



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA SWITCHING TRANSISTOR UNTUK
PEMBENTUKAN GELOMBANG SINUSOIDAL PWM**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan menjadi sarjana teknik pada
program Sarjana Teknik**

JUNAIDI

0806365974

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA EKSTENSI
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : JUNAIDI

NPM : 0806365974

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Junaidi

NPM : 0806365974

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa switching transistor untuk pembentukan gelombang sinusoidal PWM

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

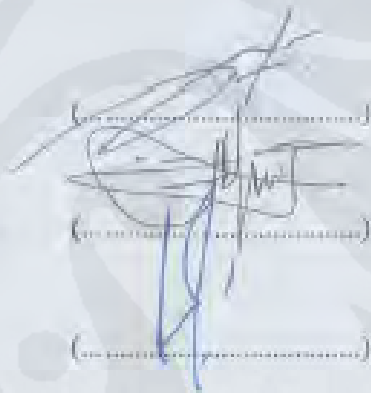
Pembimbing : Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng

Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan MT

Penguji : Ir. Aries Subiantoro M.SEE

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Desember 2010



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada pembuatan seminar ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
 - (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
 - (3) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini
- Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Junaidi
NPM : 0806365974
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISA SWITCHING TRANSISTOR UNTUK
PEMBENTUKAN GELOMBANG SINUSOIDAL PWM**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Desember 2010

Yang menyatakan

(Junaidi)

Junaidi

NPM : 0806365974

Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng

**ANALISA SWITCHING TRANSISTOR UNTUK
PEMBENTUKAN GELOMBANG SINUSOIDAL PWM**

ABSTRAK

Dalam skripsi ini menjelaskan tentang suatu transistor yang berfungsi sebagai saklar untuk membentuk suatu gelombang sinusoidal dengan mengatur lebar pulsa pada PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan dari pemrograman pada mikrokontroler. Dalam skripsi ini transistor yang digunakan memiliki karakteristik yang *fastswitching* dengan tegangan yang tinggi. Sehingga sebelum masukan transistor diperlukan suatu rangkaian kontrol antara transistor dan keluar dari mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Atmega 8535.

Kata Kunci : pensaklaran, PWM

Junaidi

NPM : 0806365974

Departemen Teknik Elektro

The lecturer of consultant

Dr. Ir. Feri Yusicar M.Eng

TRANSISTOR SWITCHING ANALYSIS FOR FORMING SINUSOIDAL WAVE PWM

ABSTRACT

This thesis describes a transistor which functions as a switch to form a sinusoidal wave by adjusting the pulse width in PWM (Pulse Width Modulation) generated from the microcontroller programming. In this paper a transistor that is used have characteristics fastswitching with a high voltage. So before entering the transistor needs a control circuit between the transistor and the output of the microcontroller. Atmega microcontroller used is 8535.

Key word : switching, PWM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI	2
2.1 Pendahuluan	3
2.2 Dasar Switching Transistor.....	4
2.3 Pulse Width Modulation	6
2.4 Transistor.....	8

2.5 PWM dengan ATMEGA8535	9
2.6 Respon transient	12
2.6.1 Respon Transient Orde-2	13
2.6.1 Respon Transient Orde-1	14
BAB III PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM	16
3.1 Rangkaian daya	16
3.2 Rangkaian kontrol	16
3.3 Rancangan Rangkaian Pensaklaran	18
3.4 Pemrograman PWM dengan Atmega 8535	19
BAB IV ANALISA	22
4.1 Pendahuluan	22
4.2 Percobaan rangkaian kontrol dengan masukan PWM	22
4.3 Percobaan rangkaian daya dengan masukan PWM	24
4.3.1 Percobaan dengan masukan PWM berubah-ubah	26
4.4 Percobaan dengan pembentukan gelombang sinusoidal	32
4.4.1 Percobaan pada mikrokontroler dan rangkaian kontrol	33
4.4.2 Percobaan keluaran pada rangkaian daya	34
BAB V KESIMPULAN	40
5.1 Kesimpulan	40
DAFTAR ACUAN	41
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Inverter satu fasa	3
Gambar 2.2. Bentuk tegangan keluaran inverter	4
Gambar 2.3 Rangkaian dasar switching	5
Gambar 2.4 Tegangan keluaran	5
Gambar 2.5 Pulse Width Modulation	6
Gambar 2.6 Gelombang PWM inverter tiga fasa	7
Gambar 2.7 Karakteristik transistor	8
Gambar 2.8 Proses pembangkitan PWM pada AVR	9
Gambar 2.9 Pembentukan PWM dengan clear up dan clear down	11
Gambar 2.10 Signal respon transient	12
Gambar 2.11 Rangkaian RC	13
Gambar 2.12 Rangkaian RLC	14
Gambar 3.1 Rangkaian pengaman transistor daya	16
Gambar 3.2 Rangkaian pemacu basis transistor BJT	17
Gambar 3.3 Rangkaian inverter transistor BJT tiga fasa	18
Gambar 3.4 Besarnya PWM dalam setengah periode	20
Gambar 3.5 Flowchart pemrograman PWM	21
Gambar 4.1 Rangkain kontrol dengan masukan signal pulsa	22
Gambar 4.2 Signal pulsa masukan	23
Gambar 4.3 Signal pulsa keluaran V_b	23

Gambar 4.4 Percobaan rangkaian daya	24
Gambar 4.5 Signal pulsa pada transistor BJT	25
Gambar 4.6 Percobaan rangkaian daya ditambah lampu 15 Watt	25
Gambar 4.7 Signal pulsa pada transistor BJT percobaan dengan lampu	26
Gambar 4.8 Hasil percobaan gelombang sinusoidal pada keluaran mikrokontroler	27
Gambar 4.9 Hasil percobaan gelombang sinusoidal pada keluaran rangkaiian kontrol	33
Gambar 4.10 Hasil percobaan gelombang sinusoidal pada keluaran rangkaiian kontrol	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penentuan nilai dan posisi pulsa ON dan OFF	20
Tabel 4.1 Hasil percobaan dengan PWM yang berubah-ubah	27
Tabel 4.2 Gambar hasil percobaan dengan PWM yang berubah-ubah	28
Tabel 4.3 Hasil percobaan dengan pulsa masukan berbentuk sinusoidal ...	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan manusia modern. Hampir semua aspek kehidupan memerlukan energi sebagai penggerak utama.

Matahari sebagai sumber seluruh energi di bumi, memiliki banyak potensi yang belum dimanfaatkan manusia. Padahal matahari memiliki potensi yang sangat besar, diantaranya dilihat dari besarnya energi yang dihasilkan matahari dan panjang umurnya. Untuk itu diperlukan alat yang bisa mengkonversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Oleh karena itu kami mencoba memberi alternatif, yaitu sistem *solar cell*.

Dalam sistem *solar cell* tersebut terdapat subsistem – subsistem yang mempunyai fungsi berbeda. Subsistem tersebut adalah *maximum power point tracker* (MPPT), *buck – boost converter*, dan *inverter*. Inverter merupakan pengubah daya dc menjadi daya ac dengan mengatur frekuensinya. Sehingga sistem *solar cell* ini dapat dimanfaatkan untuk kehidupan yang memerlukan energi khususnya energi yang berdaya ac.

Ada beberapa jenis inverter diantaranya adalah inverter PWM (*Pulse Width Modulation*). Keuntungan operasi inverter PWM sebagai teknik konversi dibanding dengan jenis-jenis inverter lainnya adalah rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran dibandingkan dengan jenis inverter lainnya. Inverter terdiri dari saklar semikonduktor transistor yang disusun sedemikian rupa dan memerlukan sinyal kendali yang sesuai untuk mengatur waktu transisi saklar semikonduktor tersebut.

1.2 Tujuan Penulisan

Menganalisa keluaran dari suatu transistor dengan masukan PWM, mikrokontroler diprogram sedemikian rupa sehingga membentuk suatu gelombang berbentuk sinusoidal.

1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada hal di atas, penulis melakukan pembatasan masalah dengan batasan-batasan sebagai berikut : Bagaimana keluaran dari suatu transistor yang bekerja dengan mengatur lebar pulsa PWM sehingga membentuk suatu gelombang sinusoidal pada pengendalian pensaklaran.

1.4 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian – bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya. Bab satu pendahuluan, berisi latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penelitian. Bab dua teori dasar, pada bab ini berisi tentang dasar – dasar konsep prinsip inverter dan PWM. Bab tiga perancangan dan cara kerja sistem, merupakan penjelasan perancangan sistem serta prinsip kerja inverter. Bab empat analisa, merupakan penjelasan analisa rangkaian inverter. Bab lima berisi kesimpulan dari seluruh pembahasan karya tulis ini.

BAB II

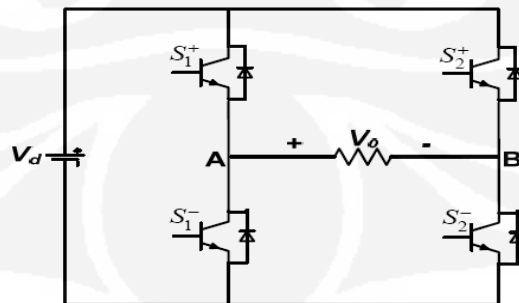
DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Pesaklaran pada transistor banyak digunakan pada sistem inverter. Inverter adalah suatu rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversikan daya dc menjadi daya ac dengan tegangan atau arus yang besar dan frekuensi yang dapat diatur. Inverter biasa digunakan pada pengendalian motor ac dan UPS (*Uninterruptible Power Supply*).

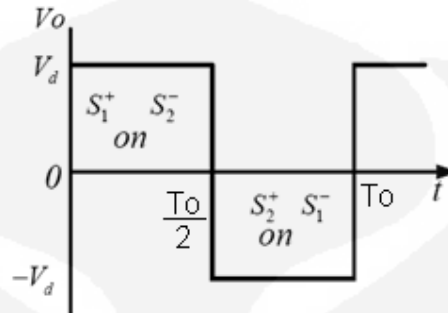
Dilihat dari jenis masukannya, inverter dibagi menjadi dua macam yaitu *VSI* (*Voltage Source Inverter*) dimana masukannya adalah sumber tegangan dc dan *CSI* (*Current Source Inverter*) dimana masukannya adalah sumber arus dc. Pada prakteknya, inverter yang sering digunakan adalah *VSI* sedangkan *CSI* penggunaannya terbatas pada kontrol motor ac dengan daya yang sangat besar. Gambar 2.1 memperlihatkan inverter satu fasa.

Pada dasarnya, untuk menghasilkan tegangan atau arus keluaran ac, inverter bekerja dengan mengatur penyaklaran lengan-lengannya. Dalam satu lengan transistor yang boleh *on* hanya satu karena apabila dua transistor dalam satu lengan *on* maka sumber tegangan dc akan terhubung singkat. Dengan demikian pada saat pada saat S_1^+ *on* maka S_1^- harus *off*. Hal yang sama terjadi pada S_2^+ dan S_2^- .



Gambar 2.1. Inverter satu fasa

Pada saat S_1^+ dan S_2^- on, beban akan merasakan tegangan V_d ($V_o = V_d$). Pada saat S_1^- dan S_2^+ on, maka beban akan merasakan tegangan V_d ($V_o = -V_d$). Bentuk sinyal tegangan keluaran dari gambar 2.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2. Bentuk tegangan keluaran inverter

Nilai rms tegangan keluaran dapat dicari dengan persamaan 2.1. Pada persamaan batas atas integral adalah $T_o/2$, karena bila batas atas sampai dengan T_o maka nilai V_o adalah nol.

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_d^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} = V_s \quad (2.1)$$

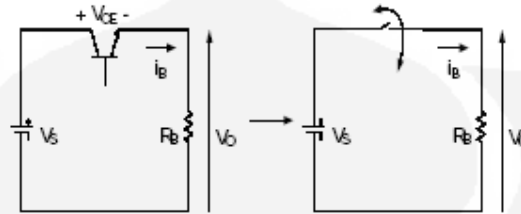
Keluaran inverter dengan penyaklaran seperti diatas adalah gelombang persegi. Gelombang seperti ini memiliki kandungan harmonisa yang besar. Biasanya keluaran inverter yang diinginkan adalah bentuk gelombang sinus murni karena gelombang sinus murni tidak mengandung harmonisa. Untuk mendapatkan bentuk gelombang sinusoidal maka teknik penyaklaran transistor harus diatur. Salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam mengatur penyaklaran transistor dalam inverter adalah PWM (*Pulse Width Modulation*).

Pada tugas akhir ini yang akan dibahas adalah inverter sumber tegangan (*VSI*) serta teknik kontrol yang akan digunakan adalah *PWM*.

2.2 Dasar Switching Transistor

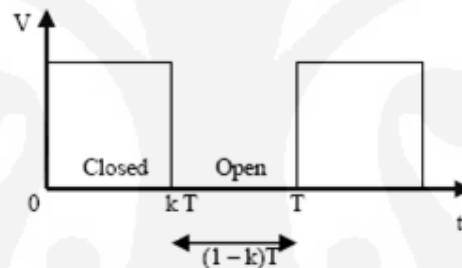
Rangkaian alternatif untuk regulator dengan efisiensi yang lebih baik dapat digunakan rangkaian *switching* Transistor. Pada *switching* ini terlihat fungsi

transistor sebagai *electronic switch* yang dapat dibuka (OFF) dan ditutup (ON). Sehingga hanya ada 2 keadaan yaitu saturasi dan *cutoff*.



