



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENURUN TEGANGAN  
(STEP DOWN CONVERTER)  
DENGAN SOLAR SEL SEBAGAI SUMBER  
BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535**

**SKRIPSI**

**KUSNANDAR**  
**07 06 199 533**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENURUN TEGANGAN  
(STEP DOWN CONVERTER)  
DENGAN SOLAR SEL SEBAGAI SUMBER  
BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**KUSNANDAR  
07 06 199 533**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : KUSNANDAR**

**NPM : 0706199533**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 16 Juni 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Kusnandar  
NPM : 0706199533  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Penurun Tegangan ( Step Down Converter ) dengan Solar Sel Sebagai Sumber Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535

**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 Yusifar M.Eng ( )  
Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan M.T ( )  
Penguji : Aries Subiantoro S.T, M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2009

### KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, 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 Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi 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 tercinta dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

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, 16 Juni 2009

Kusnandar

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

## SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

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

Nama : Kusnandar  
NPM : 0706199533  
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 :

**RANCANG BANGUN SISTEM PENURUN TEGANGAN (STEP DOWN CONVERTER) DENGAN SOLAR SEL SEBAGAI SUMBERNYA BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535**

berserta 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 : 16 Juni 2009  
Yang menyatakan

( Kusnandar )

## ABSTRAK

Nama : Kusnandar  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Sistem Penurun Tegangan (Step Down Converter) dengan Solar Sel Sebagai Sumber Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535

Sistem penurun tegangan (*step down converter*) pada solar sel adalah suatu sistem penurun tegangan dengan memanfaatkan solar sel sebagai sumbernya yang kemudian diswitching dengan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan mikrokontroler untuk mendapatkan tegangan Ac kotak pada *inverter bridge* mosfet. Kemudian tegangan Ac tersebut, akan diturunkan dengan menggunakan trafo *step down* sesuai dengan tegangan yang diinginkan. Setelah melalui rangkaian penyearah dan filter, tegangan tersebut dapat diatur menggunakan rangkaian adjustable tegangan.

Sistem penurun tegangan ini untuk ke depannya dapat difungsikan untuk mengisi baterai. Maka tegangannya dapat diatur dari 6V sampai 24 V disesuaikan dengan kondisi baterai yang akan diisi.

**Kata kunci** : step down converter, pulse width modulation, inverter bridge mosfet, mikrokontroler AVR Atmega 8535

## ABSTRACT

Name : Kusnandar  
Study program : Electrical Engineering  
Title : Design and Development Step Down Converter System  
With Solar Cell Source Based On Microcontroller Atmega  
8535

Step down converter system on solar cell is a step down voltage system using solar cell of source then switched with pulse width modulation (PWM) is produced microcontroller to get AC voltage in inverter bridge mosfet. Then this AC voltage will step down using step down transformer with voltage if we want. After across rectifier and filter circuit, this voltage can tuned using voltage adjustable circuit.

This step down converter for future can functioned to charging battery. Then this voltage can tuned from 6V to 24 V and other with battery condition will charged.

**Key word** : step down converter, pulse width modulation, inverter bridge mosfet, mikrokontroler AVR Atmega 8535



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	i
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR SINGKATAN .....	xii
DAFTAR ISTILAH.....	xi
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>v</b>
1.1 Latar Belakang .....	xv
1.2 Tujuan Penulisan .....	<b>1</b>
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Sistematika Penulisan .....	2
<b>2. DASAR TEORI .....</b>	<b>2</b>
2.1 Sel Surya .....	
2.1.1 Sejarah Sel Surya .....	<b>4</b>
2.2 Mikrokontroler AVR Atmega 8535 .....	4
2.2.1 Arsitektur ATmega8535 .....	4
2.2.2 Fitur ATmega8535 .....	5
2.2.3 Konfigurasi Pin ATmega8535 .....	6
2.2.4 Peta Memory.....	8
2.2.5 SREG (status register).....	8
2.2.6 General Purpose Register.....	9
2.2.7 Stack Pointer.....	12
2.2.8 Timer/Counter.....	13
a. Timer/counter0.....	15
b. Timer/counter1.....	15
c. Timer/counter2.....	15
2.2.9 PWM (Pulse Width Modulation).....	17
2.2.10 Analog Digital Converter.....	21
i. ADC Multiplexer selection Register.....	23
ii. ADC control dan Status Register.....	26
iii. ADC Data Register.....	27
iv. ADC auto trigger source.....	28
2.2.11 Bascom AVR.....	29
2.3 Mosfet .....	29
2.3.1 Parameter yang Banyak dipakai untuk Mosfet.....	30
2.4 Optotransistor.....	30
2.5 Transformator.....	30

<b>3. PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>31</b>
3.1 Sistem Secara Umum .....	33
3.1.1 Cara Kerja Sistem .....	37
3.1.2 Spesifikasi Komponen .....	37
3.2 Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras .....	37
3.2.1 Spesifikasi Perangkat Keras .....	38
3.2.2 Subsistem Push Button .....	38
3.2.3 Subsistem Pengendali .....	38
a. Spesifikasi Hardware.....	39
b. Tata Letak dan Konfigurasi jumper.....	39
3.2.4 Subsistem Switching PWM atau driver .....	40
3.2.6 Subsistem Sel Surya .....	40
3.2.7 Subsistem Power Supply.....	41
3.2.8 Subsistem Trafo dan Rectifier.....	42
3.3 Perancangan Dan Realisasi Perangkat Lunak .....	43
3.3.1 Spesifikasi Perangkat Lunak .....	44
3.3.2 Diagram Alir Perangkat Lunak .....	44
<b>4. PENGUJIAN DAN ANALISA.....</b>	<b>44</b>
a. Uji Coba dan Analisis Perangkat Keras.....	44
i. Pengujian Subsistem Pengendali.....	47
ii. Pengujian Subsistem Power Supply (Catu Daya).....	47
iii. Pengujian Subsistem <i>Driver</i> .....	47
iv. Pengujian Inverter Bridge Mosfet.....	48
v. Pengujian pengatur tegangan dan Regulator	49
vi. Pengujian alat secara keseluruhan.....	49
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	54
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>54</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
	55
	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Modul Sel Surya .....	5
Gambar 2.2.	Diagram fungsional ATmega8535.....	7
Gambar 2.3.	Pin ATmega8535.....	9
Gambar 2.4.	Konfigurasi memori data AVR ATmega8535.....	11
Gambar 2.5.	Memori program AVR ATmega8535 .....	12
Gambar 2.6.	Status register ATmega8535.....	12
Gambar 2.7.	Ke-32 Register <i>general purpose</i> .....	14
Gambar 2.8.	Register X-, Y- dan Z .....	15
Gambar 2.9.	Register TCCR0.....	16
Gambar 2.10.	Register TCCR1A .....	18
Gambar 2.11.	Register TCCR1B .....	20
Gambar 2.12.	Register TCCR2.....	21
Gambar 2.13	Pulsa PWM <i>inverting</i> dan <i>non-inverting</i> .....	25
Gambar 2.14	Pulsa PWM yang <i>glitch-free</i> .....	25
Gambar 2.15	Simbol dan bentuk Mosfet tipe N.....	30
Gambar 2.16	jembatan Mosfet.....	31
Gambar 2.17	foto transistor.....	32
Gambar 2.18	simbol transformator.....	34
Gambar 3.1.	Blok Diagram Sistem .....	37
Gambar 3.2.	rangkaian push button.....	39
Gambar 3.3.	realisasi push button .....	39
Gambar 3.4.	tampak atas DT AVR.....	40
Gambar 3.5.	rangkaian DT AVR .....	41
Gambar 3.6.	realisasi DT AVR .....	41
Gambar 3.7.	rangkaian driver .....	42
Gambar 3.8.	realisasi rangkaian driver .....	42

