boleh ditahan pada arah lainnya. Jika tegangan ini berlebih, terjadi secara transien, triac akan konduksi tanpa memberi sinyal gate. Akan tetapi triac rusak oleh aksi ini jika arus dibatasi keadaan ini seharusnya dihindari karena dapat

menyebabkan hilangnya kontrol triac. Triac untuk sebgai aplikasi seharusnya memiliki  $V_{DRM}$  sekurang-kurangnya sebesar puncak bentuk gelombang tegangan ac yang digunakan. Jadi kontrol yang handal dapat dijaga. Arus holding ( $I_H$ ) adalah nilai minimum dari kebutuhan arus untuk menjaga konduksi. Ketika arus menuju  $I_H$ , triac berhenti mengkonduksi dan kembali untuk kondisi blocking.  $I_{DRM}$  adalah arus bocor dari triac dengan  $V_{DRM}$  diterapkan dari MT2 sampai MT1 dan beberapa orde dari magnitude terkecil dibandingkan rating arus dari piranti. Gambar 2.3 menunjukkan karakteristik dari triac tanpa menerapkan sinyal gate tetapi seharusnya dapat dicatat bahwa triac dapat dipicu menjadi kondisi on pada saat, semua nilai tegangan sampai  $V_{DRM}$  oleh aplikasi sinyal gate. Karakteristik penting ini triac sangat berguna.

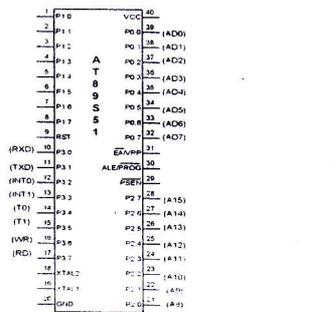
**Deteksi Fasa**

Deteksi fasa adalah rangkaian yang digunakan untuk mendekteksi apakah tegangan fasa berada pada posisi positif atau negatif dilihat dari acuan netral dan berfungsi untuk memulai melakukan pemicuan dan berapa besar sudut picu yang akan disulutkan pada thyristor.



**Gambar 2.4 Rangkaian Zero Crossing Detector**

**Mikrokontroler AT89S51**



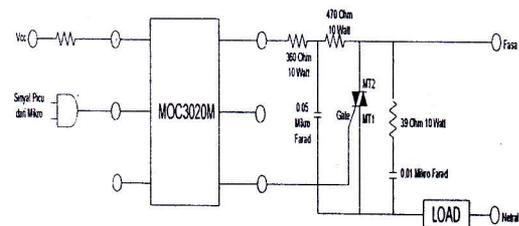
**Gambar 2.5 Diagram Pin Mikrokontroler AT89S51**

Mikrokontroler ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut: 4 kbytes *flash memory*, *In System Programming (ISP)*, 32 I/O yang dapat diprogram, 128 x 8 bit RAM internal, 2 buah timer/counter 16 bit, dan memiliki waktu pemrograman yang lebih cepat.

Mikrokontroler digunakan untuk mengatur semua proses pemicuan triac dan untuk tampilan sevensegment berapa besar sudut picu yang disulutkan.

**Rangkaian Isolasi**

Rangkaian isolasi berfungsi sebagai pemisah antara tegangan rangkaian kontrol yang berupa tegangan rendah DC terhadap tegangan rangkaian daya yang berupa tegangan tinggi AC, bilamana terjadi gangguan ataupun kesalahan pada rangkaian daya, sehingga rangkaian kontrol tidak dialiri tegangan tinggi yang mungkin dapat merusakkan sistem kontrol. Rangkaian isolasi yang digunakan dalam pembuatan modul ini menggunakan optoisolator MOC3020M.