Gambar 2.3 Rangkaian dasar *switching*

Dengan asumsi bahwa *switch* tersebut ideal, jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tegangan keluaran

Besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} V_s dt = V_s \cdot D \quad (2.2)$$

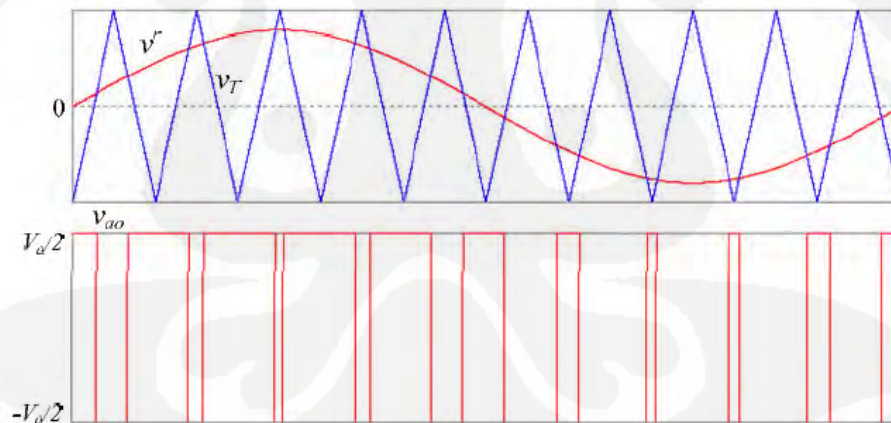
$$\text{duty cycle } (D) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot F \quad (2.3)$$

Dari persamaan (2.2) terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *duty cycle* yaitu rasio antara lamanya waktu *switch* ditutup (ton) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran, atau (lihat Gambar 2.4) dan perhitungan nilai D dapat

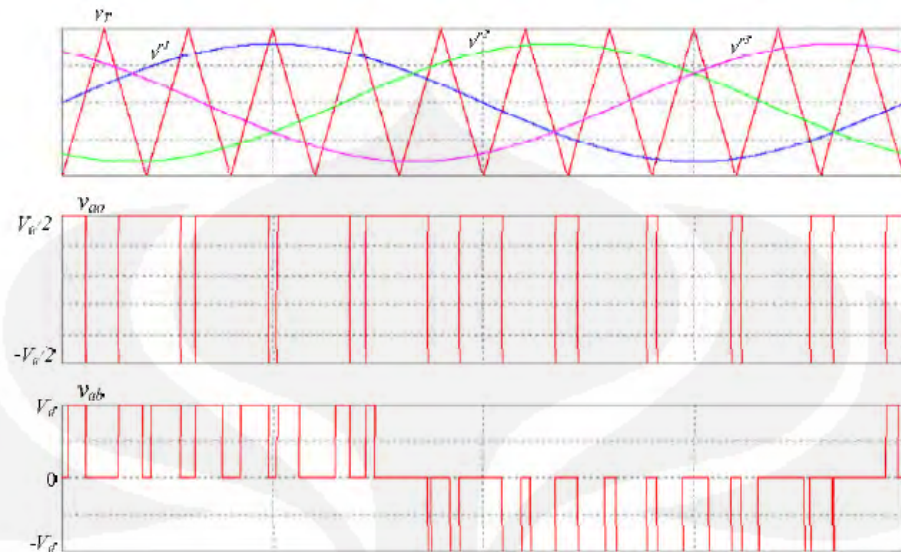
dilihat pada persamaan 2.3. Daya yang diserap oleh *switch* yang ideal adalah nol. Saat *switch open*, tidak ada arus yang mengalir. Sedangkan saat *switch closed*, tidak ada tegangan yang melewatinya. Dengan demikian seluruh daya diserap oleh beban dan efisiensi energinya adalah 100%. Namun pada kenyataannya akan terjadi hilangnya sebagian daya yang dikarenakan tegangan yang melewati *switch* tidak bernilai nol saat *switch closed*.

2.3 Pulse Width Modulation [3]

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik untuk mengatur penyaklaran transistor dalam inverter. Teknik ini pada dasarnya adalah membandingkan dua sinyal untuk mendapatkan pola penyaklaran transistor. Sinyal pertama adalah sinyal repetitif sebagai sinyal *carrier* dan biasanya adalah sinya segitiga. Sinyal kedua adalah sinyal yang akan dimodulasi untuk mendapatkan bentuk keluaran yang diinginkan dan biasanya disebut sinyal referensi. Apabila sinyal referensi lebih besar dari sinyal *carrier* maka lengan atas akan menerima sinyal *on*.



Gambar 2.5 *Pulse Width Modulation*



Gambar 2.6 Gelombang PWM inverter tiga fasa

Perbandingan antara amplitudo sinyal referensi dan amplitudo sinyal *carrier* disebut indeks modulasi m

$$m = \frac{V_{refensi}}{V_{carrier}} \quad (2.4)$$

Pada saat amplitudo sinyal referensi sama dengan sinyal *carrier* maka indeks modulasi maksimum. Rentang antara indeks modulasi minimum (nol) sampai indeks modulasi maksimum adalah rentang besarnya keluaran yang dapat diatur oleh inverter. Pada rentang ini besarnya keluaran memiliki hubungan linier dengan indeks modulasi. Apabila amplitudo sinyal referensi lebih tinggi dari amplitudo sinyal segitiga maka inverter berada pada daerah operasi *over modulation*. Pada daerah ini hubungan antara keluaran inverter dengan indeks modulasi tidak lagi linear.

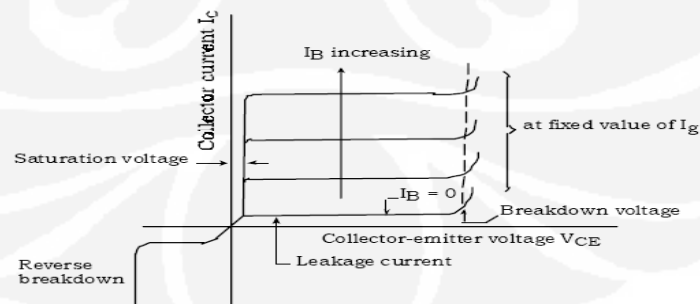
Jika m besar sehingga sinyal referensi berpotongan dengan sinyal segitiga pada titik *zero crossing* (gambar 2.5) maka pola penyaklaran adalah penyaklaran sinyal persegi. Daerah ini bisa disebut daerah saturasi PWM karena indeks modulasi m sudah tidak lagi berpengaruh terhadap besarnya keluaran. Salah satu keuntungan operasi penyaklaran persegi adalah setiap lengan berubah keadaannya

hanya satu kali dalam satu periode. Hal ini penting untuk level dengan daya besar dimana biasanya respon saklar semikonduktor pada level ini rendah. Karena inverter tidak dapat mengatur besarnya keluaran maka satu-satunya cara untuk mengatur besarnya keluaran adalah dengan mengatur masukannya.

Dalam aplikasi industri, biasanya keluaran inverter harus bisa diatur. Pengaturan ini biasanya ditujukan untuk mengatasi masalah variasi tegangan masukan sumber dc, pengaturan keluaran inverter agar sesuai dengan kebutuhan, dan untuk kebutuhan pengaturan tegangan atau frekuensi yang tetap. Dengan demikian maka inverter harus diusahakan bekerja pada daerah liniernya. Dengan sinyal referensi sinus bisa didapatkan m_{maks} adalah 1. Banyak penelitian yang telah dilakukan pada kontrol pola penyaklaran inverter atau modifikasi PWM yang sudah ada.

2.4 Transistor

Transistor mempunyai tiga terminal : Kolektor (C), Emitor (E), dan Base (B). Pada saat kerja, arus kolektor (I_c) merupakan fungsi dari arus base (I_b). Perbandingan arus ini dalam orde 10 sampai 100 kali tergantung dari tipe transistornya. Sebagai saklar elektronik, transistor dioperasikan pada daerah jenuh pada saat konduksi dan pada daerah *cut off* selama tidak konduksi. Bila mengalir arus base, transistor akan konduksi. Pada saat penyalaan, arus base harus cukup besar sehingga proses penyalanya cepat. Pada saat pemadaman, arus dikurangi dengan kecepatan yang dapat diikuti oleh arus kolektor sehingga tidak menimbulkan *secondary breakdown*.

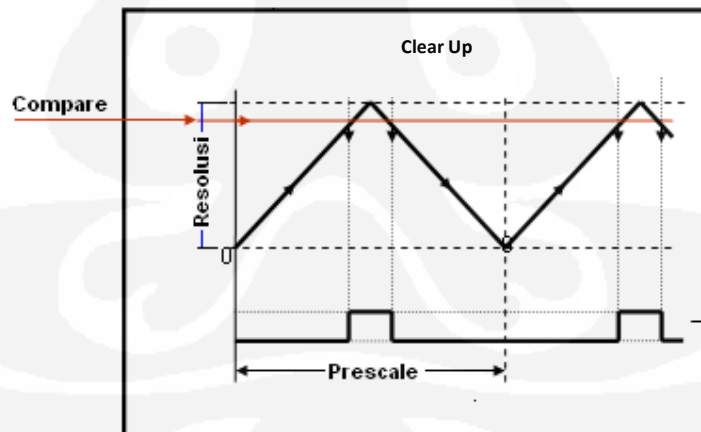


Gambar 2.7 Karakteristik transistor

Transistor mempunyai waktu komutasi yang lebih cepat dari pada tiristor (kurang dari 2 s). Meskipun demikian transistor memerlukan arus base yang besar dan kurang tahan terhadap pembebanan lebih. Pabrik biasanya membuat daerah operasi aman untuk transistor yang digunakan sebagai komponen daya.

2.5 PWM dengan ATMEGA8535[2]

Sinyal PWM dapat dibangun dengan banyak cara, bisa menggunakan metode analog menggunakan rangkaian op-amp juga bisa dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. PWM dalam mikrokontroler AVR dibangkitkan oleh *timer*, pada mikrokontroler jenis AVR Atmega8535 memiliki 3 buah timer di mana 2 timer 8 bit dan sebuah timer 16 bit. Proses pembangkitan sinyal PWM pada mikrokontroler AVR dapat dilihat pada Gambar 2.6:



Gambar 2.8 Proses pembangkitan PWM pada AVR

Berdasarkan Gambar 2.8, terdapat beberapa parameter di mana parameter tersebut mempengaruhi nilai dari PWM. Parameter ini adalah:

1. Resolusi

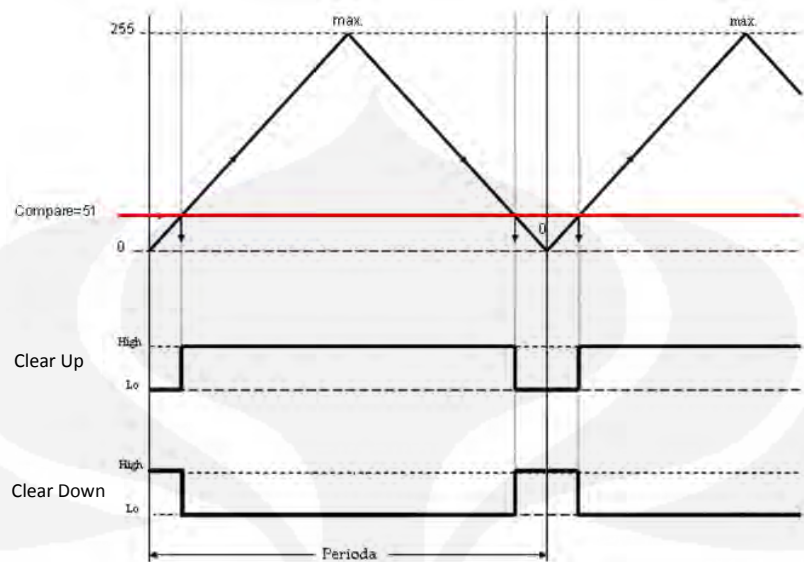
Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai, apabila diberikan nilai melebihi dari batas resolusi tersebut maka akan terjadi *overflow* maksudnya nilai yang diambil adalah sejumlah bit yang disediakan dan diambil mulai dari bit terendah (LSB). Kebanyakan dalam mikrokontroler 8 bit menggunakan resolusi timer 8 bit.

2. Compare

Compare adalah nilai pembanding yang dijadikan referensi untuk menentukan besar *duty cycle* dari PWM. Nilai *compare* bervariasi sesuai dengan resolusi dari PWM tersebut. Pada Gambar 2.9 nilai *compare* ditandai dengan garis warna merah, di mana posisinya diantara dasar segitiga dan ujung segitiga.