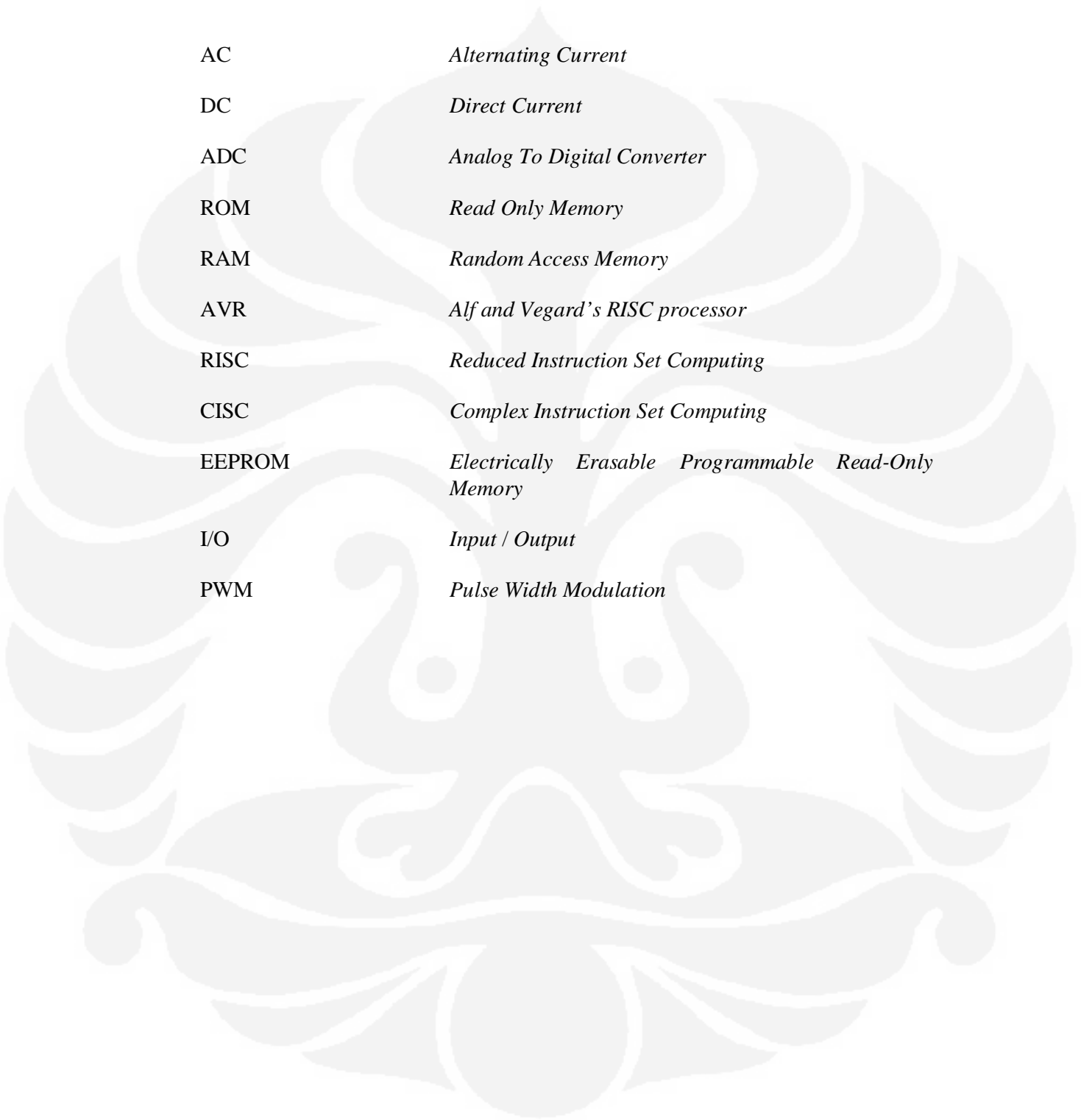
Gambar 3.9.	susunan modul sel surya .....	43
Gambar 3.10.	rangkaian power supply Realisasi Rangkaian Driver.....	43
Gambar 3.11.	realisasi power supply untuk driver .....	44
Gambar 3.12.	realisasi power supply untuk mikrokontroller .....	44
Gambar 3.13.	rangkaian adjustable .....	44
Gambar 3.14.	realisasi trafo,rectifier, rangkaian adjustable.....	45
Gambar 3.15	flowchart program secara umum.....	46
Gambar 4.1	Blok Diagram Pengujian Subsistem Pengendali	47
Gambar 4.2	Pengujian <i>inverter bridge</i> mosfet	50
Gambar 4.3	Hasil pengukuran sinyal pada pengendali <i>inverter bridge</i> mosfet	50
Gambar 4.4	Pengujian pengatur tegangan dan regulator	51
Gambar 4.5	pengujian alat secara keseluruhan	53
Gambar 4.6	Hasil pengukuran tegangan pada trafo saat frekuensi 50 Hz	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tabel pengalamatan register I/O.....	10
Tabel 2.2.	Konfigurasi Bit WGM01 dan WGM00.....	16
Tabel 2.3.	Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode non PWM</i> .....	16
Tabel 2.4.	Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode Fast PWM</i> .....	17
Tabel 2.5	Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode Phase Correct PWM</i> .....	17
Tabel 2.6	Konfigurasi Bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak...	17
Tabel 2.7	Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode non PWM</i> .....	19
Tabel 2.8	Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode Fast PWM</i> .....	19
Tabel 2.9	Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode Phase Correct dan Frequency Correct PWM</i> .....	19
Tabel 2.10	Konfigurasi bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak...	20
Tabel 2.11	Konfigurasi bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak...	21
Tabel 2.12	Konfigurasi Bit WGM21 dan WGM20.....	22
Tabel 2.13	Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode non PWM</i> .....	22
Tabel 2.14	Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode Fast PWM</i> .....	23
Tabel 2.15	Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode Phase Correct PWM</i>	23
Tabel 2.16	Konfigurasi Bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak...	23
Tabel 2.17	Konfigurasi Bit <i>WGM01 dan WGM00</i>	24
Tabel 2.18	Konfigurasi Bit <i>COM01 dan COM00 Compare Output Mode Phase Correct PWM</i>	24
Tabel 2.19	<i>ADC Multiplexer Selection Register</i>	27
Tabel 2.20	<i>Reference selection bits</i>	27
Tabel 2.21	Status Register A ( ADCSRA)	28

Tabel 2.22	Table skala clock ADC	29
Tabel 2.23	Register SFIOR	29
Tabel 2.24	Register SFIOR dan pemicu konversi ADC	30
Tabel 4.1	Tabel Hasil Uji Coba Subsistem Pengendali	47
Tabel 4.2	Hasil pengujian power supply	48
Tabel 4.3	Tabel Hasil Uji Coba Subsistem <i>Driver</i>	49
Tabel 4.4	Hasil pengujian rangkaian <i>inverter bridge</i> mosfet	50
Tabel 4.5	Hasil pengujian pengatur tegangan dan regulator	51

## DAFTAR SINGKATAN



AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
ADC	<i>Analog To Digital Converter</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
AVR	<i>Alf and Vegard's RISC processor</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
CISC	<i>Complex Instruction Set Computing</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
I/O	<i>Input / Output</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>

## DAFTAR ISTILAH

*BASKOM AVR*. Merupakan software yang digunakan dalam pemrograman mikrokontroler AVR Atmega 8535.

*Step down Converter* merupakan suatu cara untuk menurunkan tegangan dari tegangan yang besar menjadi tegangan yang kecil.



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

Pada zaman sekarang ini, krisis energi sedang melanda dunia. Khususnya pada sumber energi listrik. Selain terjadi krisis energi, di dunia ini juga mengalami pemanasan global yang mengakibatkan suhu udara semakin panas sehingga lapisan es di kutub utara mencair. Dikhawatirkan lama-kelamaan bumi ini menjadi tenggelam karena akibat es yang mencair tersebut. Hal ini dikarenakan Sumber energi listrik yang ada sekarang ini sebagian besar menggunakan bahan bakar minyak ( BBM ) dan batubara sebagai bahan bakar mesin penggerak generator. Selain kenyataan di atas, energi ini juga menimbulkan berbagai permasalahan yaitu tidak efisien bahkan bahan bakar di bumi ini semakin menipis karena bahan bakar minyak dan batubara termasuk pada energi yang dapat diperbaharui akan tetapi akan tetapi memerlukan puluhan bahkan ratusan tahun untuk memperbaharui energi tersebut. Apabila kita tidak mencari energi alternative sebagai sumber energi listrik, maka persediaan bahan bakar minyak dan batubara di bumi semakin menipis dan lama – kelamaan akan habis. Salah satu energi alternative yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik adalah sinar matahari atau lebih dikenal tenaga surya. Sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan alat yang disebut *photovoltaic* atau *solar cell* ( sel surya ). Sel surya ini akan menghasilkan listrik searah ( DC ) apabila permukaannya terkena sinar matahari dengan intensitas tertentu.

Berdasarkan hal tersebut diatas, penyusun merancang suatu alat pembangkit listrik menggunakan panel surya ( sekumpulan sel-sel surya ) yang dilengkapi charger otomatis untuk baterai sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya . Dalam hal ini penyusun hanya membahas tentang sistem penurun tegangan dari solar sel yang kedepannya akan digunakan sebagai charger. Sistem ini terdiri dari 15 modul sel surya sebagai penghasil energi listrik DC, mikrokontroller ATmega8535 sebagai control, rangkaian DC to DC step down converter menggunakan PWM, trafo dan rectifier. Penggunaan mikrokontroller ATmega 8535 sebagai perangkat control dirasa sudah mencukupi, mengingat alat ini memang dirancang untuk dapat diolah atau

diprogram sesuai dengan kehendak perancangannya. Mikrokontroler ATmega 8535 mempunyai 4 buah port yang dapat difungsikan sebagai input atau output. Pemrograman mikrokontroler ATmega 8535 dapat menggunakan bahasa C, bascom AVR dan assembler. Pada saat pengisian program, terlebih dahulu program tersebut di *compile* menjadi file berekstensi hex (.hex ) baru kemudian diisikan ke mikrokontroler menggunakan software. Kelebihan dari mikrokontroler ini adalah harganya relative murah dengan kemampuan yang handal serta mudah dalam pengoperasiannya, waktu pemrograman yang relative cepat, serta dapat diaplikasikan pada bermacam-macam system control yang tidak terlalu kompleks. Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dibuatlah skripsi dengan judul

**“RANCANG BANGUN SISTEM PENURUN TEGANGAN (STEP DOWN CONVERTER) DENGAN SOLAR SEL SEBAGAI SUMBER BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535”.**

## **1.2 TUJUAN PENULISAN**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah merancang dan mempelajari cara kerja sistem DC to DC step down converter dengan solar sel sebagai sumber dengan menggunakan PWM.

## **1.3 BATASAN MASALAH**

Pada tugas akhir ini hanya akan membahas cara mengubah tegangan DC solar sel sebesar 300 VDC menjadi tegangan Ac kotak kemudian diturunkan tegangannya dengan trafo step down. Setelah disearahkan, tegangan dapat diatur dengan rangkaian adjustable. Tegangan ini untuk kedepannya akan digunakan sebagai tegangan charger.

## **1.4 SISTEMATIKA PENULISAN**

Untuk memberikan Gambaran yang jelas tentang susunan materi yang dibahas dalam laporan Skripsi ini, sistematika yang digunakan adalah sebagai berikut :

## **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## **BAB II DASAR TEORI**

Berisi pembahasan mengenai tinjauan pustaka tentang teori solar sel, Mikrokontroler AVR Atmega8535, PWM, Mosfet, optotransistor, transformator, teori DC to DC step down converter serta tinjauan pustaka lainnya yang mendukung sistem.

## **BAB III PERANCANGAN SISTEM**

Berisi pembahasan mengenai Perancangan hardware, perancangan diagram blok, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak

## **BAB IV PENGAMBILAN DATA dan ANALISA**

Berisi langkah dan data hasil pengujian dan pengukuran benda kerja terhadap masukan dan keluaran serta dilengkapi dengan analisa hasilnya.

## **BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan seluruh proses perancangan dan pembuatan tugas akhir ini serta penyelesaian laporannya.

## **DAFTAR ACUAN**

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1 SEL SURYA**

Sel surya pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala photovoltaik sehingga dapat menghasilkan daya yang sebesar mungkin. Sel surya mempunyai pengertian yaitu suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Pengertian tersebut berdasarkan irisan sel surya yang terdiri dari bahan semi konduktor positif dan negative dengan ketebalan minimum 0,3 mm, yang apabila suatu cahaya jatuh padanya, maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan. Sehingga menimbulkan suatu arus searah. Silicon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negative.