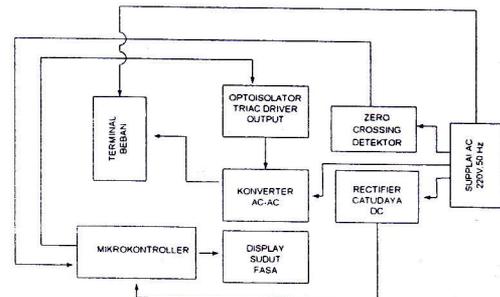


**Gambar 2.6 Rangkaian trafo isolasi**

**PERANCANGAN**

**Perancangan Perangkat Keras**

Blok diagramnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



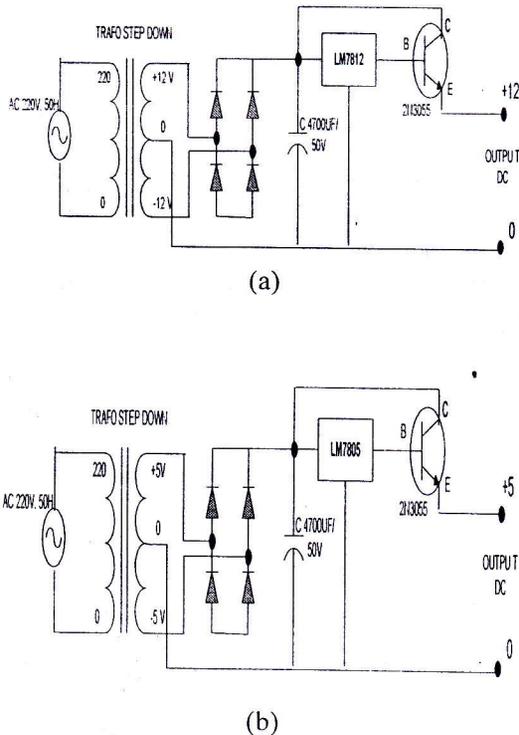
Gambar 3.1 Diagram blok perancangan konverter AC-AC

**Suplai AC 1 Fasa**

Suplai AC 1 fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz. Sebelum masuk ke penyearah suplai AC ini diturunkan tegangannya melalui transformator *step down center tap* menjadi tegangan AC +15 V sebagai deteksi fasa untuk *zero crossing detektor*.

**Penyearah (rectifier)**

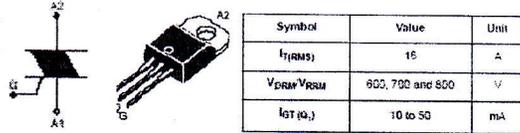
Penyearah (*rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan DC. Pada tugas akhir ini menggunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan dua diode yang dipasang pada sisi siklus positif dan sisi siklus negatif output dari transformator. Untuk menghasilkan output tegangan DC +12 V yang konstan maka digunakan 1 buah IC regulator yaitu LM7812 (sisi positif) dengan karakteristik sebagaimana Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan IC regulator**  
(a) 7805, (b) 7812

**TRIAC BTA 16/600**

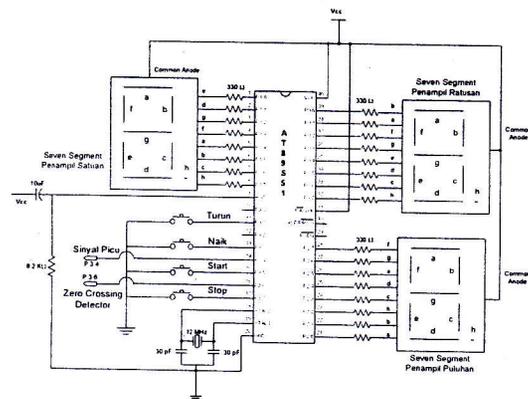
TRIAC BTA 16 600 produksi ST Microelectronics merupakan komponen utama yang nantinya akan digunakan dalam rangkaian komutasi pada triac. Bentuk dan konfigurasi pin dari TRIAC BTA 16/600 ini dapat dilihat dari gambar 3.3 dibawah ini.



**Gambar 3.3. Konfigurasi TRIAC BTA 16-600**

**Perancangan Blok Sistem**

Perancangan blok sistem ini berfungsi untuk mengatur seluruh proses pemicuan *triac*, mulai dari deteksi *zero crossing*, meletakkan sudut picu, menaikkan dan menurunkan besar sudut picu serta menghentikan sudut picu. *port 0,1 dan 2* yang merupakan output mikrokontroler digunakan sebagai tampilan sudut pemicuan dengan *seven segment*. *port 3* digunakan sebagai input mikrokontroler digunakan sebagai tombol pengatur sudut pemicuan dengan *keypad*.