3. Clear

Clear digunakan untuk penentuan jenis komparator apakah komparator *inverting* atau *non-inverting*. Dari Gambar 2.15 bila PWM diatur pada *clear down*, berarti apabila garis segitiga berada di bawah garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 1. Dan sebaliknya apabila garis segitiga berada di atas garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 0. Sehingga lebar sempitnya logika 1 ditentukan oleh posisi *compare*, lebar sempitnya logika 1 itulah yang menjadi nilai keluaran PWM dan kejadian ini terjadi secara harmonik terus-menerus. Maka dari itu nilai *compare* inilah yang dijadikan nilai *duty cycle* PWM. *Clear Up* adalah kebalikan (invers) dari *Clear Down* pada keluaran logikanya. Untuk lebih jelas silahkan lihat Gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Pembentukan PWM dengan *clear up* dan *clear down*

4. Prescale

Prescale digunakan untuk menentukan waktu perioda dari pada PWM tersebut. *Prescale* bervariasi: 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024. Maksud dari *prescale* adalah saat *prescale* 64 di-set berarti timer/PWM akan menghitung 1 kali bila *clock* di CPU sudah 64 kali, *clock* CPU adalah *clock* mikrokontroler itu sendiri (nilai *clock* tergantung dari penggunaan XTAL). Perioda dari PWM dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T = (1/\text{Clock CPU}) * \text{Prescale} * \text{Resolusi} \quad (2.5)$$

Mengaktifkan PWM1 pada Atmega8535

PWM1 pada mikrokontroler ini memiliki 2 keluaran, yaitu PWM1a dikeluarkan pada port OCR1A (PORTD.5) dan PWM1b dikeluarkan pada port OCR1A (PORTD.4) masing-masing mempunyai resolusi yang dapat diubah-ubah antara 8 bit, 9 bit dan 10 bit. Untuk mengatur PWM1 dapat dilakukan dengan mengatur timer 1 berikut dengan list program berbasis *Basic Compiler* (BASCOM):

Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 / 9 /10 , Compare A Pwm = Clear Down/Up ,
Compare B Pwm = Clear Down/Up , Prescale = 1 /8/64/256/1024

Pwm1a = 50 ; 50 adalah compare

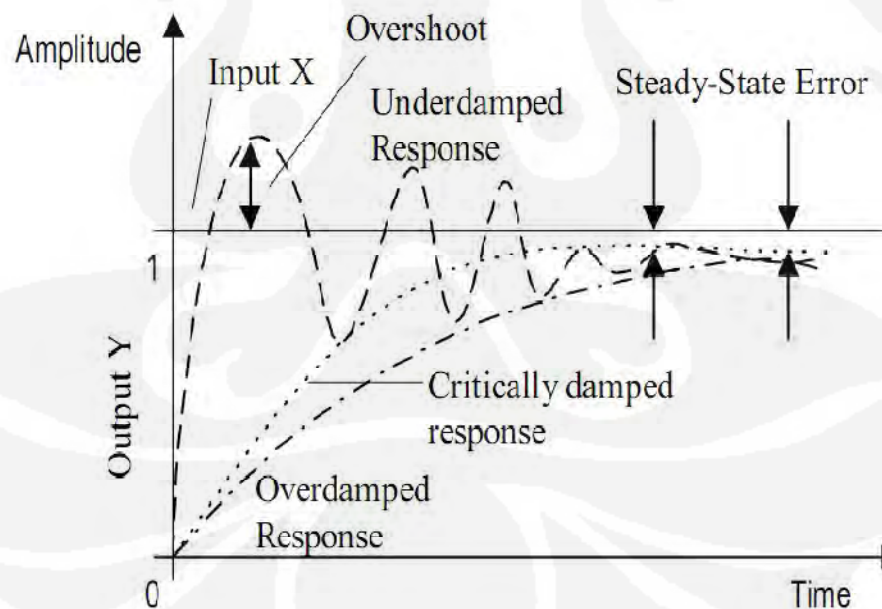
Pwm1b =100 ; 100 adalah compare

*ket: tanda miring (/) menandakan pilihan

Pengaturan besar PWM dapat diatur nilai *compare* pada Pwm1a atau Ocr1al dan pada PWM1b atau Ocr1bl. Aplikasi yang sering digunakan untuk PWM pada mikrokontroler ini adalah untuk kontrol kecepatan motor DC, FAN, mengatur terang redupnya lampu DC dan sebagainya.

2.6 Respon Transient

Ketika masukan sebuah sistem berubah secara tiba-tiba, keluaran membutuhkan waktu untuk merespon perubahan itu. Bentuk respon transient atau peralihan bisa digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.10 Signal *respon transient*

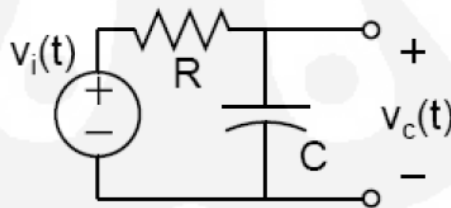
Bentuk signal *respon transient* ada 3:

1. *Underdamped response*, output melesat naik untuk mencapai input kemudian turun dari nilai yang kemudian berhenti pada kisaran nilai input. Respon ini memiliki efek osilasi
2. *Critically damped response*, output tidak melewati nilai input tapi butuh waktu lama untuk mencapai target akhirnya.
3. *Overdamped response*, respon yang dapat mencapai nilai input dengan cepat dan tidak melewati batas input.

Fasa peralihan ini kemudian akan berhenti pada nilai dikisaran masukan/target dimana selisih nilai akhir dengan target disebut *steady state error*. Jika dengan masukan atau gangguan yang diberikan pada fasa *transient* kemudian tercapai keluaran *steady state* maka dikatakan sistem ini stabil. Jika sistem tidak stabil, output akan meningkat terus tanpa batas sampai sistem merusak diri sendiri atau terdapat rangkaian pengamanan yang memutuskan sistem.

2.6.1 Respon Transient Orde-1

Pada orde 1, rangkaian terdiri dari komponen induktor-resistor (rangkaiannya RL) atau kapasitor-resistor (rangkaiannya RC).



Gambar 2.11 Rangkaian RC

$$V_i(t) = V_R(t) + V_C(t) \quad (2.6)$$

$$V_i(t) = IR(t) + V_C(t)$$

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int I dt$$

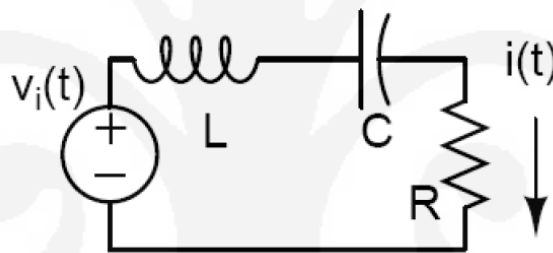
$$C \cdot V_C(t) = \int I dt$$

$$I = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

$$\begin{aligned}
 V_i(t) &= RC \frac{dV_C}{dt}(t) + V_C(t) \\
 V_{c,h}(t) &= Ke^{-t/\tau} \\
 V_i(t) &= RC \left[-\frac{K}{\tau} \right] e^{-t/\tau} + Ke^{-t/\tau} = 0 \\
 RC Ke^{-t/\tau} \left[-\frac{1}{\tau} + 1 \right] &= 0 \\
 RC \left[-\frac{1}{\tau} + 1 \right] &= 0 \\
 \tau &= RC
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

2.6.2 Respon Transient Orde-2

Pada orde 2, rangkaian terdiri dari komponen resistor, induktor dan kapasitor (rangkaian RLC).



Gambar 2.12 Rangkaian RLC

$$\begin{aligned}
 V_i(t) &= V_R(t) + V_C(t) + V_L(t) \\
 V_i(t) &= IR(t) + V_C(t) + L \frac{dI(t)}{dt} \\
 V_C(t) &= \frac{1}{C} \int I dt \\
 C \cdot V_C(t) &= \int I dt \\
 I &= C \frac{dV_C(t)}{dt} \\
 V_i(t) &= RC \frac{dV_C}{dt}(t) + V_C(t) + RL \frac{d^2V_C}{dt^2}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Pada saat $t=0$ maka

$$RC \frac{dV_C}{dt}(t) + V_C(t) + LC \frac{d^2V_C}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_C}{dt}(t) + \frac{1}{LC} V_C(t) = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan umum pada orde kedua adalah

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\xi\omega \frac{dx(t)}{dt} + \omega^2 x(t) = 0 \quad (2.10)$$

Maka dari persamaan 2.7 dan 2.8 adalah,

$$2\xi\omega = \frac{R}{L} \quad \text{dimana} \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} \quad (2.11)$$

Nilai parameter *damping ratio* (ζ) lebih besar dari satu maka respon transien bersifat *over damped*, sedangkan untuk nilai parameter *damping ratio* lebih kecil dari satu maka respon transien bersifat *under damped*, serta jika nilai parameter *damping ratio* sama dengan satu maka respon transien bersifat *critically damped*.

Dengan mendapatkan parameter *damping ratio* maka respon awal dari rangkaian RLC dapat diketahui apakah akan lebih besar dari nilai akhir yang disebut *overshoot* ataukah tidak. Dan dapat juga mengetahui waktu saat terjadi *overshoot*. *Overshoot* terjadi pada saat respon transient bersifat *under damped*.

$$\text{Overshoot} = \frac{V_{peak} - V_{final}}{V_{final}} = e^{\left(\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)} \quad (2.12)$$

$$t_s = \frac{-1}{\xi\omega} \ln(e\sqrt{1-\xi^2}) \quad (2.13)$$

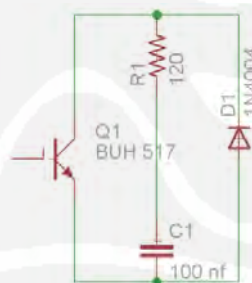
BAB III

PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Bab ini merupakan inti dari tugas akhir. Membahas tentang rancangan rangkaian kontrol dan rangkaian daya yang dibangun. Pertama-tama akan dibahas mengenai desain dari tiap-tiap bagian, kemudian mengenai secara keseluruhan dari sistem rangkaian ini.

3.1 Rangkaian daya

Rangkaian daya inverter ini menggunakan rangkaian inverter tiga fasa jembatan penuh. Komponen daya yang dipilih transistor yang mempunyai kecepatan komutasi yang tinggi dan kendali pemadamannya mudah. Transistor yang digunakan adalah transistor dengan merek dagang BUH 517 dimana mempunyai tegangan $V_{CE} = 700$ Volt dan arus $I_C = 8$ Ampere. Pada rangkaian ini menggunakan *snubber* RC yang berfungsi untuk membatasi besar kecuraman tegangan. Serta diode *freewheel* yang berguna untuk jalan arus bebas induktif. Karena diode tersebut dipasang secara paralel dengan dengan terminal kolektor dan emitor transistor, maka persyaratan tegangan diode sama dengan persyaratan tegangan transistor. Arus yang mengalir ke diode sama dengan arus beban maksimum.

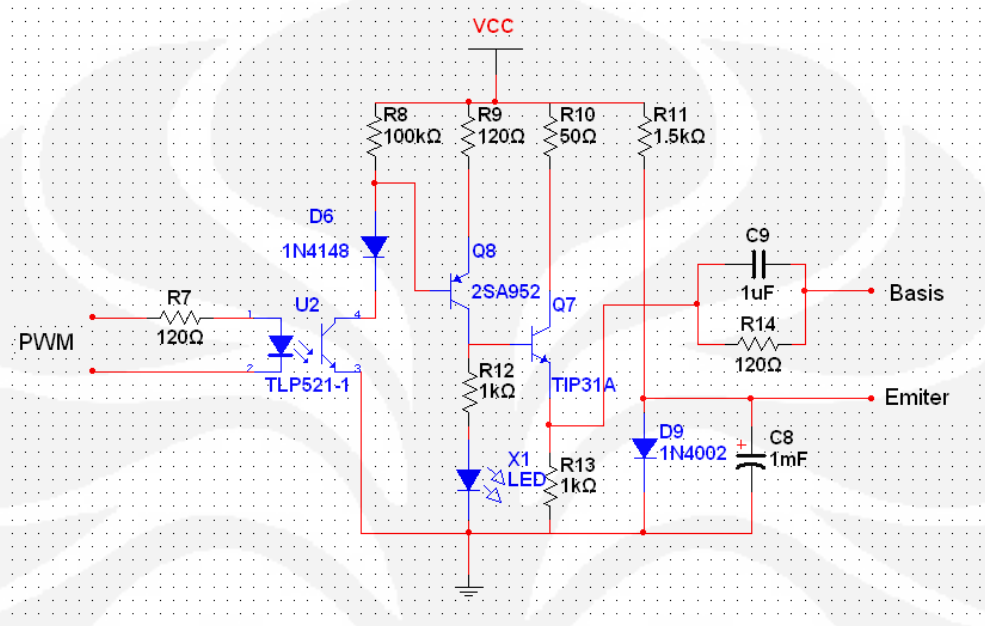


Gambar 3.1 Rangkaian pengamanan transistor daya[4]

3.2 Rangkaian kontrol

Setiap rangkaian daya terhubung dengan rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol ini berfungsi untuk :

- Mengisolasi antara rangkaian PWM dan rangkaian daya
- Memperkuat gelombang kendali sehingga dapat memicu transistor daya dan proses komutasinya optimum

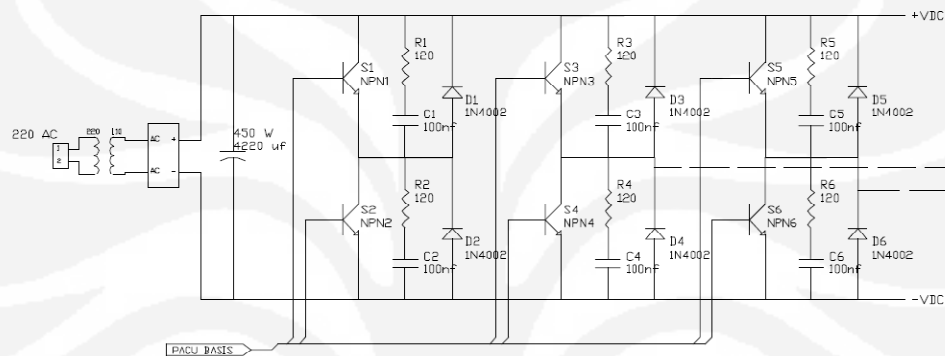


Gambar 3.2 Rangkaian pemacu basis transistor BJT[4]

Sinyal kendali PWM ditransmisikan oleh *opto coupler* ke transistor untuk diperkuat. Rangkaian RC sebelum masuk ke transistor daya berfungsi untuk menimbulkan *overshoot* pada sisi depan gelombang sehingga proses penyalaan transistor daya berlangsung cepat. Jadi sebelum sinyal pwm dari *microcontroller* diteruskan ke penguat utama dengan arus dan tegangan tinggi, sinyal tersebut terlebih dahulu dikuatkan dengan rangkaian gambar 3.2. Pada rangkaian picu basis sinyal pwm dikuatkan dua kali oleh transistor Q8 dan Q7. Rangkaian picu basis juga dilengkapi dengan pengaman berupa diode zener dan isolator optik (*optoisolator*). Fungsi dari *optocoupler* adalah sebagai pemisah antara masukan PWM dengan rangkaian kontrol, apa bila terjadi kesalahan pada rangkaian kontrol maka tidak merusak sistem PWM. Begitu juga sebaliknya, apabila sistem PWM terdapat masalah maka tidak merusak dari rangkaian kontrol.