#### **2.1.1. Sejarah Sel Surya.**

Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek photovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Becquerel, seorang ahli fisika berkebangsaan Prancis tahun 1839 yang saat itu teorinya belum begitu berkembang. Pada tahun-tahun berikutnya beberapa penelitian tentang photovoltaik ini berkembang terus, terutama sejak penemuan transistor pertama tahun 1947 yang menganggap prinsip pembuatan transistor mirip dengan sel surya. Pada tahun 1954, sel surya sudah mencapai efisiensi sampai 8 %. Pertama kali penggunaan sel surya diperuntukkan bagi satelit-satelit ruang angkasa, dengan keuntungan ringan, dapat diandalkan tahan lama dan energi matahari di angkasa lebih besar dari bumi. Setelah terjadinya krisis energi pada tahun 1973, maka pemanfaatan sel surya bagi masyarakat umum terbuka.



Gambar 2.1 Modul sel surya

## 2.2 MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535

Mikrokontroler, sebagai suatu terobosan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer, hadir memenuhi kebutuhan pasar dan teknologi baru. Sebagai teknologi baru, yaitu teknologi semikonduktor dengan kandungan transistor yang lebih banyak namun hanya membutuhkan ruang yang kecil serta dapat diproduksi secara massal (dalam jumlah banyak) membuat harganya menjadi lebih rendah (dibandingkan mikroprosesor). Mikrokontroler adalah komponen elektronika yang menggabungkan berbagai macam piranti tambahan kedalam mikrokomputer menjadi satu *chip* IC. Piranti gabungan ini memuat unit pemroses data pusat (CPU), unit memori (ROM dan RAM), Port I/O, dan ditambah dengan beberapa fasilitas lain seperti pewaktu, *counter*, dan layanan kontrol interupsi.

Mikrokontroler lahir karena kebutuhan akan efektivitas pengendalian sistem yang akan dilakukan. Penggunaan mikrokontroler akan menambah efektivitas tersebut yang dilihat dari beban listrik yang dikonsumsi dan juga dari biaya yang relatif lebih rendah. Mikrokontroler juga digunakan untuk mengendalikan suatu sistem yang spesifik, yaitu sistem yang parameter pengendaliannya tidak terlalu rumit.

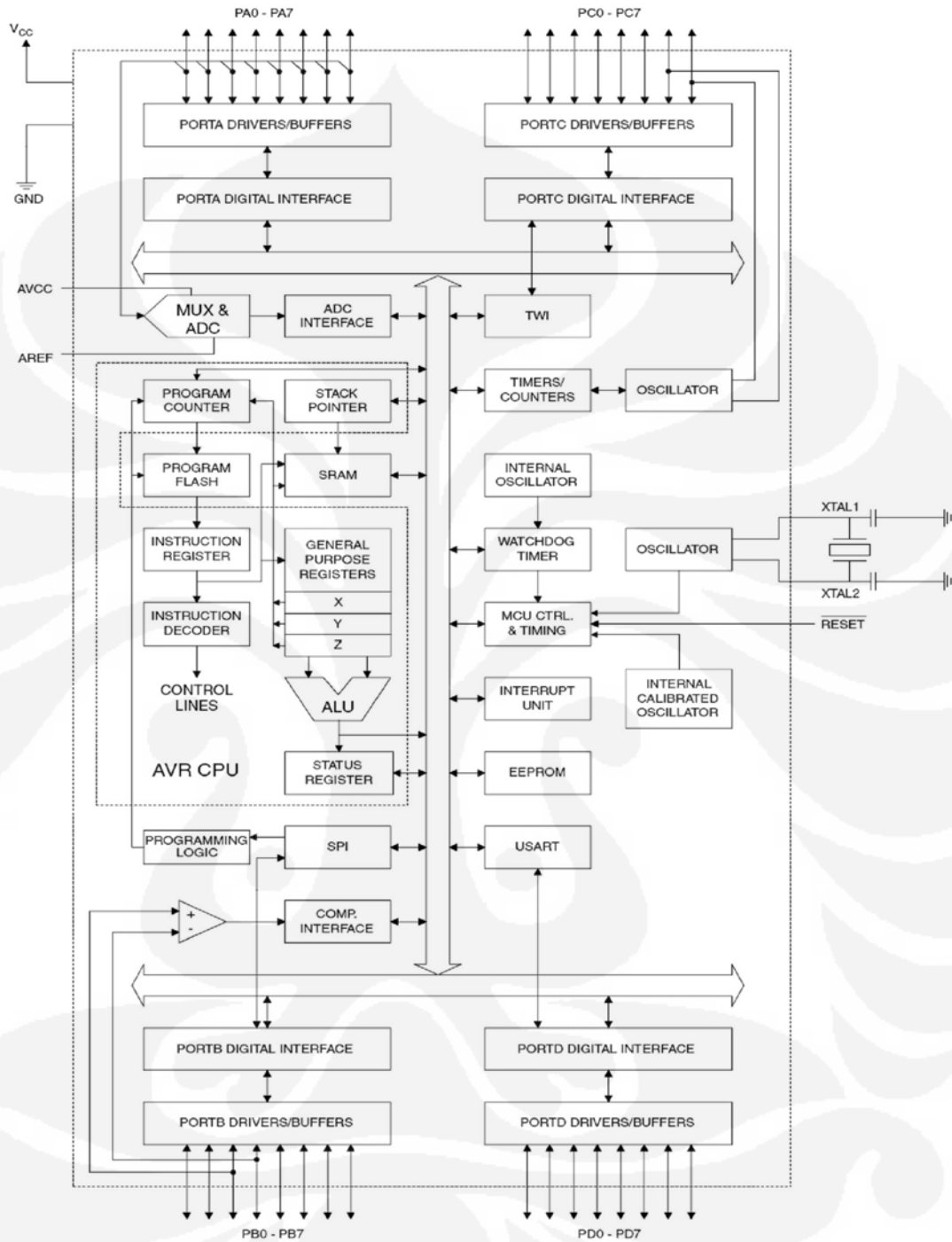
Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's RISC processor*) memiliki arsitektur RISC 8-bit dan semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bit word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus detak, berbeda dengan instruksi MSC51 yang membutuhkan 12 siklus detak. Tentu saja itu terjadi karena kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang

berbeda. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga Attiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, perifheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan mereka bisa dikatakan hampir sama. (M. Ary Heryanto, 1)

### 2.2.1 Arsitektur ATmega8535

Pada Gambar 2.2 tersebut dapat dilihat bahwa Atmega 8535 memiliki bagian sebagai berikut (M. Ary Heryanto, 1):

1. Saluran I/O sebanyak 32, yaitu pada Port A, Port B, Port C, dan Port D.
2. ADC 10 bit.
3. Tiga unit *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 unit register.
5. *Watchdog Timer* dengan osilator internal.
6. SRAM sebesar 512 *byte*.
7. Memori *Flash* sebesar 8 kB dengan kemampuan *Read While Write*.
8. Unit interupsi internal dan eksternal.
9. Port antarmuka SPI.
10. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
11. Antarmuka komparator analog.
12. Port USART untuk komunikasi serial.



Gambar 2.2. Diagram fungsional ATmega8535

### 2.2.2 Fitur ATmega8535

Adapun kapabilitas detail Atmega 8535 adalah sebagai berikut:

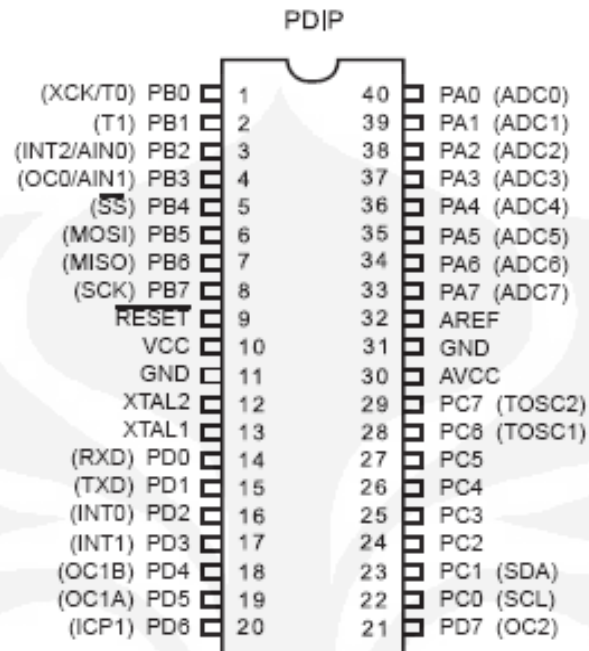
1. Sistem mikroprosesor 8-bit berbasis *RISC* dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
2. Kapabilitas memori *flash* 8 KB, *SRAM* sebesar 512 byte, dan *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memori*) sebesar 512 byte.
3. *ADC* internal dengan fidelitas 10 bit sebanyak 8 *channel*.
4. Enam pilihan mode *sleep* untuk menghemat penggunaan daya listrik.

### 2.2.2 Konfigurasi Pin ATmega8535

Konfigurasi pin Atmega 8535 dilihat pada Gambar 2.3. Dari gambar tersebut maka dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin Atmega 8535 sebagai berikut (M. Ary Heryanto, 3):

1. VCC merupakan pin yang berfungsi untuk pin masukan catu daya.
2. GND merupakan pin *ground*.
3. Port A (PA0..PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port B (PB0..PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu *Timer/Counter*, komparator analog, dan SPI.
5. Port C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu TWI, komparator analog, dan *Timer Oscillator*.
6. Port D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial. RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler.
7. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan detak eksternal.
8. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
9. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.