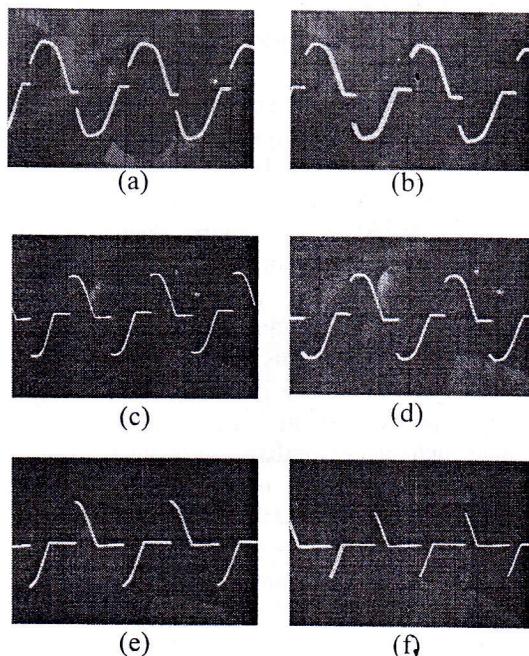
**Gambar 3.4 Blok Sistem Rangkaian**

**ANALISA**

**Pengukuran dan Pengujian pada Beban Resitif**

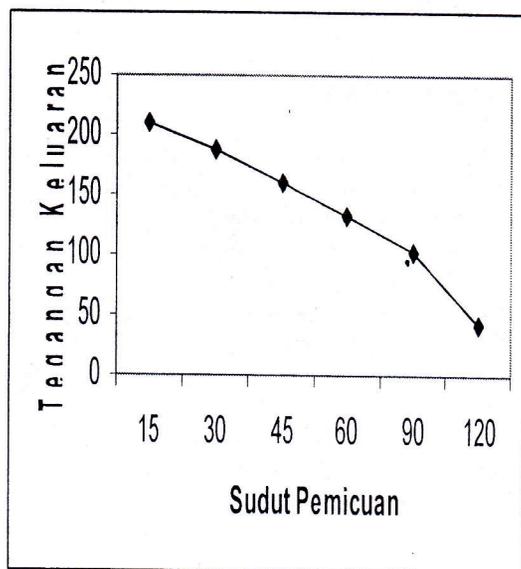
Data yang diambil dalam pengujian rangkaian daya ini adalah data gelombang hasil pemicuan *TRIAC*. Beban resistif yang digunakan adalah lampu pijar Variasi picuan yang

dilakukan adalah  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  dan  $120^\circ$ . Gambar gelombang diambil dengan skala 1:100, time/div 5ms, volt/div (Ch1 2V).

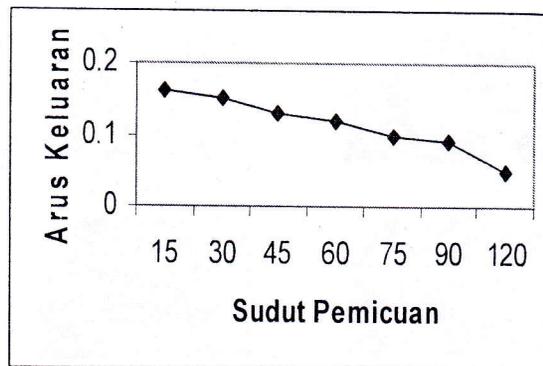


**Gambar 4.1** Gelombang tegangan hasil pemucuan Konverter AC-AC beban resistif (a)  $15^\circ$  (b)  $30^\circ$  (c)  $45^\circ$  (d)  $60^\circ$  (e)  $90^\circ$  (f)  $120^\circ$

Dari pengukuran dan pengujian Konverter AC-AC pada beban resistif dapat diperoleh grafik sebagai berikut :

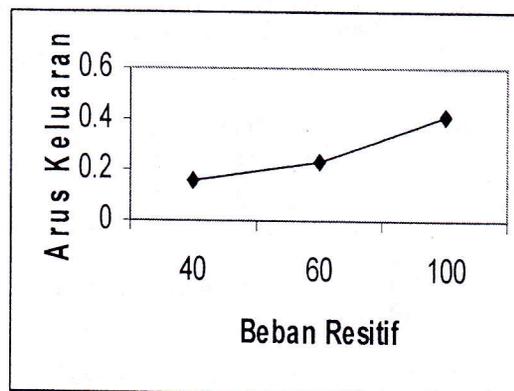


**Gambar 4.2** Grafik tegangan keluaran dengan sudut pemucuan



**Gambar 4.3** Grafik arus beban dengan sudut pemucuan

Dari gambar terlihat bahwa perubahan sudut pemucuan akan menyebabkan tegangan pada beban juga akan berubah. Semakin besar sudut pemucuan pada Triac maka tegangan pada beban akan semakin kecil. Hal yang sama untuk arus pada beban terlihat pada gambar 4.3.