3.3 Rancangan Rangkaian Pensaklaran

Inverter merupakan suatu alat yang dapat mengubah sinyal tegangan dc menjadi sinyal ac atau tegangan sinusoida dengan frekuensi dan level tegangan yang dapat diatur. Rangkaian inverter tiga fasa yang digunakan dalam skripsi ini terdiri dari 6 buah komponen switching seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3. Rangkaian tersebut menggunakan transistor sebagai komponen switching.



Gambar 3.3 Rangkaian inverter transistor BJT tiga fasa[4]

Pada rangkaian diatas, untuk mendapatkan fasa R positif maka yang aktif adalah transistor S1 sedangkan transistor S2 adalah untuk fasa R negatif. Untuk fasa S positif maka transistor S3 yang aktif dan untuk fasa S negatif maka transistor S4 yang aktif. Sedangkan untuk fasa T, transistor S5 untuk fasa positif dan transistor S6 untuk fasa yang negatif.

Suatu pengendali dalam inverter berfungsi untuk mengatur pulsa-pulsa pada masing-masing transistor BJT sehingga menghasilkan suatu keluaran tiga fasa yang diinginkan. Terdapatnya dioda yang diparalel dengan transistor BJT yang berfungsi untuk melewatkan arus balik, karena bila tidak menggunakan dioda tersebut maka dapat merusak transistor BJT. Besarnya tegangan balik (PIV) pada dioda tersebut adalah :

$$\begin{aligned} PIV &= \sqrt{2} V_{rms} \\ &= \sqrt{2} 110 = 155.6 V \end{aligned}$$

Jika arus balik terbesar adalah sama besar dengan arus yang mengalir pada beban penuh untuk daya sebesar 100 W, maka arus yang mengalir pada dioda misalnya pada fasa T (referensi buku analisa rangkaian listrik) adalah

$$P_T = \sqrt{3} \cdot PIV \cdot I_D \cos \alpha$$

$$I_D = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot PIV \cdot \cos \alpha}$$

$$I_D = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot \cos \alpha}$$

$$I_D = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 110 \cdot \cos 300}$$

$$I_D = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0.7} = 0.824 \text{ A}$$

Jika arus maksimum (I_{max}) adalah :

$$I_{max} = \sqrt{2} \cdot I_D$$

$$I_{max} = \sqrt{2} * 0.824 = 1.4 \text{ A}$$

Maka arus searah (I_{DC}) yang mengalir pada masing-masing dioda adalah :

$$I_{DC} = \frac{I_{max}}{\pi} = \frac{1.4}{3.14} = 0.45 \text{ A}$$

3.4 Pemrograman PWM dengan Atmega 8535

Pada pemrograman PWM dengan *Atmega 8535*, terdapat beberapa teknik untuk pengaturan PWM dalam pesaklaran. Teknik yang umum digunakan adalah:

- PWM tunggal (*single pulse width modulation*)
- PWM jamak (*multiple pulse width modulation*)
- PWM sinusoida
- PWM modifikasi sinusodia
- Pengaturan penempatan fasa (*phase displacement*)

Dalam karya tulis ini teknik yang dipilih adalah pengaturan penempatan fasa. Penempatan pulsa dalam satu fasa dilakukan dengan cara membandingkan dengan nilai dari suatu sinusoida. Untuk setengah periode dibagi menjadi tujuh bagian. Dan dimisalkan lebar pulsa maksimum adalah 500 us untuk setengah periode sama dengan 8ms (untuk $f = 60$ Hz). Seperti pada tabel dibawah ini

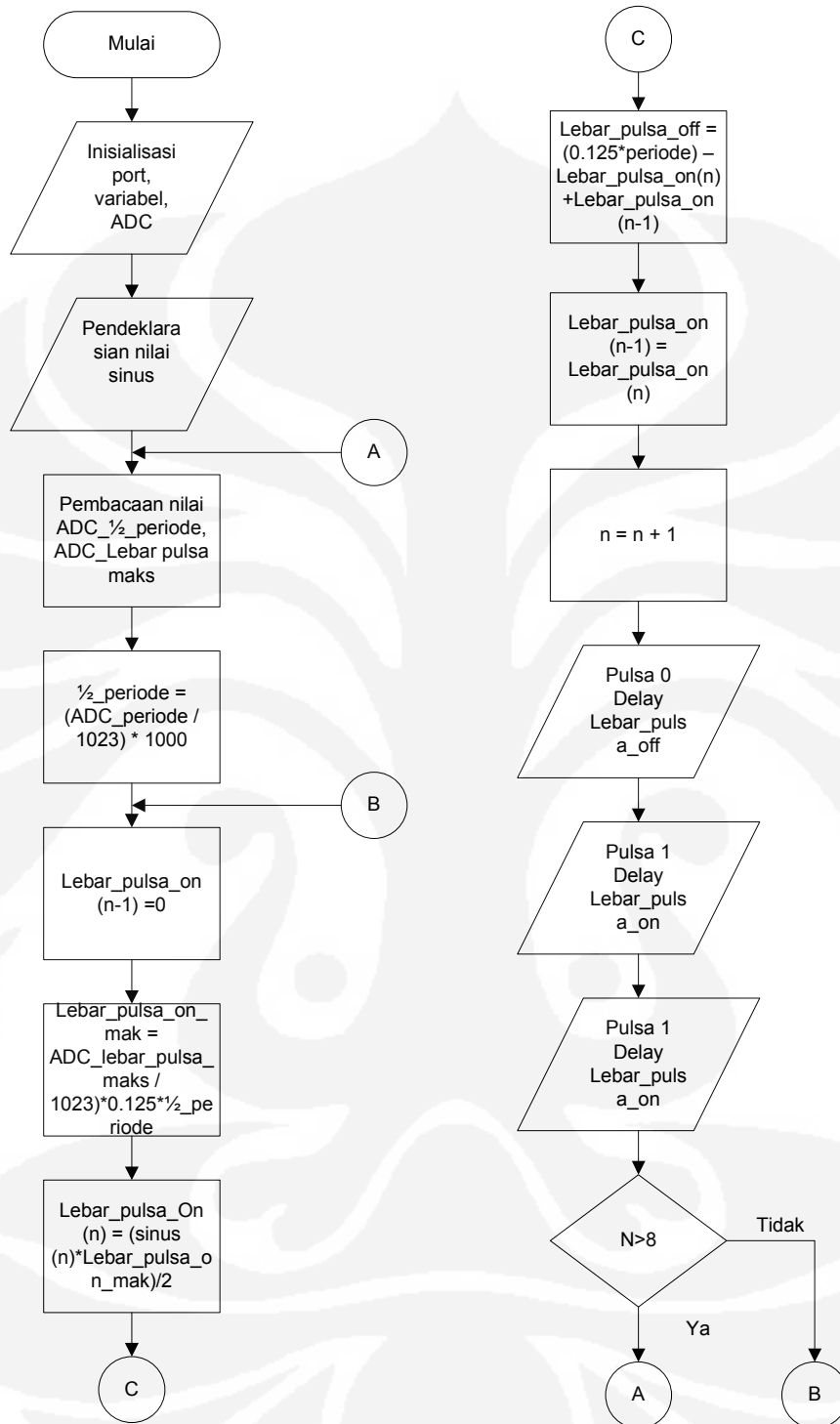
Tabel 3.1 Penentuan nilai dan posisi pulsa ON dan OFF

No	Derajat (X)	Nilai sinus (derajat)	Besarnya pulsa on di X_n	Besarnya pulsa off sebelum X_n	Besarnya pulsa off sesudah X_n
1	22.5	0.382499	191	904	728
2	45	0.706825	353	728	592
3	67.5	0.923651	462	592	519
4	90	1	500	519	519
5	112.5	0.92426	462	519	592
6	135	0.707951	354	592	727
7	157.5	0.383971	192	727	904



Gambar 3.4 Besarnya PWM dalam setengah periode

Adapun dibawah ini *flowchart* pemrogramannya. Dalam pemrograman ini, penulis mencoba membuat rancangan agar nilai frekuensi atau periode dan nilai amplitudo dapat diatur dengan menggunakan fasilitas dari *microcontroller* ini yaitu masukan ADC



Gambar 3.5 Flowchart pemrograman PWM

BAB IV

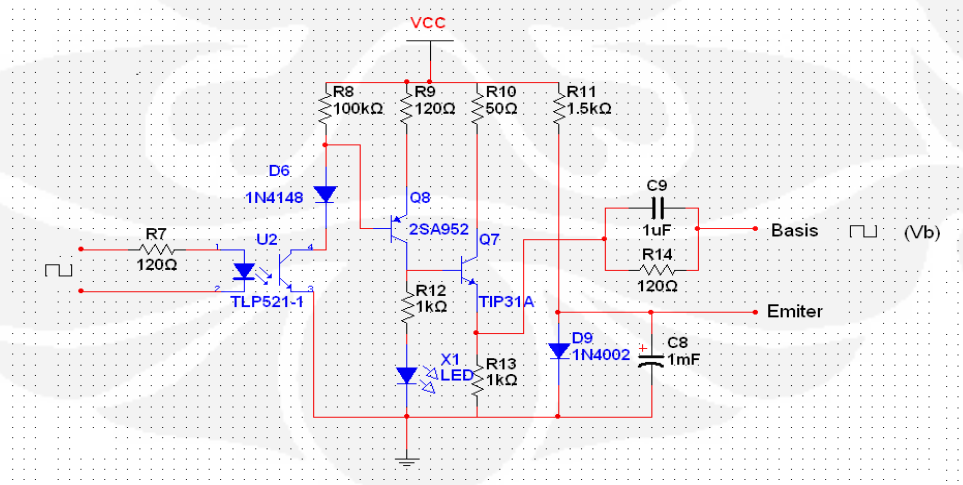
ANALISA

4.1 Pendahuluan

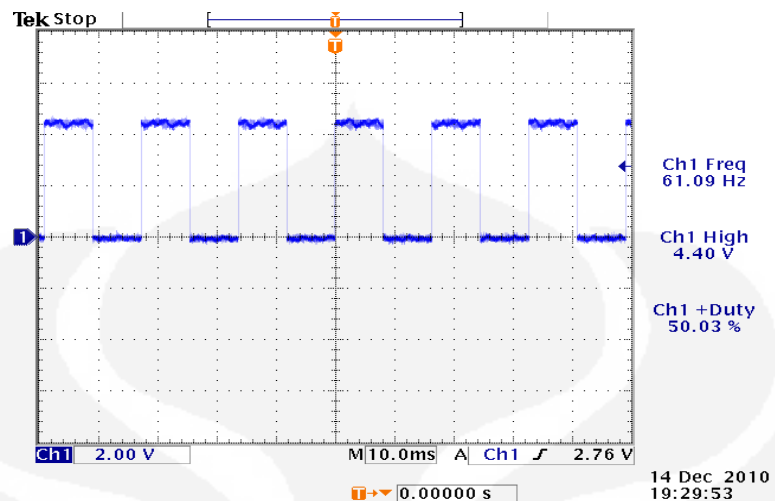
Pada bab 4 ini dibahas tentang hasil pengujian terhadap rangkain yang telah di rancang dan realisasikan. Pertama-tama akan dibahas hasil percobaan perbagian dari masing-masing pesaklaran.

4.2 Percobaan rangkaian kontrol dengan masukan PWM

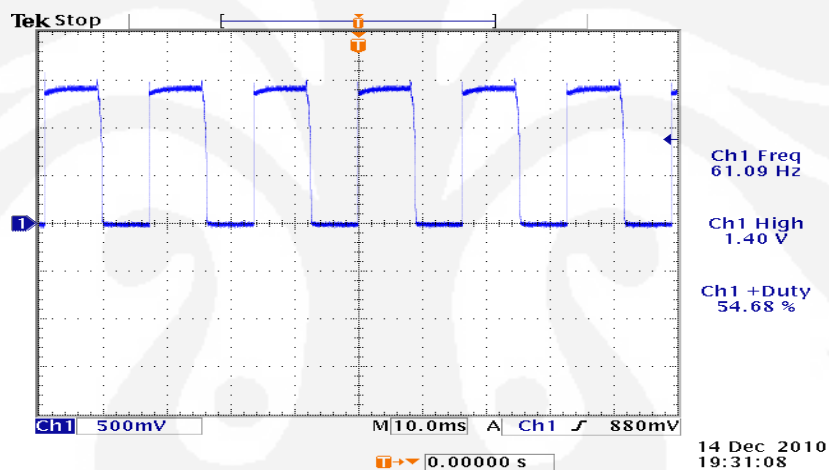
Pada percobaan pertama adalah pengetesan dari tiap-tiap rangkaian kontrol, dimana rangkaian kontrol ini sebagai pemacu basis dari transistor BJT. Percobaan dilakukan seperti pada gambar 4.1 dengan harga VCC adalah 15 VDC. Masukan diberi signal pulsa, pemberian signal pulsa karena aplikasi inverter ini akan menggunakan masukan berupa PWM. PWM dihasilkan dari *microcontroller Atmega 8535*. Keluaran pada rangkain tersebut adalah pada Vb, keluaran yang diinginkan adalah bentuk pulsa yang sama dengan signal masukan, mempunyai *duty cycle* yang sama. Dalam percobaan ini nilai *duty cycle* masukan adalah 50%, sedangkan pada Vb sebesar 54 %. Hal ini disebabkan oleh adanya proses *discharging* kapasitor (C9) pada saat pulsa masukan PWM posisi *off*.