Gambar 2.3. Pin ATmega8535

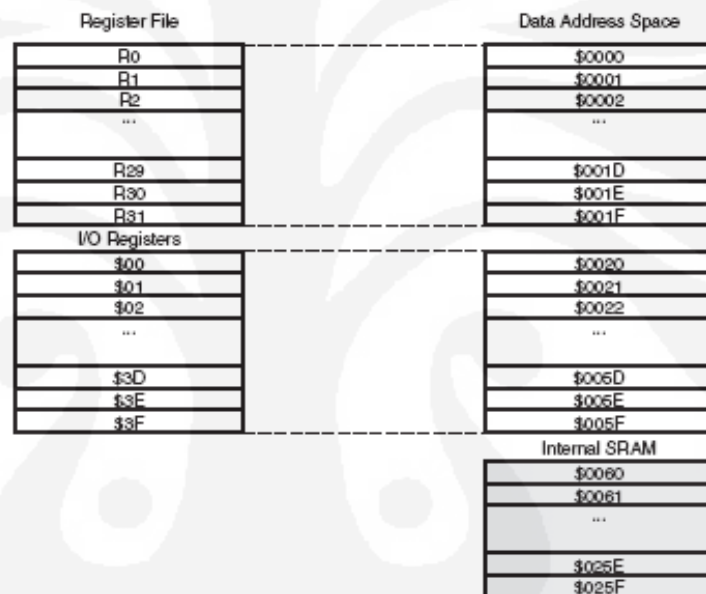
### 2.2.3 Peta Memory

AVR ATmega8535 memiliki ruang pengalaman memori data dan memori program yang terpisah. Memori data terbagi menjadi 3 bagian, yaitu 32 register umum, 64 register I/O, dan 512 *byte* SRAM Internal. Register khusus alamat memori secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 2.1 Tabel pengalamanatan register I/O

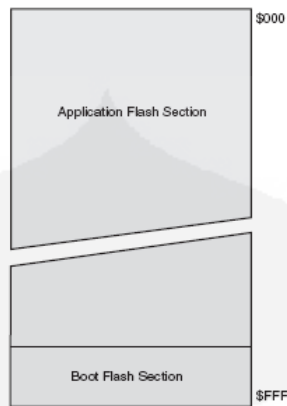
Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x3F (0x3F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C
0x3E (0x3E)	SPH	-	-	-	-	-	-	SP9	SP8
0x3D (0x3D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0
0x3C (0x3C)	OCFR0	Timer/Counter0 Output Compare Register							
0x3B (0x3B)	GICR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE
0x3A (0x3A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-
0x39 (0x39)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TCIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0
0x38 (0x38)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0
0x37 (0x37)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLDSET	PGWRT	PGERS	SPMEN
0x36 (0x36)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
0x35 (0x35)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SMD	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00
0x34 (0x34)	MCUCSR	-	ISC2	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PCRF
0x33 (0x33)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
0x32 (0x32)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)							
0x31 (0x31)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register							
0x30 (0x30)	RFCSR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	FUD	PSR2	PSR10
0x2F (0x2F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10
0x2E (0x2E)	TCCR1B	ENC1	ICES1	-	WGM10	WGM12	CS12	CS11	CS10
0x2D (0x2D)	TCNT1H	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte							
0x2C (0x2C)	TCNT1L	Timer/Counter1 - Counter Register Low Byte							
0x2B (0x2B)	OCR1AH	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High Byte							
0x2A (0x2A)	OCR1AL	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low Byte							
0x29 (0x29)	OCR1BH	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High Byte							
0x28 (0x28)	OCR1BL	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low Byte							
0x27 (0x27)	ICR1H	Timer/Counter1 - Input Capture Register High Byte							
0x26 (0x26)	ICR1L	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low Byte							
0x25 (0x25)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20
0x24 (0x24)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)							
0x23 (0x23)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register							
0x22 (0x22)	ASSR	-	-	-	-	AS2	TGR2UB	OCR2UB	TGR2UB
0x21 (0x21)	WDTCR	-	-	-	WDCE	WDE	WDFP	WDF1	WDF0
0x20 <sup>(1)</sup> (0x20 <sup>(1)</sup> )	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	UBRRH [1:8]		-
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL
0x1F (0x1F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8
0x1E (0x1E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte							
0x1D (0x1D)	EEDR	EEPROM Data Register							
0x1C (0x1C)	EECR	-	-	-	-	EEIE	EEUWE	EEWE	EEIF
0x1B (0x1B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0
0x1A (0x1A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0
0x19 (0x19)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0
0x18 (0x18)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0
0x17 (0x17)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0
0x16 (0x16)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0
0x15 (0x15)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0
0x14 (0x14)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0
0x13 (0x13)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0
0x12 (0x12)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0
0x11 (0x11)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0
0x10 (0x10)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0
0x0F (0x0F)	SPDR	SPI Data Register							
0x0E (0x0E)	SPCR	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPIFX
0x0D (0x0D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SFRF	SFIF
0x0C (0x0C)	UGR	USART I/O Data Register							
0x0B (0x0B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MP0M
0x0A (0x0A)	UCSRB	FXCE	TXCE	UDRE	RXEN	TXEN	UCSZ2	FXB8	TXB8
0x09 (0x09)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte							
0x08 (0x08)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ADJ	ACIE	ACIC	ACES1	ACIS0
0x07 (0x07)	ADLUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
0x06 (0x06)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	-
0x05 (0x05)	ADCH	ADC Data Register High Byte							
0x04 (0x04)	ADCL	ADC Data Register Low Byte							
0x03 (0x03)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register							
0x02 (0x02)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE
0x01 (0x01)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0

Register keperluan umum (*general purpose*) menempati *space* data pada alamat terbawah, yaitu \$00 sampai \$1F. Sementara itu, register khusus untuk menangani I/O dan kontrol terhadap mikrokontroler menempati 64 alamat berikutnya, yaitu mulai dari \$20 hingga \$5F. Register tersebut merupakan register yang khusus digunakan untuk mengatur fungsi terhadap berbagai peripheral mikrokontroler, seperti kontrol register, *timer/counter*, fungsi-fungsi I/O, dan sebagainya. Alamat memori berikutnya digunakan untuk SRAM 512 byte, yaitu pada lokasi \$60 sampai dengan \$25F. Konfigurasi memori data ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Konfigurasi memori data AVR ATmega8535

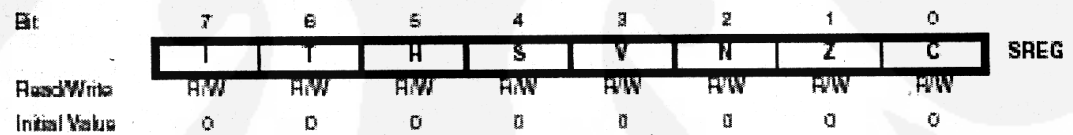
Memori program yang terletak dalam *Flash* PEROM tersusun dalam *word* atau 2 byte karena setiap instruksi memiliki lebar 16-bit atau 32-bit. AVR ATmega8535 memiliki 4Kbyte 16-bit *Flash* PEROM dengan alamat mulai dari \$0000 sampai \$FFFF. AVR tersebut memiliki 12-bit *Program Counter* (PC) sehingga mampu mengalami isi *Flash*. Konfigurasi memori program ditunjukkan pada Gambar 2.5. (M. Ary Heryanto, 4)



Gambar 2.5. Memori program AVR ATmega8535

#### 2.2.4 SREG (Status Register)

Status Register adalah register berisi status yang dihasilkan pada setiap operasi yang dilakukan ketika suatu instruksi dieksekusi. SREG merupakan bagian inti CPU mikrokontroler.



Gambar 2.6. Status register ATmega8535

a. Bit 7-I: *Global Interrupt Enable*

Bit harus diset untuk meng-*enable* interupsi. Setelah itu, dapat mengaktifkan interupsi yang akan digunakan dengan cara meng-*enable* bit kontrol register yang bersangkutan secara individu. Bit akan di-*clear* apabila terjadi suatu interupsi yang dipicu oleh *hardware*, dan bit tidak akan mengizinkan terjadinya interupsi, serta akan diset kembali oleh instruksi TERI.

b. Bit 6-T: Bit *Copy Storage*

Instruksi BLD dan BST menggunakan bit-T sebagai sebuah sumber atau tujuan dalam operasi bit. Suatu bit dalam sebuah register GPR dapat disalin ke bit T menggunakan instruksi BST, dan sebaliknya bit T dapat disalin kembali ke suatu bit dalam register GPR menggunakan instruksi BLD.

- c. Bit 5-H: *Half Carry Flag*
- d. Bit 4-S: *Sign Bit*

Bit-S merupakan hasil operasi EOR antara *flag-N* (negatif) dan *flag V* (komplemen dua *overflow*).

- e. Bit 3-V: *Two's Complement Overflow Flag*

Bit ini berguna untuk mendukung operasi aritmetika.

- f. Bit 2-N: *Negative Flag*

Apabila suatu operasi menghasilkan bilangan negatif, maka *flag-N* akan diset.

- g. Bit 1-Z: *Zero Flag*

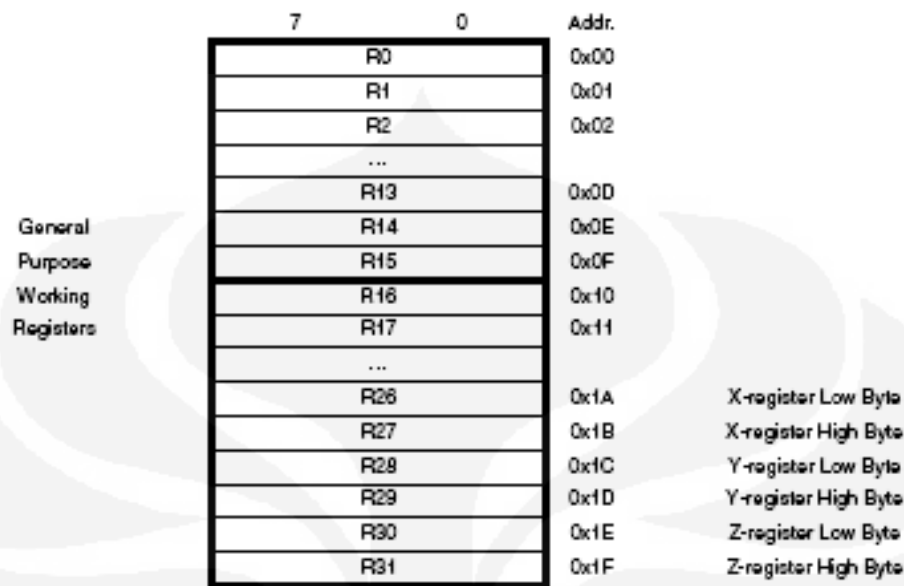
Bit ini akan diset bila hasil operasi yang diperoleh adalah nol.

- h. Bit 0-C : *Carry Flag*

Apabila suatu operasi menghasilkan carry, maka bit akan diset.

### 2.2.5 *General Purpose Register*

Register file ini dioptimalkan untuk AVR meningkatkan RISC *instruction set*, agar memperoleh *performance* dan *flexibility*.