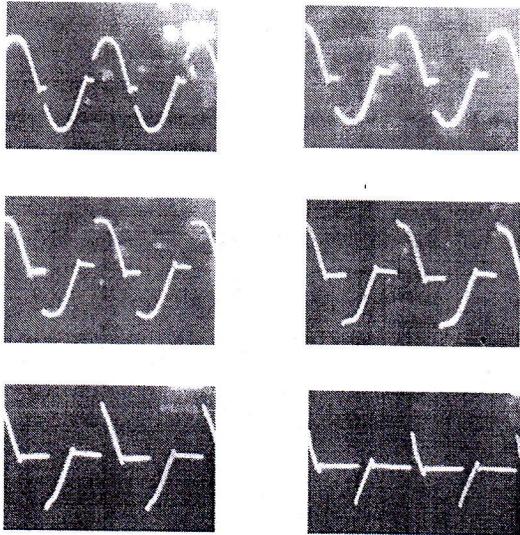


**Gambar 4.4** Grafik arus beban dengan sudut pemucuan akibat penambahan beban resistif

Pada gambar 4.4 diatas juga memperlihatkan bahwa dengan sudut pemucuan yang sama bila beban bertambah maka arus keluaran meningkat bila beban bertambah. Hal ini disebabkan daya yang diperlukan semakin besar.

#### Pengukuran dan Pengujian pada beban Resistif dan Induktif

Data yang diambil dalam pengujian rangkaian daya ini adalah data gelombang hasil pemucuan *TRIAC*. Beban yang digunakan adalah lampu pijar dan induktor murni dengan nilai 160 mH . Variasi picuan yang ditampilkan pada gambar berikut adalah  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  dan  $120^\circ$ . Gambar gelombang diambil dengan skala 1:100, time/div 5ms, volt/div (Ch1 2V).



**Gambar 4.5 Gelombang tegangan hasil pemuncian konverter ac-ac beban resistif dan induktif (a) 15° (b) 30° (c) 45° (d) 60° (e) 90° (f) 120°**

Dari pengukuran dan pengujian Konverter ac-ac pada beban resistif dan induktif dapat diperoleh tabel pengukuran sebagai berikut.

**Tabel 4.1 Pengukuran Tegangan dan Arus pada sisi Beban**

No	Sudut $\alpha$	V Sumber	Lampu 40 Watt		Lampu 60 Watt	
			Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
1	15	230.4	223.8	0.19	224.3	0.26
2	30	230.4	208.7	0.19	209	0.26
3	45	230.4	187	0.18	186.9	0.26
4	60	230.4	160	0.17	159.8	0.23
5	90	230.4	100.6	0.15	100.1	0.2
6	120	230.4	42.54	0.1	43.24	0.14

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa perubahan sudut pemuncian akan menyebabkan tegangan pada beban juga akan berubah. Semakin besar sudut pemuncian pada triac maka tegangan pada beban akan semakin kecil.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa dapat disimpulkan sebagai berikut. *Pertama*, pengaturan tegangan keluaran pada beban dilakukan dengan mengatur sudut pemuncian pada TRIAC, semakin besar sudut pemuncian maka semakin kecil tegangan dan arus pada beban. Sebaliknya semakin kecil sudut pemuncian maka tegangan dan arus pada beban akan besar. *Kedua*, pada beban resistif, penambahan beban dengan sudut pemuncian yang sama maka nilai arus pada beban akan meningkat. *Ketiga*, pada beban induktif, setelah proses pemuncian gelombang yang dihasilkan berbeda dengan gelombang percobaan resistif akibat beban bersifat induktif pada beban, gelombang tegangan tidak jatuh menuju nol pada  $\omega t = \pi$ . Ketika tegangan masukan mulai menjadi negatif akan menunda triac untuk off pada  $\omega t = \pi$ .

### Saran

*Pertama*, pengembangan dapat dilakukan untuk aplikasi *close loop* pada pengaturan cahaya lampu, pemanas dan kontrol motor AC. *Kedua*, pada tampilan sudut picu dapat digunakan decoder IC 74LS47 sehingga menghemat port untuk keperluan lainnya. *Ketiga*, untuk zero crossing detector akan lebih baik menggunakan *op amp* sebagai pendeteksi fasa.

## DAFTAR RUJUKAN

- Agfianto Eko Putra, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)*, Penerbit Gaya Media, 2002
- Paulus Andi Nalwan, *Panduan praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Elek Media Komputindo, Jakarta, 2003.
- P C Sen, *Power Electronics*, Tata McGraw-Hill, 1987.
- Rashid .M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall International Inc, 1988.