Gambar 4.1 Rangkain kontrol dengan masukan signal pulsa[4]



Gambar 4.2 Signal pulsa masukan



Gambar 4.3 Signal pulsa keluaran Vb

Pada saat perubahan dari pulsa ON ke OFF, signal keluaran tidak langsung bernilai nol, ada jeda waktu. Hal ini karena adanya pengosongan dari kapasitor (C9) sehingga waktu mengakibatkan *duty cycle* semakin besar dengan nilai *time constant* pengosongan adalah,

$$\tau = RC$$

Dengan nilai $R = 120 \Omega$ dan $C1 = 1 \mu\text{F}$

$$\tau = 120 \times 1.10^{-6} = 120 \mu\text{s}$$

4.3 Percobaan rangkaian daya dengan masukan PWM

Sedangkan untuk pengetesan rangkaian daya. Percobaan dilakukan seperti pada gambar 4.4, dimana basis dan emitor pada transistor BJT mendapat suplay dari rangkaian kontrol. Adapun keluaran signal pada transistor seperti pada gambar 4.5. Pada signal keluaran yang pembacaannya melalui *osciloscop*, *probe osciloscop* di *setting* dengan faktor pengali 10 (10 x) sehingga pada tampilan *osciloscop* nilai *CHI high* adalah 14.4 V dikali 10 adalah 144 VDC. Signal keluaran pada V_t berbanding terbalik dengan sinyal keluaran pada rangkaian kontrol. pada gambar 4.5, signal keluaran memiliki *rise time* yang besar disebabkan adanya kapasitor (C1) yang diparalel dengan tegangan keluaran (V_t). Oleh karena karakteristik dari kapasitor yaitu melakukan pengisian pada saat awal proses. Maka terdapat waktu tanggap untuk mencapai keadaan yang *steady state*. Adapun nilai *time constant* (τ) dari rangkaian RC pada rangkaian daya ini adalah

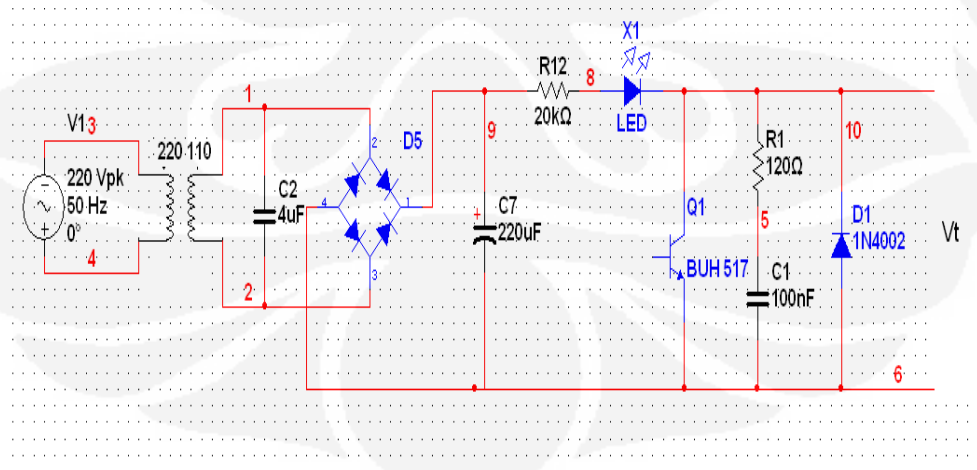
$$\tau = RC$$

Dengan nilai $R1 = 120 \Omega$, $R12 = 20 \text{ k} \Omega$ dan $C1 = 100 \text{ nF}$

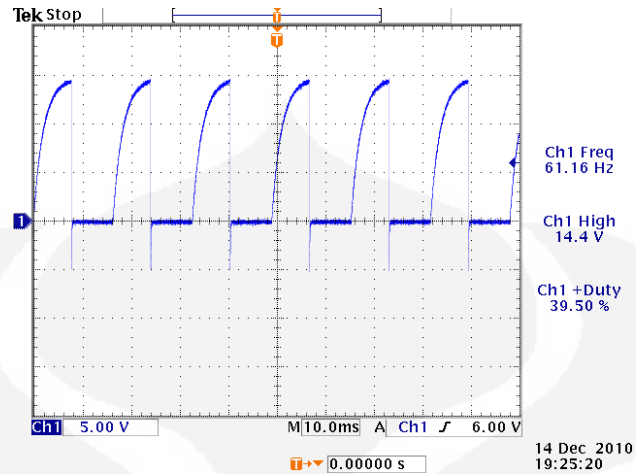
$$\tau = (120 + 20 \cdot 10^3)100 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau = 20,12 \cdot 10^3 \times 100 \cdot 10^{-9}$$

$$\tau = 2,012 \cdot 10^{-3} = 2,012 \text{ ms}$$

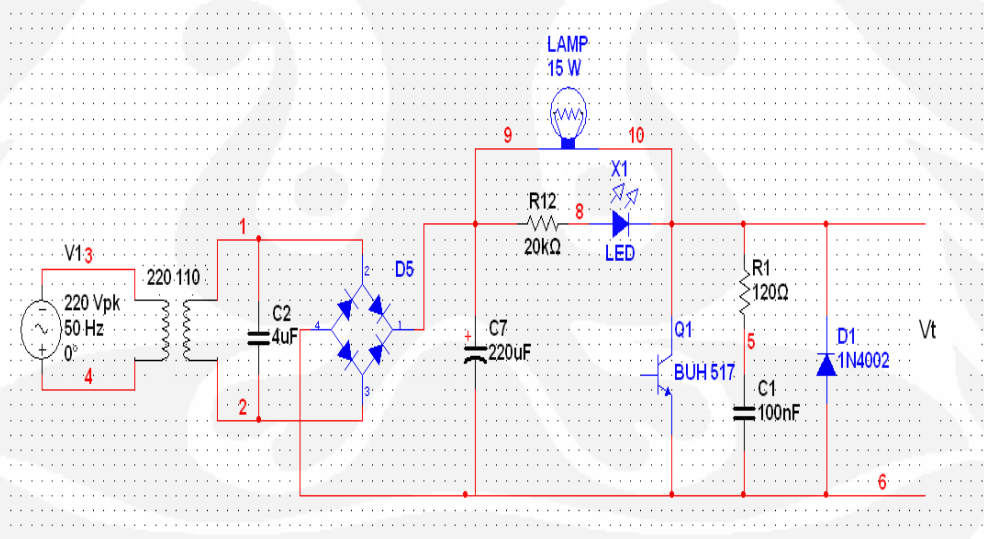


Gambar 4.4 Percobaan rangkaian daya [4]

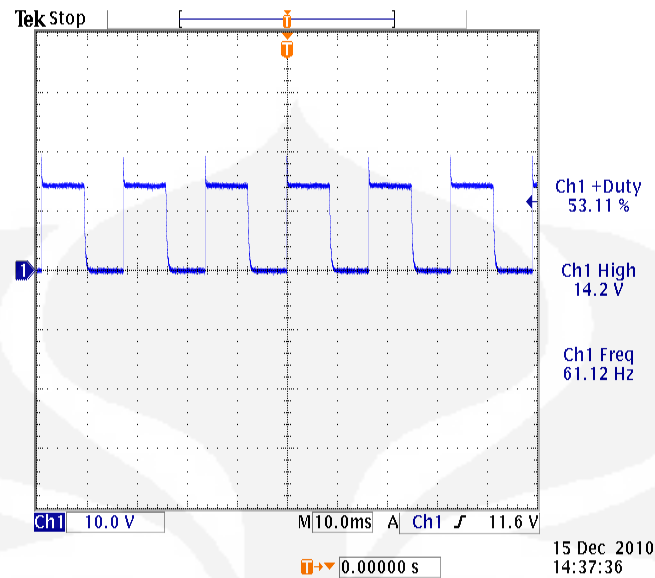


Gambar 4.5 Signal pulsa pada transistor BJT

Dikarenakan keluaran pada transistor BJT memiliki respon yang lambat maka untuk mendapatkan respon yang cepat pada R12 dipasang suatu komponen yang bersifat induktif, dalam hal ini lampu bohlam 15 watt. Karena karakteristik dari induktif adalah meningkatkan *overshoot*. Seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Percobaan rangkaian daya ditambah lampu 15 Watt



Gambar 4.7 Signal pulsa pada transistor BJT percobaan dengan lampu

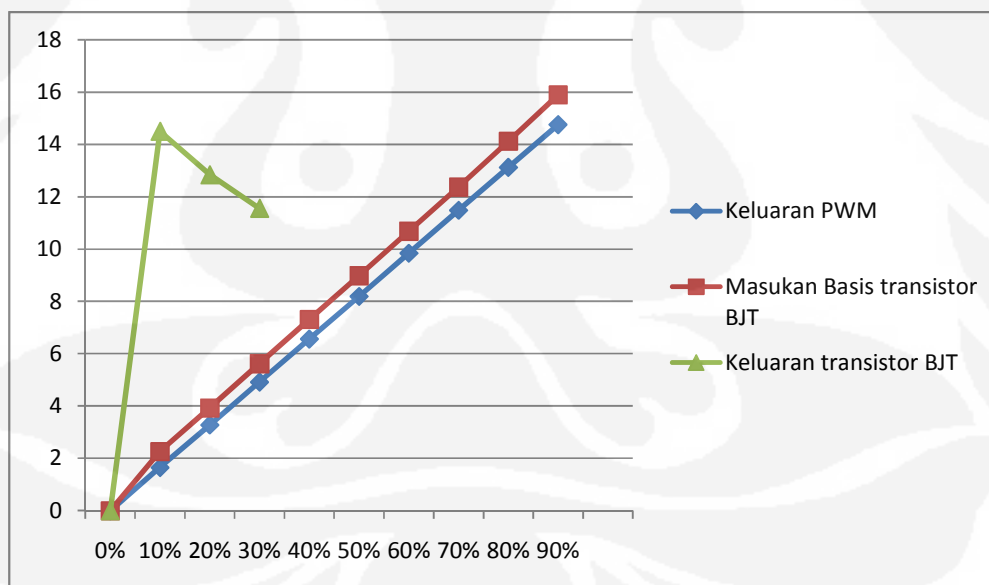
Setelah ditambah dengan lampu, persentase dari *duty cycle* lebih besar dari pada tidak ditambah lampu, sehingga *duty cycle* keluaran pada transistor hampir mendekati dengan nilai masukan pada rangkaian kontrol. Bila kita menambah kapasitas lampu yang sebelumnya 15 W menjadi lebih besar dari itu maka kemungkinan besar kita akan mendapatkan nilai *duty cycle* lebih kecil dari gambar 4.7, tetapi akan memunculkan *overshoot* yang tinggi.

4.3.1 Percobaan dengan masukan PWM berubah-ubah

Pada percobaan ini membandingkan keluaran pada transistor BJT dengan masukan PWM dari 0 % sampai 90 %. Untuk mendapatkan PWM yang dapat diubah-ubah maka pada pemrograman dimikrokontroler, penulis menggunakan kelebihan dari *Atmega8535* yaitu ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan bantuan *potensiometer* sebagai kontrol dan keluarannya di pin PWM pada mikrokontroler. Nilai ADC dibagi menjadi sepuluh bagian Hasil dari percobaan ini terlihat seperti tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil percobaan dengan PWM yang berubah-ubah

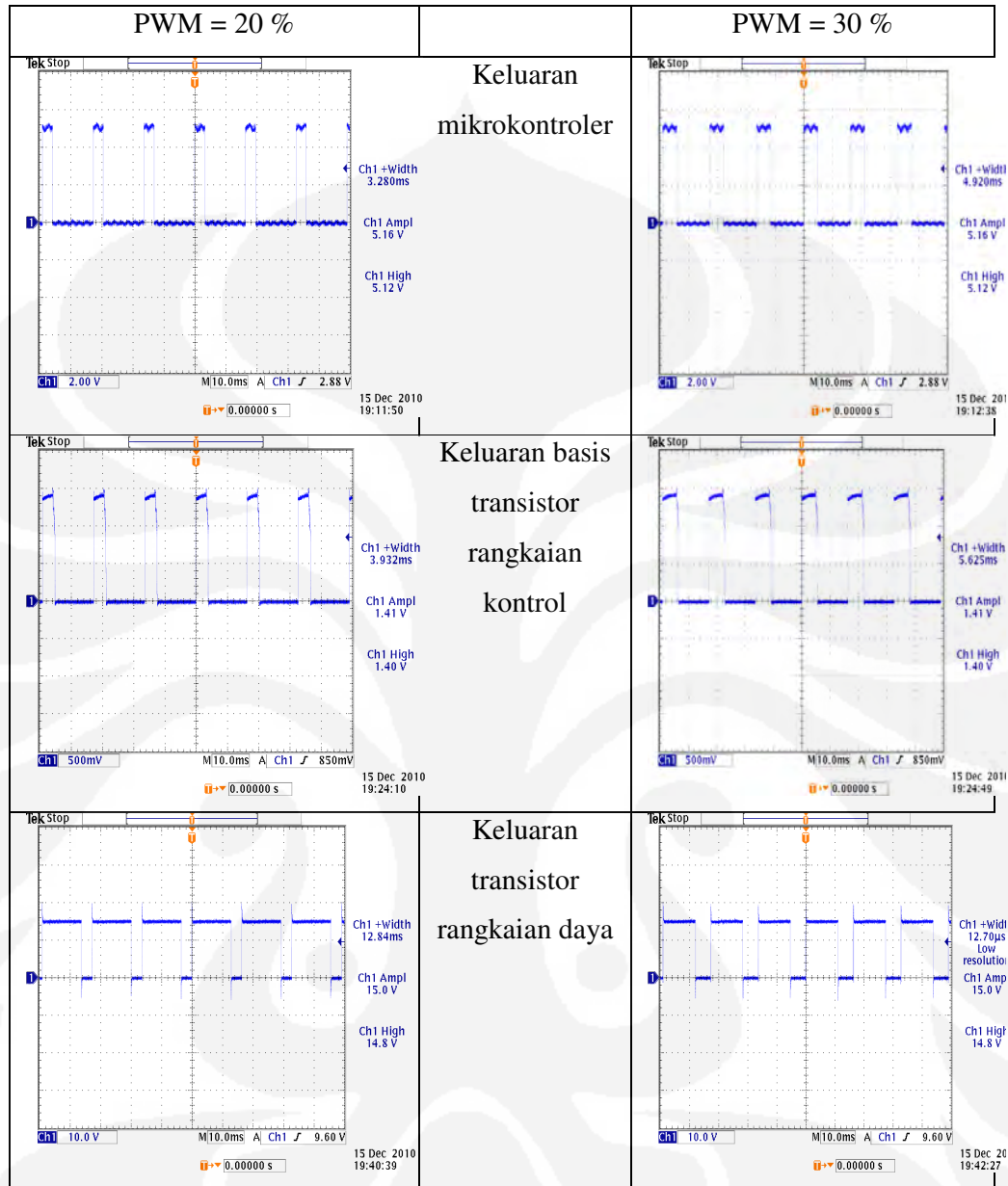
No	Persentase PWM	To (ms)		
		Keluaran PWM	Masukan Basis transistor BJT	Keluaran transistor BJT
1	0 %	0	0	0
2	10 %	1.650	2.264	14.50
3	20 %	3.280	3.932	12.84
4	30 %	4.920	5.625	11.56
5	40 %	6.560	7.308	
6	50 %	8.190	8.978	
7	60 %	9.840	10.68	
8	70 %	11.48	12.37	
9	80 %	13.12	14.12	
10	90 %	14.75	15.89	