Gambar 2.7. Ke-32 Register *general purpose*

Banyak operasi instruksi-instruksi pada *Register File* mempunyai akses langsung ke semua register. Dan banyak instruksi-instruksi yang merupakan instruksi *single cycle*.

Pada gambar diatas, setiap register di berikan alamat memori data dan memetakan alamat-alamat memori data tersebut secara langsung ke dalam 32 lokasi pada bagian User Data. Walaupun tidak secara fisis diimplementasikan sebagai lokasi SRAM, pengorganisasian memori ini memberikan tingkat *flexibility* yang tinggi dalam mengakses register-register tersebut seperti pada register *pointer* X-, Y-, Z- dapat diset untuk menunjuk satu atau beberapa register di *register file*.

Register 26 sampai dengan 31 mempunyai beberapa fungsi tambahan Register-register ini adalah register 16-bit sedang alamat register-register ini untuk pengalamatan tidak langsung pada *data space*. Tiga register *indirect addres*, yaitu X,Y, dan Z diperlihatkan gambar dibawah ini.



Gambar 2.8. Register X-, Y- dan Z-

### 2.2.6 Stack Pointer

*Stack pointer* merupakan suatu bagian dari AVR yang berguna untuk menyimpan data sementara, variabel lokal, dan alamat kembali dari suatu interupsi ataupun subrutin. *Stack pointer* diwujudkan sebagai dua unit register yaitu SPH dan SPL. Saat awal maka SPH dan SPL akan bernilai 0, sehingga perlu diinisialisasi terlebih dahulu jika diperlukan.

### 2.2.7 Timer/Counter

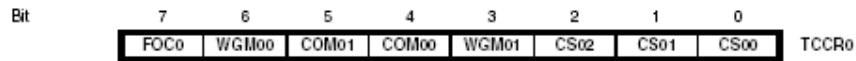
AVR ATmega8535 memiliki tiga buah *timer*, yaitu *Timer/Counter 0* (8 bit), *Timer/Counter 1* (16 bit), dan *Timer/Counter 2* (8 bit).

#### 2.2.7.1 Timer/Counter0

*Timer/Counter 0* adalah 8-bit *Timer/Counter* yang multifungsi. Deskripsi untuk *Timer/Counter 0* pada Atmega8535 adalah sebagai berikut:

- Sebagai *Counter 1* kanal.
- Timer* di-nol-kan saat *match compare (auto reload)*.
- Dapat menghasilkan gelombang PWM dengan *glitch-free*.
- Frekuensi generator*.
- Prescaler* 10 bit untuk *timer*.
- Intrupsi *timer* yang disebabkan *timer overflow* dan *match compare*.

Pengaturan *Timer/Counter 0* diatur oleh TCCR0 (*Timer/Counter control Register 0*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.9. Register TCCR0

Penjelasan untuk tiap bit-bitnya:

- a. Bit 7 – FOC0: *Force Output Compare*.
- b. Bit 6,3 – WGM0:WGM00: *Waveform generation Unit*.

Bit ini mengontrol kenaikan isi *counter*, sumber nilai maksimum *counter*, dan tipe jenis timer/counter yang dihasilkan, yaitu mode normal, *clear timer*, mode *compare match*, dan dua tipe dari PWM (*Pulse Width Modulation*). Tabel 2.2 berikut adalah *setting* pada bit ini untuk menghasilkan mode tertentu:

Tabel 2.2 Konfigurasi Bit WGM01 dan WGM00

Mode	WGM01 (CTC0)	WGM00 (PWM0)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR0	TOV0 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR0	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	TOP	MAX

- c. Bit 5, 4 – COM01:COM00: *Compare Match Output Mode*

Bit ini mengontrol pin OC0 (*Output Compare pin*). Apabila kedua bit ini nol atau *clear* maka pin OC0 berfungsi sebagai pin biasa tetapi bila salah satu bit set. Maka fungsi pin ini tergantung pada setting bit pada WGM00 dan WGM01. Berikut daftar tabel seting bit ini sesuai setting bit pada WGM00 dan WGM01

Tabel 2.3 Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 *Compare Output Mode non PWM*

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Toggle OC0 on Compare Match
1	0	Clear OC0 on Compare Match
1	1	Set OC0 on Compare Match



**Tabel 2.4** Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 *Compare Output Mode Fast PWM*

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on Compare Match, set OC0 at TOP
1	1	Set OC0 on Compare Match, clear OC0 at TOP

**Tabel 2.5** Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 *Compare Output Mode Phase Correct PWM*

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on Compare Match when up-counting. Set OC0 on Compare Match when down-counting.
1	1	Set OC0 on Compare Match when up-counting. Clear OC0 on Compare Match when down-counting.

- d. Bit 2, 1, 0 – CS02; CS01, CS00: *Clock Select*

Ketiga bit ini untuk memilih sumber detak yang akan digunakan oleh *Timer/Counter*, berikut ini list tabelnya:

**Tabel 2.6** Konfigurasi Bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak

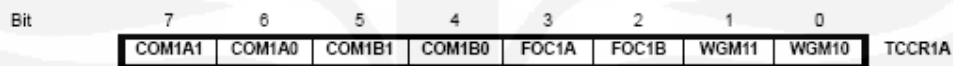
CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/counter stopped).
0	0	1	$\text{clk}_{\text{IO}}/(\text{No prescaling})$
0	1	0	$\text{clk}_{\text{IO}}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$\text{clk}_{\text{IO}}/64$ (From prescaler)
1	0	0	$\text{clk}_{\text{IO}}/256$ (From prescaler)
1	0	1	$\text{clk}_{\text{IO}}/1024$ (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T0 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T0 pin. Clock on rising edge.

### 2.2.7.2 Timer/Counter1

*Timer/Counter1* adalah 16-bit *Timer/Counter* yang memungkinkan program pewaktuan lebih akurat. Berbagai fitur dari *Timer/Counter1* sebagai berikut:

- a. Desain 16 bit (juga memungkinkan 16 bit PWM).
- b. Dua unit *compare* .
- c. Dua unit register pembanding.
- d. Satu unit *input capture unit*.
- e. *Timer* dinolkan saat *match compare (autoreload)*.
- f. Dapat menghasilkan gelombang PWM dengan *glitch-free*.
- g. Periode PWM yang dapat diubah-ubah.
- h. Pembangkit frekuensi.
- i. Empat buah sumber interupsi (TOV1, OCF1A, OCF1B dan ICF1).

Pengaturan pada *Timer/Counter1* diatur melalui register TCCR1A



Gambar 2.10. Register TCCR1A

Penjelasan untuk tiap bit-bitnya:

- a. Bit 7:6 – COM1A1:0: *Compare Output Mode* untuk *channel A*.

Bit 5:4 – COM1B1:0: *Compare Output Mode* untuk *channel B*.

Register COM1A1:0 dan COM1B1:0 mengontrol kondisi Pin Output *Compare* (OC1A dan OC1B). Jika salah satu atau kedua bit pada register COM1A1:0 ditulis menjadi satu maka kaki pin OC1A tidak berfungsi normal sebagai port I/O. Begitu juga pada register COM1B1:0 ditulis menjadi satu maka kaki pin OC1B juga tidak berfungsi normal sebagai port I/O. Fungsi pada pin OC1A dan OC1B tergantung pada seting bit pada register WGM13:0 diset sebagai mode PWM atau mode non-PWM.

- b. Bit 3 – FOC1A: *Force Output Compare* untuk *channel A*.

Bit 2 – FOC1B: *Force Output Compare* untuk *channel B*.

- c. Bit 1:0 – WGM1 1:0: *Waveform Generation Mode*.

Dikombinasikan dengan bit WGM13:2 yang terdapat pada register TCCR1B, bit ini mengontrol urutan pencacah dari *counter*, sumber maksimum (TOP) nilai *counter*, dan tipe dari gelombang yang dibangkitkan. Mode yang dapat dilakukan antara lain: mode normal, mode *Clear Timer on Compare Match* (CTC) dan tiga tipe mode PWM. Setingan mode dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 2.7** Konfigurasi Bit *Compare Output Mode non PWM*

COM1A1/ COM1B1/	COM1A0/ COM1B0/	Keterangan
0	0	Operasi port normal, OC1A/OC1B tidak dihubungkan.
0	1	<i>Toggle</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai.
1	0	<i>Clear</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai (set keluaran ke level rendah).
1	1	Set OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai (set keluaran ke level tinggi).

**Tabel 2.8** Konfigurasi Bit *Compare Output Mode Fast PWM*

COM1A1/ COM1B1/	COM1A0/ COM1B0/	Keterangan
0	0	Operasi port normal, OC1A/OC1B tidak dihubungkan.
0	1	WGM13:0= 15: <i>toggle</i> OC1A saat proses perbandingan tercapai dan OC1B tidak terhubung. Untuk semua pengaturan WGM1 yang lain, operasi port normal, OC1A/OC1B tidak terhubung.
1	0	<i>Clear</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai, set OC1A/OC1B pada nilai <i>TOP</i> .
1	1	Set OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai, <i>clear</i> OC1A/OC1B pada nilai <i>TOP</i> .

**Tabel 2.9** Konfigurasi Bit *Compare Output Mode Phase Correct dan Frequency Correct PWM*

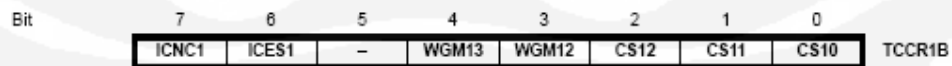
COM1A1/ COM1B1/	COM1A0/ COM1B0/	Keterangan
0	0	Operasi port normal, OC1A/OC1B tidak dihubungkan.
0	1	WGM13:0= 9 atau 14: <i>toggle</i> OC1A saat proses

		perbandingan tercapai dan OC1B tidak terhubung.
1	0	<i>Clear</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah naik. Set OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah turun.
1	1	Set OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah naik. <i>Clear</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah turun.

**Tabel 2.10** Konfigurasi bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Mode Operasi Timer/Counter	TOP	Update OCR1x saat	TOV1 flag diset saat
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, phase correct, 10	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8 bit	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9 bit	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10 bit	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	TOP	TOP

Pengaturan Timer 1 juga diatur oleh register TCCR1B



Gambar 2.11. Register TCCR1B

- Bit 7 – ICNC1: *Input Capture Noise Canceller*.
- Bit 6 – ICES1: *Input Capture Edge Select*.
- Reserved Bit*.
- Bit 4:3 – WGM1 1:3: *Waveform Generation Mode*.

e. Bit 2:0 – CS12:0: *Clock Select*.

Ketiga bit ini mengatur sumber detak yang digunakan untuk *Timer/Counter1*. Untuk setingnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2.11** Konfigurasi bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak

CS12	CS11	CS10	Keterangan
0	0	0	Tanpa sumber detak ( <i>timer/counter</i> tidak difungsikan)
0	0	1	$\text{clk}_{V0}/1$ (tanpa <i>prescaling</i> )
0	1	0	$\text{clk}_{V0}/8$ (dari <i>prescaling</i> )
0	1	1	$\text{clk}_{V0}/64$ (dari <i>prescaling</i> )
1	0	0	$\text{clk}_{V0}/256$ (dari <i>prescaling</i> )
1	0	1	$\text{clk}_{V0}/1024$ (dari <i>prescaling</i> )
1	1	0	Sumber detak eksternal pin T1. Detak pada <i>falling edge</i> .
1	1	1	Sumber detak eksternal pin T1. Detak pada <i>rising edge</i> .

### 2.2.7.3 Timer/Counter2

*Timer/Counter 2* adalah 8-bit *Timer/Counter* yang multifungsi. Deskripsi untuk *Timer/Counter 0* pada ATmega 8535 adalah sebagai berikut:

- Sebagai *Counter 1* kanal.
- Pewaktu di-nol-kan saat *match compare (autoreload)*.
- Dapat menghasilkan gelombang PWM dengan *glitch-free*.
- Frekuensi generator.
- Prescaler* 10 bit untuk pewaktu.
- Intrupsi *timer* yang disebabkan *timer overflow* dan *match compare*.

Pengaturan *Timer/Counter 2* diatur oleh TCCR2 (*Timer/Counter control Register 0*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.13.

7	6	5	4	3	2	1	0	
FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	TCCR2
W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
0	0	0	0	0	0	0	0	

Gambar 2.12. Register TCCR2

Penjelasan untuk tiap bit-bitnya:

- a. Bit 7 – FOC2: *Force Output Compare*.
- b. Bit 6,3 –WGM21:WGM20: *Waveform generation Unit*.

Bit ini mengontrol kenaikan dari *counter*, sumber dari nilai maksimum *counter*, dan tipe dari jenis timer/conter yang dihasilkan yaitu mode normal, *clear timer*, mode *compare match*, dan dua tipe dari PWM (*Pulse Width Modulation*). Berikut tabel seting pada bit ini untuk menghasilkan mode tertentu:

**Tabel 2.12** Konfigurasi Bit WGM21 dan WGM20

Mode	WGM21 (CTC2)	WGM20 (PWM2)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR2	TOV2 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR2	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	TOP	MAX

- c. Bit 5, 4 – COM01:COM00: *Compare Match Output Mode*.

Bit ini mengontrol pin OC0 (*Output Compare pin*). Apabila kedua bit ini nol atau clear maka pin OC0 berfungsi sebagai pin biasa tetapi bila salah satu bit set. Maka fungsi pin ini tergantung dari seting bit pada WGM00 dan WGM01. Berikut daftar tabel setting bit ini sesuai seting bit pada WGM00 dan WGM01

- d. Bit 2, 1, 0 – CS22; CS21, CS20: *Clock Select*.

Ketiga bit ini untuk memilih sumber detak yang akan digunakan oleh *Timer/Counter*.

**Tabel 2.13** Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 *Compare Output Mode non PWM*

COM21	COM20	Description
0	0	Normal port operation, OC2 disconnected.
0	1	Toggle OC2 on Compare Match.
1	0	Clear OC2 on Compare Match.
1	1	Set OC2 on Compare Match.

**Tabel 2.14** Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 *Compare Output Mode Fast PWM*

COM21	COM20	Description
0	0	Normal port operation, OC2 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC2 on Compare Match, set OC2 at TOP.
1	1	Set OC2 on Compare Match, clear OC2 at TOP.

**Tabel 2.15** Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 *Compare Output Mode Phase Correct PWM*

COM21	COM20	Description
0	0	Normal port operation, OC2 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC2 on Compare Match when up-counting. Set OC2 on Compare Match when down-counting.
1	1	Set OC2 on Compare Match when up-counting. Clear OC2 on Compare Match when down-counting.

**Tabel 2.16** Konfigurasi Bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak

CS22	CS21	CS20	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$\text{clk}_{T_{2S}}$ (No prescaling)
0	1	0	$\text{clk}_{T_{2S}}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$\text{clk}_{T_{2S}}/32$ (From prescaler)
1	0	0	$\text{clk}_{T_{2S}}/64$ (From prescaler)
1	0	1	$\text{clk}_{T_{2S}}/128$ (From prescaler)
1	1	0	$\text{clk}_{T_{2S}}/256$ (From prescaler)
1	1	1	$\text{clk}_{T_{2S}}/1024$ (From prescaler)

### 2.2.8 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM (*Pulse Width Modulation*) atau modulasi lebar pulsa adalah salah satu keunggulan *Timer/Counter* terdapat pada ATmega 8535. Ketiga jenis *Timer/Counter* pada ATmega 8535 dapat menghasilkan pulsa PWM. Pulsa PWM adalah sederetan pulsa yang lebar pulsanya dapat diatur. Pulsa PWM berfungsi

mengatur kecepatan motor DC, mengatur gelap terang LED dan aplikasi lainnya. PWM adalah *Timer mode Output Compare* yang canggih.

Mode PWM *Timer* juga dapat mencacah turun yang berlawanan dengan mode *Timer* lainnya yang hanya mencacah naik. Pada mode PWM tersebut, *Timer* mencacah naik hingga mencapai nilai TOP, yaitu 0xFF untuk PWM 8 bit. *Timer/Counter* 0 hanya memiliki PWM 8 bit, sedangkan pada *Timer/Counter* 1 memiliki 9 bit dan PWM 10 bit, dan *Timer/Counter* 2 memiliki PWM 8 bit. Pemilihan *Timer* 0 mode PWM diseting melalui bit WGM01 dan WGM00 pada register TCCR0.

**Tabel 2.17** Konfigurasi Bit *WGM01* dan *WGM00*

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on Compare Match when up-counting. Set OC0 on Compare Match when down-counting.
1	1	Set OC0 on Compare Match when up-counting. Clear OC0 on Compare Match when down-counting.

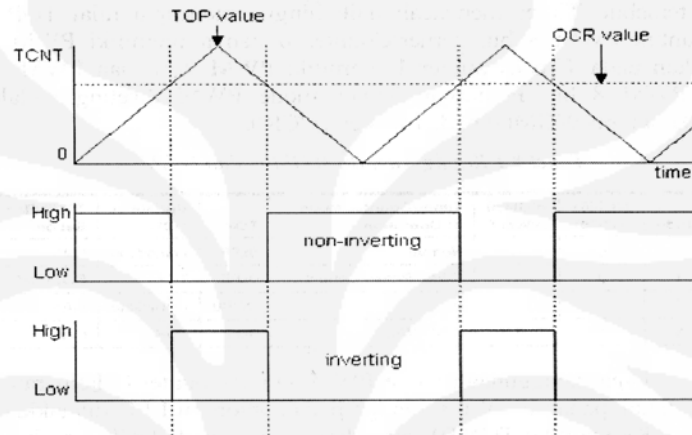
**Tabel 2.18** Konfigurasi Bit *COM01* dan *COM00* Compare Output Mode Phase Correct PWM

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on Compare Match when up-counting. Set OC0 on Compare Match when down-counting.
1	1	Set OC0 on Compare Match when up-counting. Clear OC0 on Compare Match when down-counting.

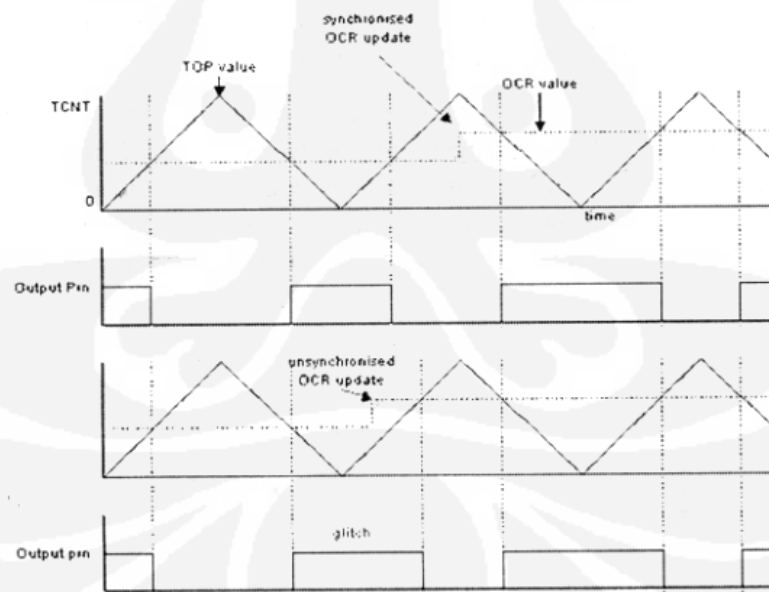
Sebagai penggunaan mode PWM *Timer/Counter* 0, keluaran sinyal PWM terletak pada pin OC0. Ketika nilai TCNT0 sama dengan nilai pada OCR0, maka output pada OC0 akan berlogika nol atau berlogika satu, tergantung pada pemilihan mode PWM. Pemilihan mode PWM diseting melalui bit COM01 dan bit COM00 pada register TCCR0 yang konfigurasinya seperti Tabel 2.19.



Dari Tabel 2.17 dapat diketahui saat COM00 *clear* dan COM01 *set*, pin OC0 *clear* saat timer mencacah diatas *Compare Match* dan pin OC0 *set* saat timer mencacah dibawah *Compare Match* atau *non-inverting PWM*. Kebalikannya, saat COM00 *set* dan COM01 juga *set*, maka pin OC0 *set* saat timer mencacah dibawah *Compare Match* atau disebut juga *inverting PWM*. Agar lebih jelas, perhatikan gambar dibawah ini. (M. Ary Heryanto, 121)



Gambar 2.13. Pulsa PWM *inverting* dan *non-inverting*



Gambar 2.14. Pulsa PWM yang *glitch-free*

Mode PWM juga *glitch-free*. *Glitch* dapat terjadi ketika nilai OCR1 berubah. Perubahan nilai pada OCR selalu berada saat Timer mencapai nilai TOP untuk menghindari *glitch*. Dengan demikian, perubahan pulsa selalu teratur.