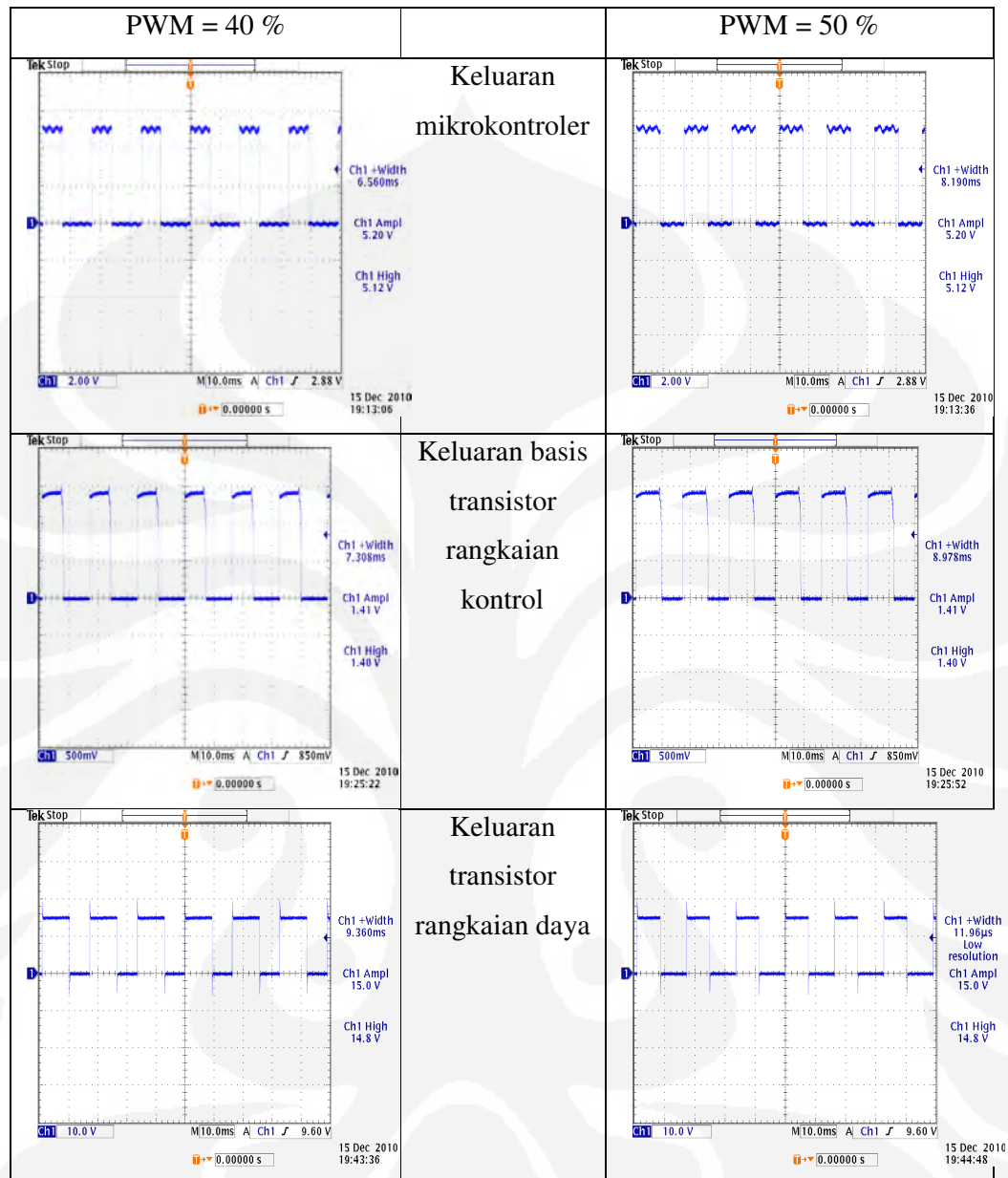


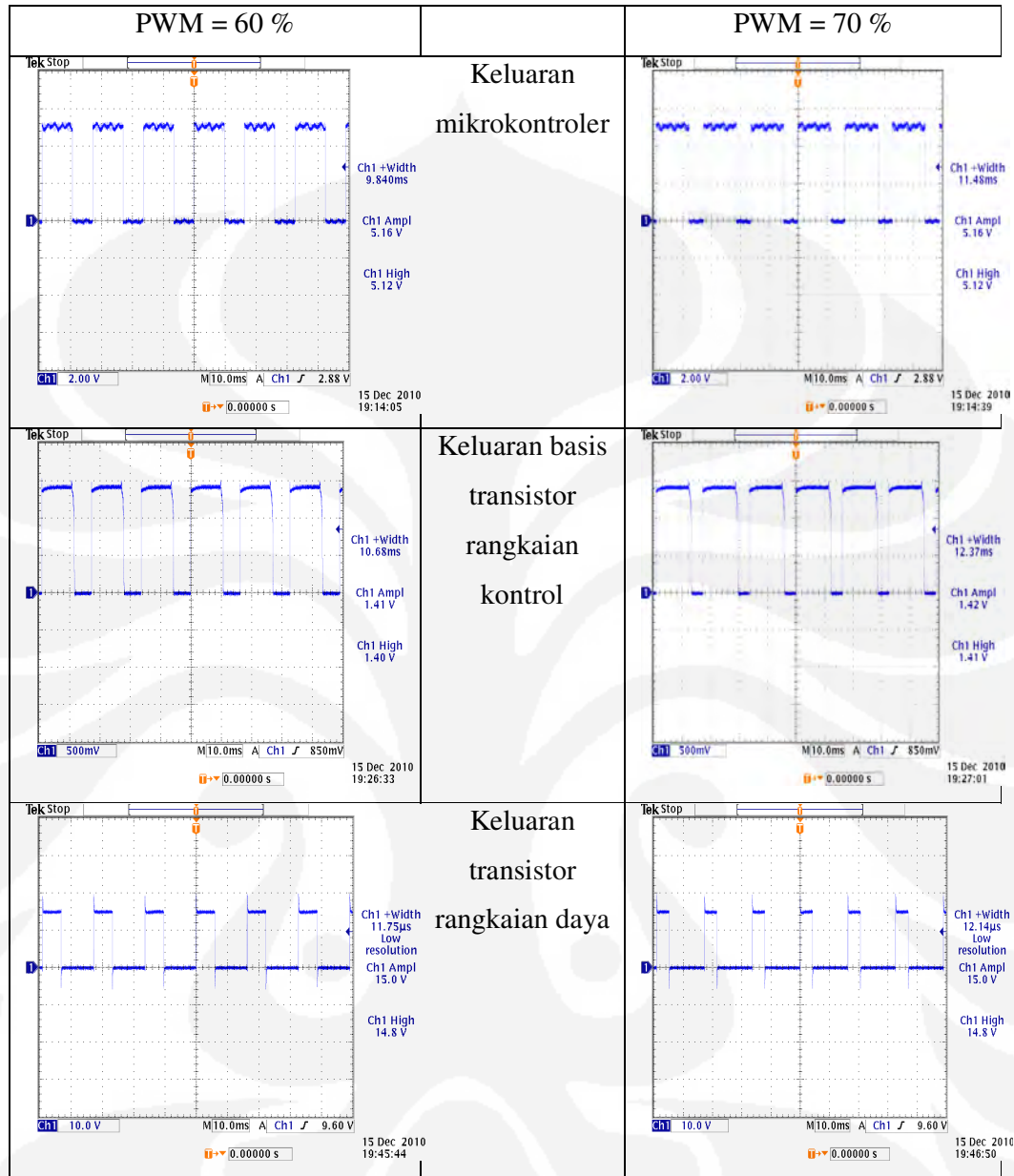
Gambar 4.8 Grafik hasil percobaan dengan PWM yang berubah-ubah

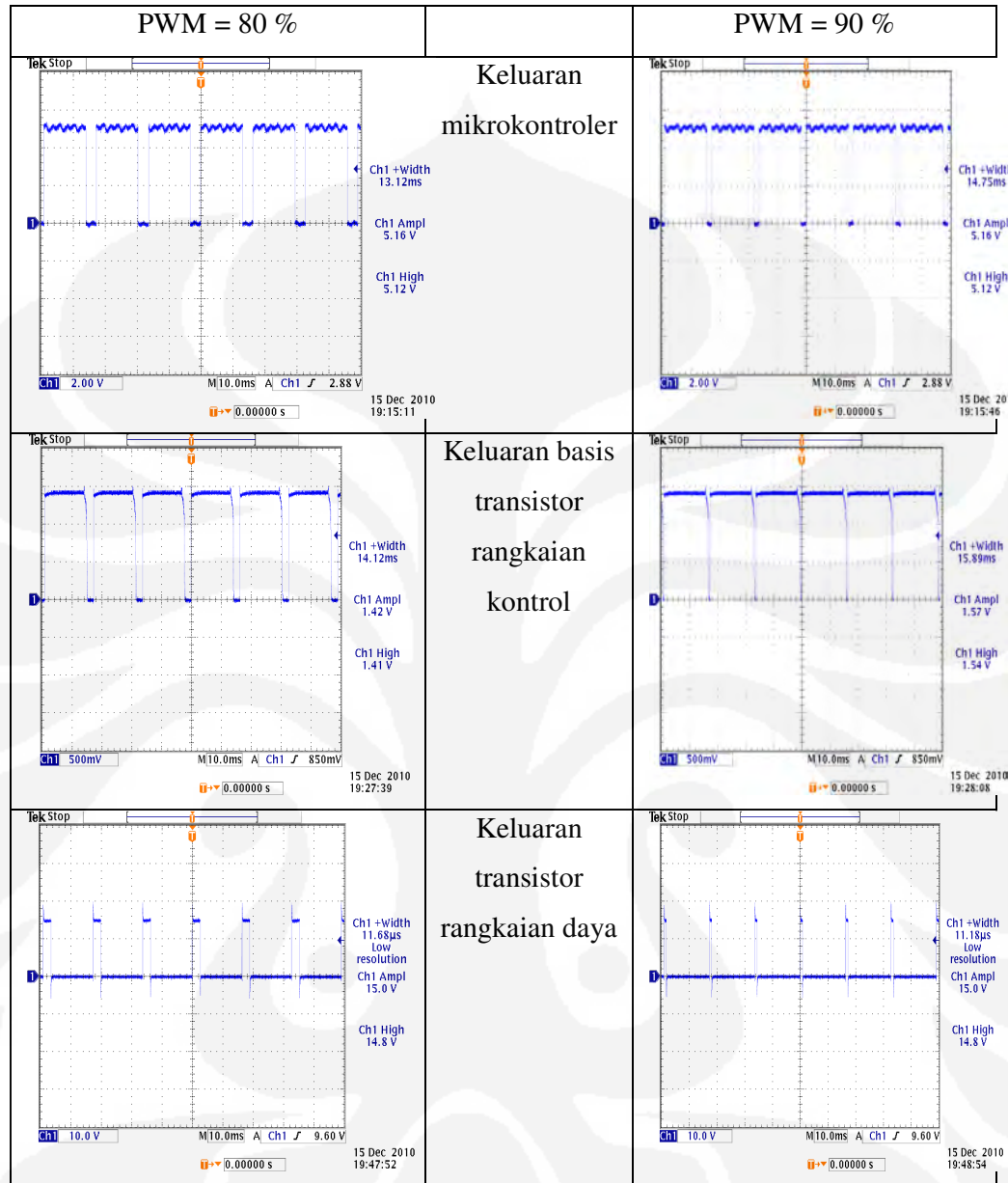
Tabel 4.2 Gambar hasil percobaan dengan PWM yang berubah-ubah

PWM = 0 %		PWM = 10 %
	<p>Keluaran mikrokontroler</p>	
	<p>Keluaran basis transistor rangkain kontrol</p>	
	<p>Keluaran transistor rangkain daya</p>	