### 2.2.9 Analog Digital Converter

*Analog digital converter* adalah proses untuk merubah besaran analog menjadi besaran digital. Pada mikrokontroler AVR Atmega8535 memiliki fasilitas ADC yang sudah *built-in* dalam chip. dengan adanya ADC internal ini tidak diperlukan kompleksitas *hardware* saat memakai komponen IC ADC eksternal. Atmega memiliki resolusi ADC 10-bit dengan 8 channel masukan dan mendukung 16 macam penguat yang berbeda. ADC ini bekerja dengan teknik *successive approximation*. Rangkain ADC ini bekerja memiliki catu daya sendiri yaitu pin A VCC. Tegangan A VCC harus sama dengan VCC yaitu 0.3 Volt.

- a. Untuk konversi tunggal

$$ADC = V_{in} \times 1024 / V_{ref}$$

Dimana :

$V_{in}$  = tegangan masukan yang dipilih

$V_{ref}$  = tegangan referensi yang dipilih.

- b. Untuk penguat beda

$$ADC = (V_{pos} - V_{neg}) \cdot \text{Gain} \cdot 512 / v_{ref}$$

Dimana:

$V_{pos}$  = tegangan masukan pada pin positif

$V_{neg}$  = tegangan masukan pada pin negatif

Gain = faktor penguatan

$V_{ref}$  = tegangan referensi yang dipilih.

### 2.2.10.1 ADC Multiplexer Selection Register (ADMUX)

**Tabel 2.19** ADC Multiplexer Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	admux
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- BIT 7 DAN BIT 6 *reference selection bits*

Bit REFS1 dan REFS0 digunakan untuk menentukan tegangan referensi dari ADC seperti terlihat pada tabel dibawah ini . Bit ini tidak dapat berubah pada saat konversi sedang berlangsung.

**Tabel 2.20** Reference selection bits

REFS0	REFS1	Tegangan Referensi
0	0	PIN AREF
0	1	PIN AVCC, dengan PIN AREF dineri kapasitor
1	0	Tidak digunakan
1	1	Internal 2.56 V dengan PIN AREF diberi Kapasitor.

Keterangan:

'00' : Tegangan referensi menggunakan tegangan yang terhubung ke PIN AREF

'01' : Tegangan referensi menggunakan tegangan AVCC dan PIN AREF diberi kapasitor.

'10' : Tidak digunakan.

'11' : Tegangan referensi menggunakan referensi internal 2.56 V dan pin AREF diberi kapasitor

- Bit 5 – ADLAR : ADC *Left Adjust Result*

Bit ADLAR ini digunakan untuk mengatur format penyimpanan data register ADCL dan ADCH

- Bit 4:0 – MUX 4:0 *Analog channel and Gain selection bits*

Bit – bit MUX 4:0 dapat digunakan untuk menentukan pin masukan analog ADC pada mode konversi tunggal atau untuk menentukan pin – pin masukan analog dan nilai penguatannya (gain).

### 2.2.10.2 ADC Control dan Status Register A ( A DCSRA)

**Tabel 2.21 Status Register A ( ADCSRA)**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADSP2	ADSP1	ADSP0	admux
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0		0	

- Bit 7 ADEN: *ADC Enable*  
Bit Aden ini digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan dan menonaktifkan fasilitas ADC. Jika bit ADEN di set '1' maka ADC diaktifkan dan jika bernilai '0' maka ADC tidak aktif.
- Bit 5 – Date : *ADC A Auto Triger Enable*  
Bit ini digunakan untuk mengaktifkan pemicu proses konversi ADC sesuai dengan bit – bit ADTS pada register SFIOR. Jika bit ADTE bernilai '1' berarti pemicu ADC di aktifkan.
- Bit 4 – ADIF : *ADC interup flag*  
Bit ADIF adalah bendera interupsi ADC yang digunakan untuk menunjukkan ada tidaknya permintaan interupsi ADC. Bit ADIF akan bernilai '1' jika proses konversinya ADC telah Selesai.
- Bit 3 – ADIE : *ADC interupt Enable*  
Bit ADIE digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan interupsi ADC. Jika bit ADIE bernilai '1' dan bit –I pada SREG diset 1 mka saat terjadi permintaan interupsi ADC1 ( Bit ADIF bernilai '1' ) akan menyebabkan program melompat kealamat vektor interupsi ADC yaitu 0x00E
- Bit 2:0 – ADPS2:0 : *prescaler select Bits*

Bit ADSP2, ADSP1, dan ADSP0 digunakan untuk menentukan factor pembagi frekuensi kristal yang kemudian hasilnya digunakan sebagai frekuensi cloc ADC. Table skala cloc ADC

**Table 2.22 Table skala clock ADC**

ADSP2	ADSP1	ADSP0	Faktor Pembagi
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

### 2.2.10.3 ADC data register ( ADCH – ADCL )

Register ADCL dan ADCH digunakan untuk menyimpan data 10-bit hasil konversi . Data 10 bit tersebut dapat disimpan dalam dua format yang berbeda bergantung pada nilai bit ADLR.

### 2.2.10.4 ADC Auto Trigger Source

**Table 2.23 Register SFIOR**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	PUD	PSR1	PSR2	SFIOR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bit – bit ADTS2:0 berada pada register SFIOR digunakan untuk mengatur pemicu proses konversi ADC seperti pada table.

**Table 2.24 Register SFIOR dan pemicu konversi ADC**

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Sumber Pemicu Konversi ADC
0	0	0	Free running mode
0	0	1	Analog komparator
0	1	0	External Interupt request
0	1	1	Timer/counter 0 compare match
1	0	0	Timer/counter 0 overflow
1	0	1	Timer/counter 1 compare match B
1	1	0	Timer/counter 1 overflow
1	1	1	Timer/counter 1 capture Event

### 2.2.11 Bahasa Pemrograman AVR

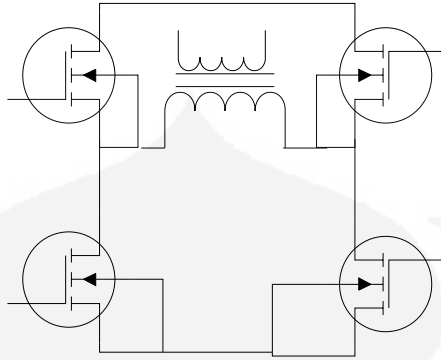
Terdapat berbagai macam jenis pemrograman mikrokontroler AVR. Diantaranya yaitu menggunakan bahasa *Bascom*, *Codevision AVR*, *Assembler* dan *AVR studio*. Masing-masing bahasa pemrograman mempunyai kelenihan dan kekurangan. Sesuai dengan kebiasaan pemrogram.

### 2.3 MOSFET

Mosfet merupakan jenis semikonduktor dengan kendali tegangan VGS ( tegangan gerbang dan sumber) dan yang dikendalikan arus cerat ( IDS). ( Albert Paul Malvino, 295 )



Gambar 2.15 Simbol dan bentuk Mosfet tipe N



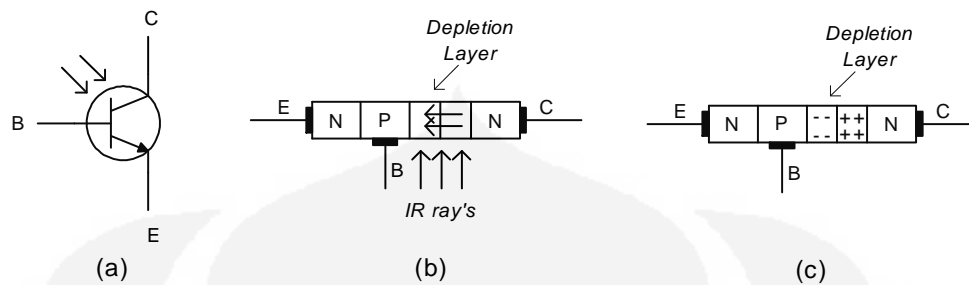
Gambar 2.16 rangkaian jembatan Mosfet

### 2.3.1 Parameter yang Banyak dipakai untuk Mosfet antara lain :

1. Arus cerat untuk panjaran nol (*draian current for zero bias*),  $I_{DSS}$  (arus cerat) yang mengalir kalau gerbang (*gate*) dihubung singkat ke sumber (*source*);  $V_{GS} = 0$ .
2. Arus terbalik gerbang (*gate reverse current*),  $I_{GSS}$  (arus bocoran yang mengalir antara gerbang dan sumber pada panjaran tertentu diantara terminal gerbang dan sumber).
3. Arus pancung cerat (*ID off*) arus cerat yang mengalir kalau piranti dipanjari pada status OFF-nya.

### 2.4 Foto Transistor (Opto Transistor)

Prinsip kerja foto transistor sama persis dengan kerja transistor sebagai saklar. Perbedaannya terletak pada denyut yang masuk ke dalam basis. Jika pada transistor biasa denyut yang diberikan berupa arus DC, maka pada foto transistor denyut yang dikenakan pada basis adalah intensitas cahaya yang sesuai dengan karakteristik foto transistor tersebut. Dalam kondisi normal, kolektor mendapat *reverse bias*, dan emitor mendapat *forward bias*. Pada kaki kolektor akan selalu ada sedikit arus bocor ( $I_{co}$ ), yaitu arus bocor antara kolektor dan basis.  $I_{co}$  selain dipengaruhi oleh temperature juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang datang pada daerah pengosongan antara kolektor dan basis. Sifat inilah yang dimanfaatkan oleh foto transistor untuk dapat menghantar atau *on*.



Gambar 2.17. Foto transistor

- (a) Simbol foto transistor,  
 (b) Foto transistor terkena cahaya,  
 (c) Foto transistor tidak terkena cahaya

Saat foto transistor tidak terkena cahaya, Basis – Emitor tidak mendapatkan bias, electron tidak dapat bergerak bebas, sehingga *depletion layer* melebar, dengan demikian arus tidak dapat mengalir, transistor dalam keadaan *Cut off*. Sebaliknya, saat foto transistor terkena cahaya dengan intensitas cahaya yang sesuai dengan karakteristik foto transistor tersebut, maka terjadi perpindahan electron di sekitar lapisan pengosongan yang akhirnya membentuk sebuah ikatan ion di sekitar lapisan pengosongan, sehingga lapisan pengosongan menyempit dan transistor akan bersifat menghantar atau transistor *on*.