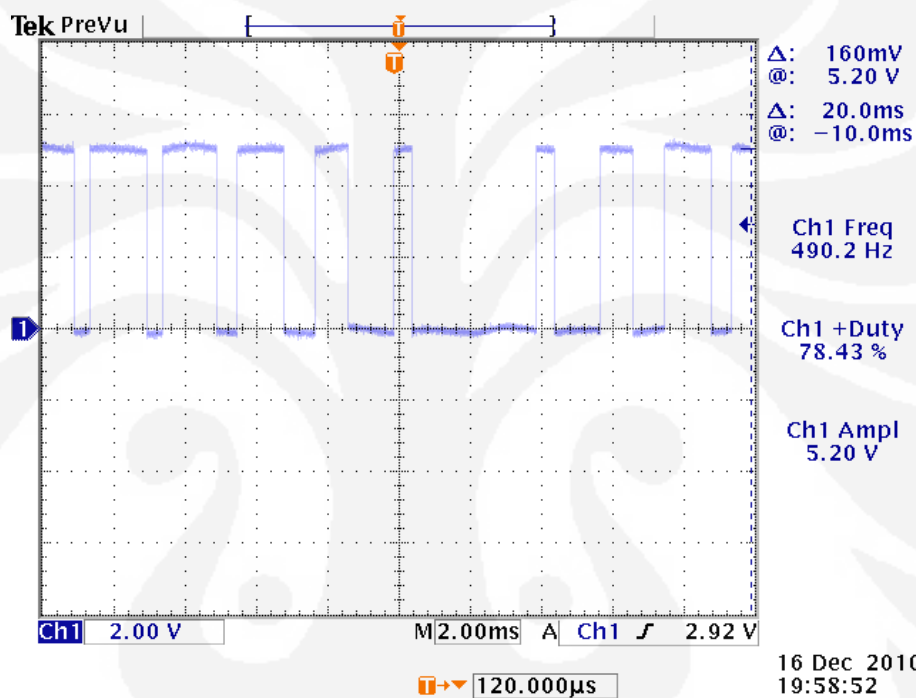


4.4 Percobaan dengan pembentukan gelombang sinusoidal

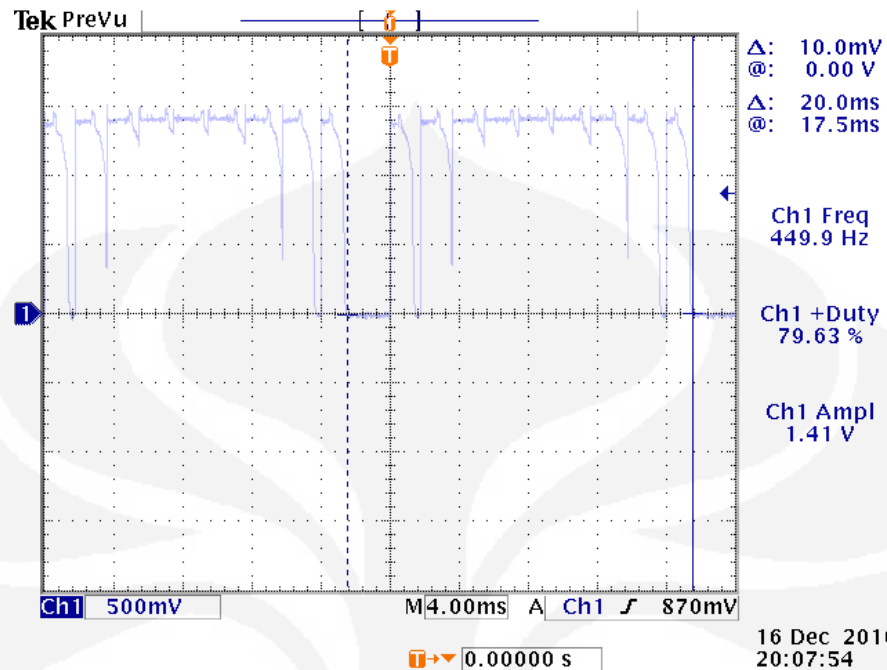
Didalam percobaan ini, hasil yang diinginkan adalah pembentukan suatu signal yang berbentuk sinusoidal dengan mengatur keluaran dari suatu mikrokontroler.

4.4.1 Percobaan pada mikrokontroler dan rangkaian kontrol

Dalam pengujian awal ini, keluaran bentuk gelombang pada sinusoidal pada mikrokontroler seperti pada gambar 4.7. Bentuk gelombang yang dihasilkan bila dikonversikan dengan bentuk sinusoidal adalah setengah gelombang sinusoidal dengan frekuensi 25 Hz. Sedangkan bila gelombang tersebut digunakan sebagai masukan untuk rangkaian kontrol maka bentuk signal yang dihasilkan seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4.9 Hasil percobaan gelombang sinusoidal pada keluaran mikrokontroler



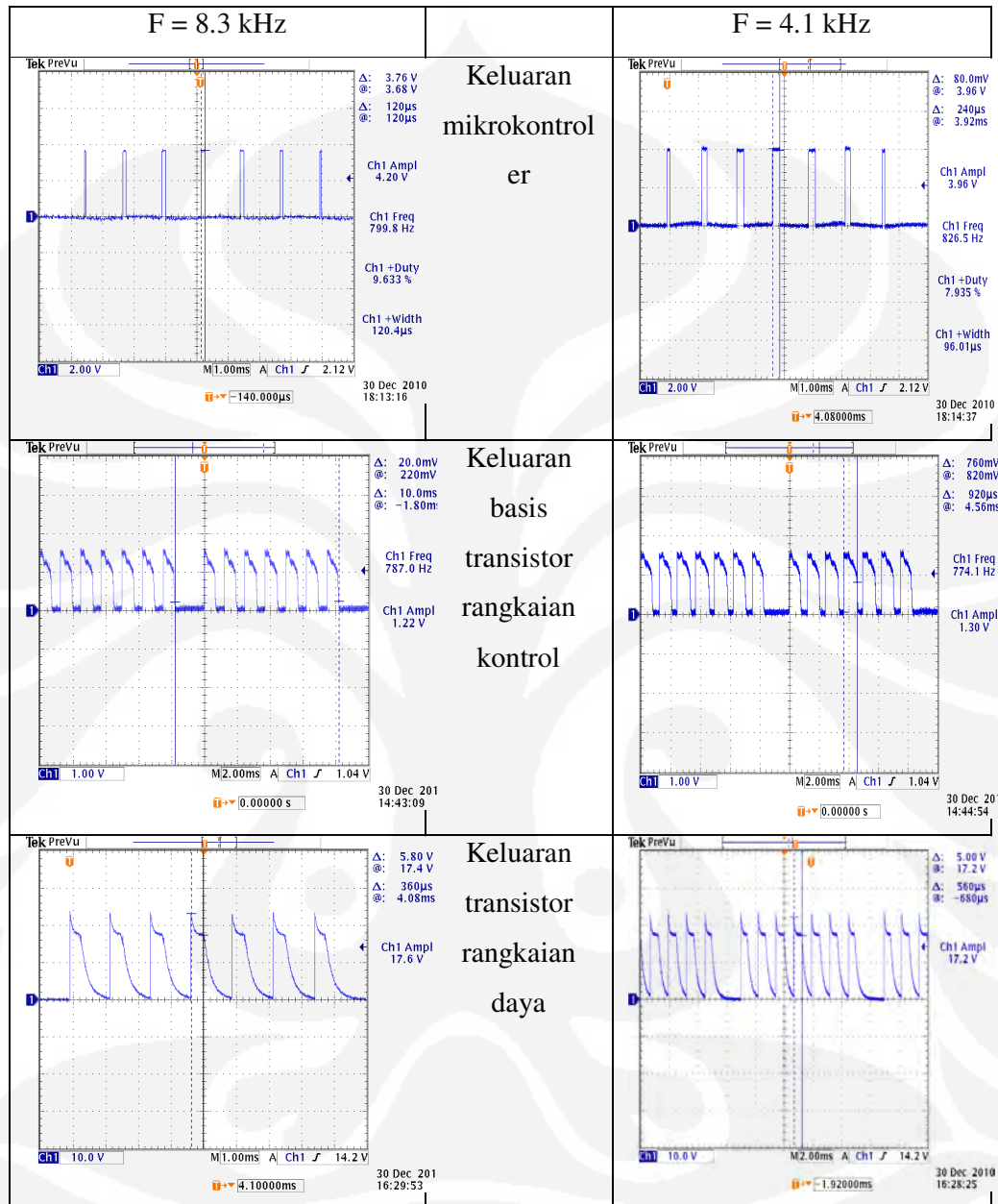
Gambar 4.10 Hasil percobaan gelombang sinusoidal pada keluaran rangkaian kontrol

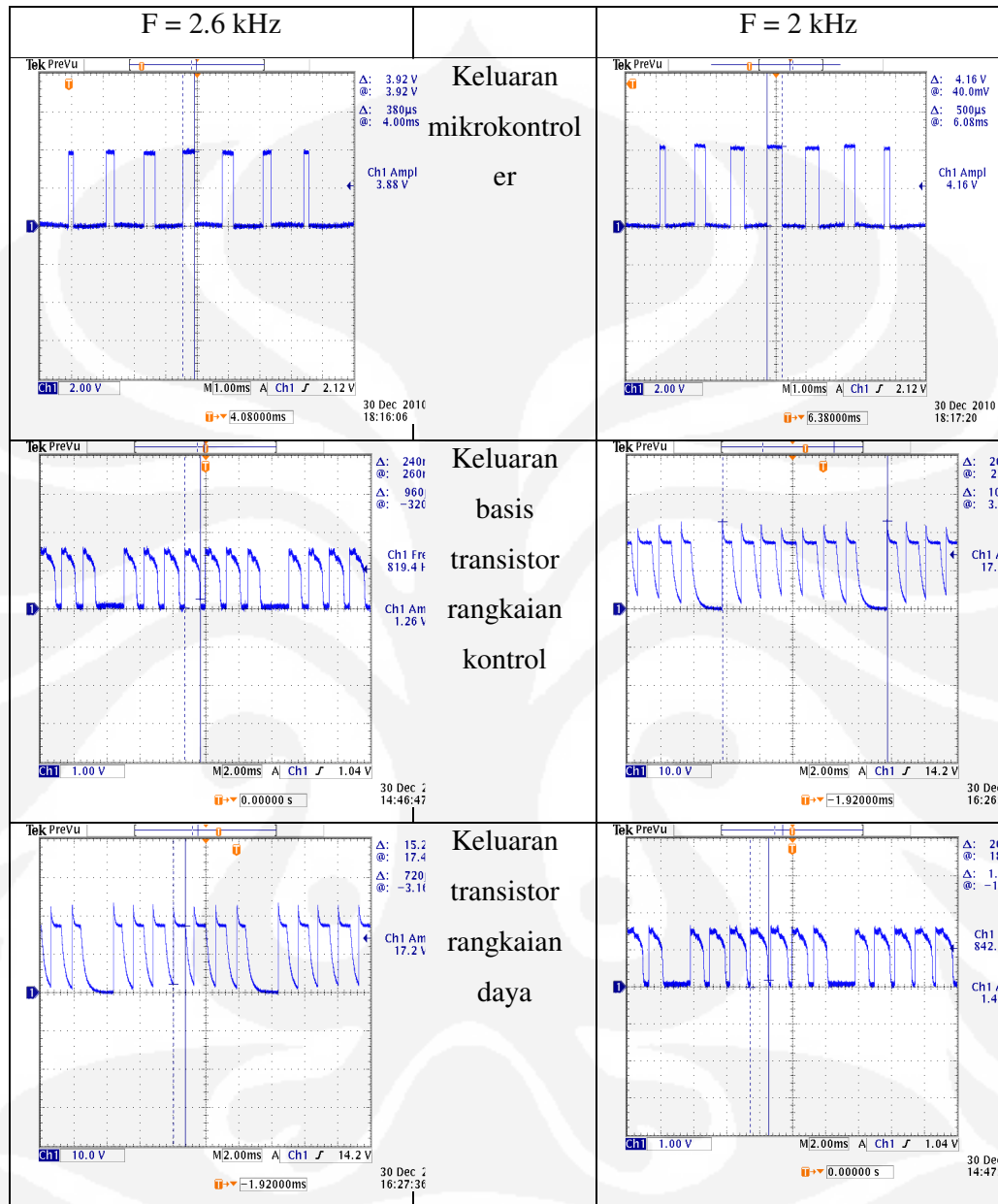
Pada gambar 4.7. Respon pada saat *keluaran* pada mikrokontroler berposisi *off* tidak mencapai nol volt, hal ini dikarenakan *discharging* kapasitor (C9) pada gambar 4.1. Pada saat pulsa pertama berpindah dari posisi ON ke OFF, seharusnya tidak ada tunda waktu (*transient respon*) sehingga untuk pulsa selanjutnya bisa dimulai dari posisi nol, karena ada tunda waktu maka pada saat muncul pulsa selanjutnya tidak mulai dari posisi nol.

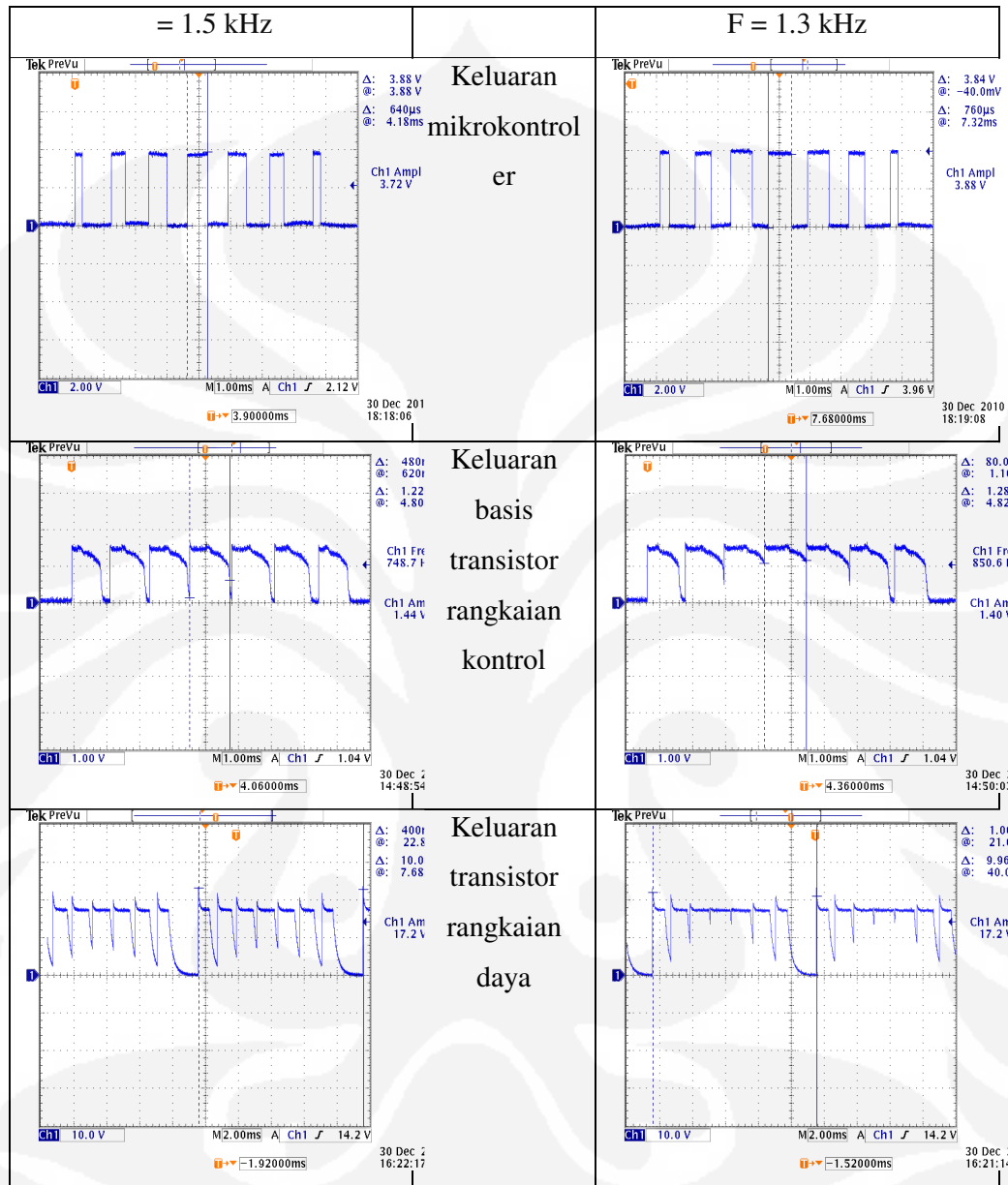
4.4.2 Percobaan keluaran pada rangkaian daya

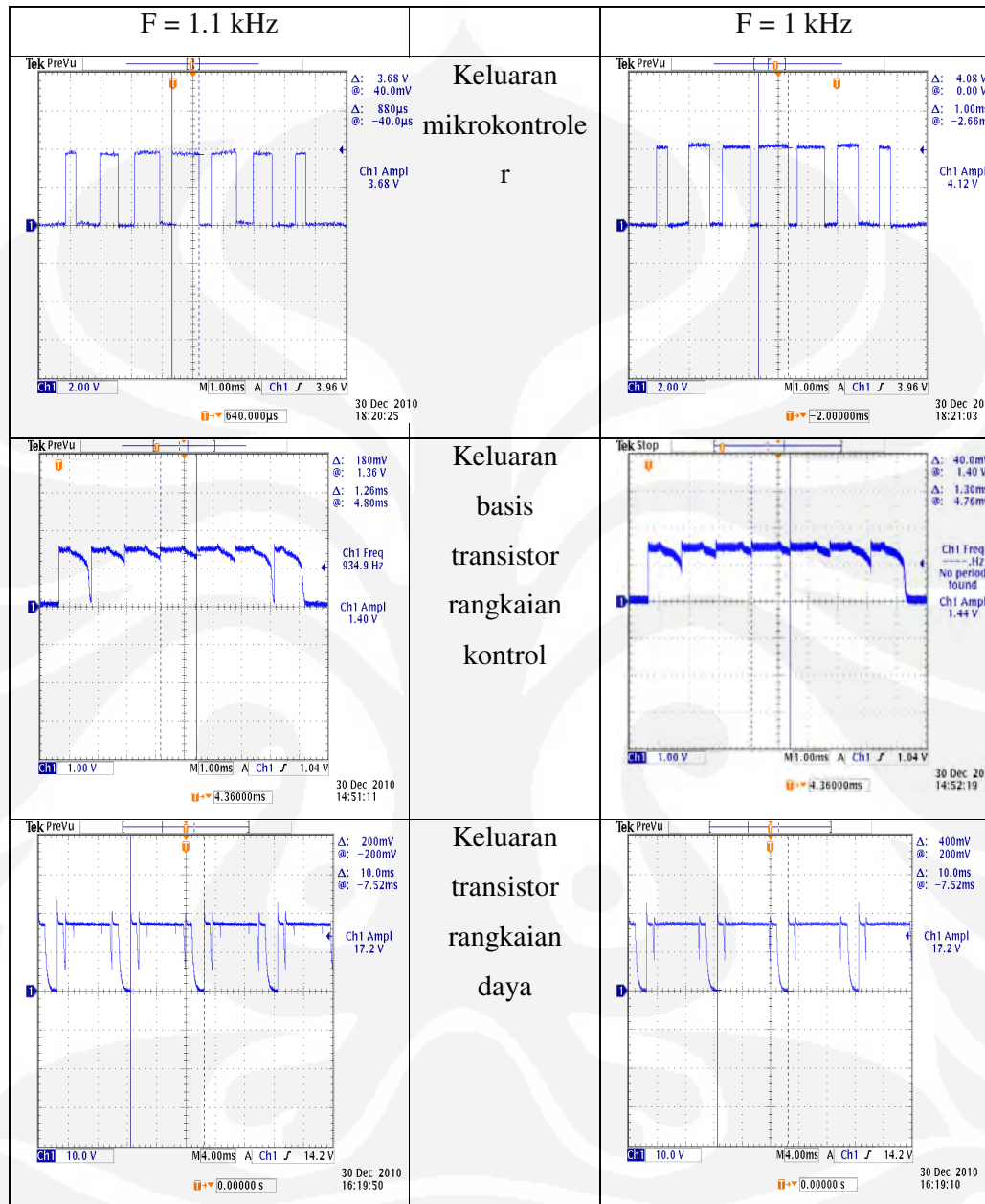
Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 4.3. Untuk pesaklaran pada transistor dirangkaian daya, respon yang paling baik adalah dengan frekuensi pada lebar pulsa maksimum yaitu 4 kHz ke atas. Hal ini kemungkinan besar terjadi dikarenakan pada rangkaian kontrol, saat perubahan dari pulsa ON ke pulsa OFF, terjadi *fall time* yang sangat besar. Sehingga mengakibatkan respon ke transistornya juga melambat. Contoh pada saat frekuensi sama dengan 4.1 kHz, nilai waktu pulsa on pada keluaran mikrokontroler adalah 240 us sedangkan pada rangkaian kontrol adalah 920 us.

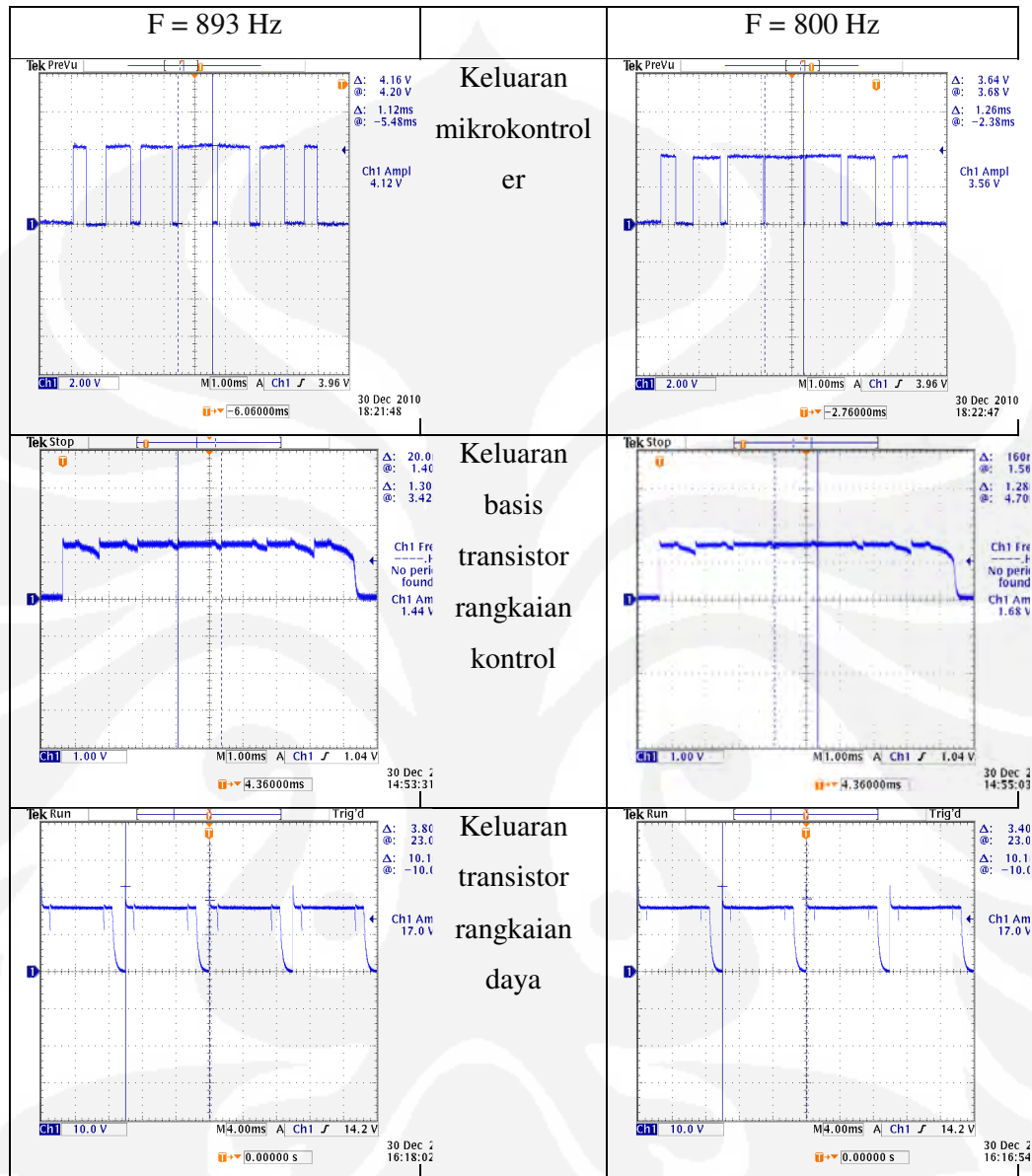
Tabel 4.3 Hasil percobaan dengan pulsa masukan berbentuk sinusoidal











BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Untuk membentuk suatu gelombang berbentuk sinusoidal pada suatu rangkaian switching dapat menggunakan PWM
2. Dari hasil pengujian, nilai menggunakan komponen yang bersifat kapasitif maupun induktif sangatlah berpengaruh pada bentuk signal yang dihasilkan.
3. Untuk proses pesaklaran, transistor yang digunakan lebih baik mempunyai kecepatan pesaklaran yang cepat.
4. Dengan adanya percobaan ini, diharapkan penulis dapat mengerti cara kerja suatu proses pesaklaran, dalam hal ini inverter.

DAFTAR ACUAN

- [1] Wilman. Jacob, (1986), “MIKROELEKTRONIKA”, Jakarta, Airlangga.
- [2] Membangun Sinyal PWM pada AVR dengan BASCOM AVR
www.juraganelektro.com , 27 Maret 2010.
- [3] Akbarifutra. Citra , “Analisis Riak Sisi Input Inverter Pwm Lima Fasa Pada Berbagai Teknik Modulasi”, Tugas Akhir , Institut Teknologi Bandung, Indonesia., 2009.
- [4] Slamet, “Pembentukan sinyal PWM tiga fasa menggunakan metode space vector berbasis microcontroller berbasis Atmega 16”, tesis, universitas indonesia, 2008.
- [5] Sudirham. Sudaryatno, (2002), “Analisis Rangkaian Listrik”, Bandung, ITB.
- [6] www.alldatasheets.com

DAFTAR PUSTAKA

Wilman. jacob, (1986), “MIKROELEKTRONIKA”, Jakarta, Airlangga.

Membangun Sinyal PWM pada AVR dengan BASCOM AVR

www.juraganelektro.com . 27 Maret 2010.

Akbarifutra. Citra , “Analisis Riak Sisi Input Inverter Pwm Lima Fasa Pada Berbagai Teknik Modulasi”, Tugas Akhir , InstitutTeknologi Bandung, Indonesia., 2009.

Slamet, “Pembentukan sinyal PWM tiga fasa menggunakan metode space vector berbasis microcontroller berbasis Atmega 16”, tesis, universitas indonesia, 2008.

Sudirham. Sudaryatno, (2002), “Analisis Rangkaian Listrik”, Bandung, ITB.

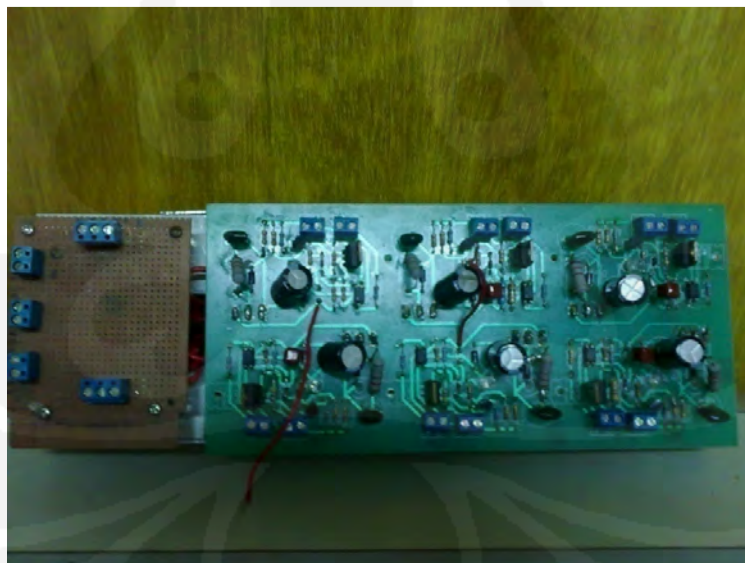
www.alldatasheets.com

LAMPIRAN A

Foto alat



Rangkaian daya



Rangkaian kontrol