Karakteristik foto transistor :

1. Basis terbuka, semua  $I_{co}$  akan mengalir ke basis, transistor menghasilkan arus kolektor  $I_c = \beta \cdot I_{co}$ , sehingga  $I_{bocorC} - EI_{co}$ ,  $I_{ceo} = \beta \cdot I_{co} + I_{co} = (\beta + 1) \cdot I_{co}$ .  
 $I_{ceo} = \beta I_{co}$
2. Dengan demikian pengaruh cahaya pada sebuah foto transistor adalah  $\beta$  kali lebih besar terhadap foto diode. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa foto transistor lebih peka cahaya dibanding dengan foto dioda.
3. Untuk system yang membutuhkan sensitifitas besar, biasanya basis selalu terbuka dan transistor dirangkai dengan rangkaian darlington.
4. Dengan rangkaian darlington akan diperoleh sensitifitas yang besar, namun sebagai imbasnya akan diperoleh respons yang kurang begitu cepat.



## 2.5 Transformator

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain secara induksi elektromagnetik.

Transformator pada umumnya banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik maupun rangkaian elektronika. Dalam sistem tenaga listrik, transformator digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik berikutnya tanpa merubah frekuensi. Transformator dapat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan maupun arus.

Pemakaian transformator pada sistem tenaga dapat dibagi menjadi:

### 1. Trafo Penaik tegangan (Step-up)

Trafo penaik tegangan (Step-up) atau disebut trafo daya, digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkitan menjadi tegangan transmisi.

### 2. Trafo Penurun tegangan (Step-down)

Trafo penurun tegangan (Step-down) atau disebut trafo distribusi, digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

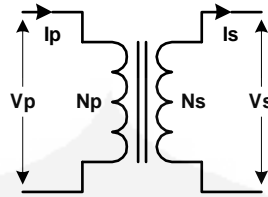
### 3. Transformator Instrument (Transformator untuk pengukuran)

Untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, digunakan untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

### 4. Transformator Proteksi

Transformator yang digunakan untuk proteksi yang dihubungkan dengan relay proteksi.

Dalam rangkaian elektronika, transformator digunakan untuk sambungan impedansi antara rangkaian sumber dan beban, memisahkan suatu rangkaian dari rangkaian lain, dan dapat menghambat arus searah.



Gambar 2.18 simbol transformator

Perbandingan antara jumlah lilitan, besar tegangan, arus maupun hambatan pada

lilitan sekunder dan lilitan primer adalah sebagai berikut :  $N = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$

maka tahanan yang dinyatakan oleh sirkuit primer adalah  $R_I = \frac{V_p}{I_p}$  sedangkan  $R_L$

$= \frac{V_s}{I_s}$  oleh karena itu  $\frac{R_I}{R_L} = \frac{V_p / I_p}{V_s / I_s} = \frac{I_s}{I_p} = n^2$  sehingga tahanan input  $R_I = n^2 R_L$

Dengan:

$N_p$  = jumlah lilitan primer

$N_s$  = jumlah lilitan sekunder

$V_p$  = tegangan pada lilitan primer (Volt)

$V_s$  = tegangan pada lilitan sekunder (Volt)

$I_p$  = arus yang mengalir pada lilitan primer (Ampere)

$I_s$  = arus yang mengalir pada lilitan sekunder (Ampere)

## 2.5.1 Perbedaan Trafo Instrument dan Trafo Proteksi

### 2.5.1.1. Trafo Instrument ( Trafo Pengukuran )

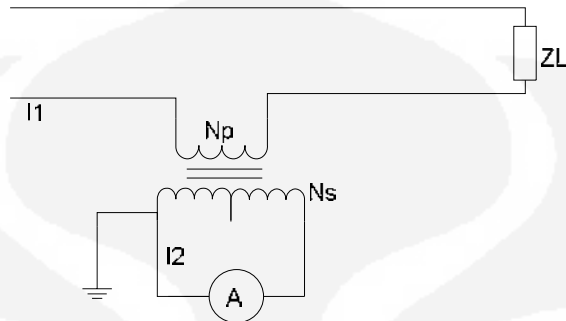
Pada umumnya, alat-alat ukur seperti voltmeter dan amperemeter dibuat dalam batas ukur yang relatif kecil, sedangkan dalam pengukuran-pengukuran sering ditemui nilai-nilai yang cukup besar. Agar meter-meter tersebut dapat digunakan untuk batas ukur yang lebih besar, maka pada alat-alat ukur tersebut diberi tambahan alat-alat tertentu. ( sumanto, 25 )

Pada pengukuran listrik DC umumnya diberi tahanan depan atau tahanan paralel, sedang pada listrik AC umumnya digunakan transformator.

Dalam hal ini dikenal 2 jenis transformator :

#### a. Transformator Arus

untuk pengukuran arus yang besar (sampai ratusan amper) dipergunakan transformator arus yang dikombinasikan dengan ampermeter. Dengan demikian pelaksanaan menjadi lebih aman dan praktis.



Gambar 2.19 Transformator arus untuk pengukuran

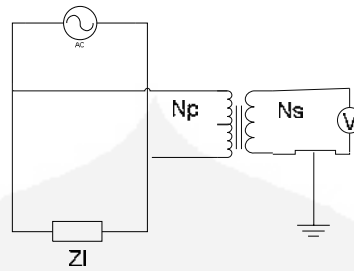
Pada transformator arus berlaku rumus  $I_2 = \frac{N_p}{N_s} I_1$

Karena pada umumnya arus primer,  $I_1$  itu besar, sedang beban sekunder tak berarti, maka jumlah lilitan primer cukup sedikit saja, bahkan ada yang tidak berupa lilitan, tetapi hanya rail dari jala-jala saja.

Bagian sekunder dari transformator arus waktu dipergunakan/dipasang tidak boleh terbuka (*open*). Sebab apabila sekunder open ketika transformator dipakai untuk mengukur, arus primernya tetap besar. Karena arus primernya merupakan arus jaring-jaring, maka fluks magnet pada teras menjadi sangat besar, karena yang memberikan belitan amper hanyalah belitan amper primer saja, sehingga  $I_1^2 R_m$  sangat besar, inti menjadi panas isolasi bisa rusak. Akibat dari sekundernya terbuka tersebut dapat juga menyebabkan tegangan beban turun.

## b. Transformator Tegangan

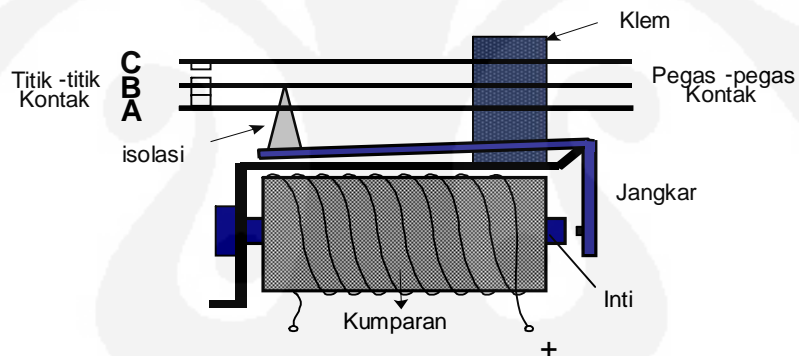
bila transformator dipasang paralel terhadap beban, voltmeter dipasang pada bagian sekunder.



Gambar 2.20 transformator tegangan untuk pengukuran  
Bagian sekunder transformator arus dan transformator tegangan dihubungkan ke tanah (*grounded*)

### 2.5.1.2 Transformator Proteksi

Pada transformator proteksi, biasanya dilengkapi dengan relai sebagai pengaman. Trafo ini digunakan sebagai pengaman ketika terjadi adanya arus lebih (*over current*). Ketika terjadi arus lebih (*over current*), maka trafo proteksi bersama dengan relay akan memutuskan sambungan listrik.

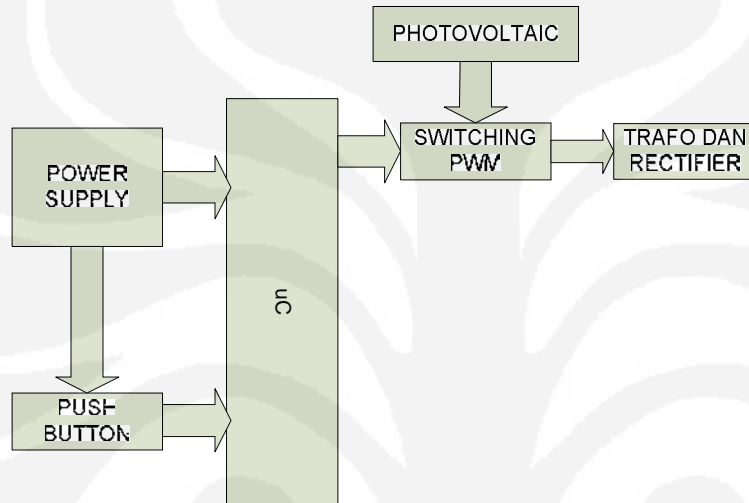


Gambar 2.21 konstruksi relai dengan trafo proteksi

## BAB III PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 SISTEM SECARA UMUM

Pada bab 3 ini akan dibahas perancangan dan realisasi dari perangkat keras dan perangkat lunak sistem charger pada sel surya. Untuk blok diagram secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

#### 3.1.1 Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem secara umum berdasarkan blok diagram gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

1. Seluruh kinerja dari sistem dikendalikan oleh pengendali berupa mikrokontroller ATmega 8535 yang bekerja sesuai dengan perintah yang diatur melalui perangkat lunak.
2. Pada tombol push button terdiri dari 2 push button yang berfungsi untuk start PWM, stop PWM.
3. *Photovoltaik* (sel surya) sebagai sumber tegangan DC yang di switching.
4. Switching PWM sebagai pengubah dari tegangan DC menjadi tegangan AC kotak yang mana pada blok diagram ini terdiri dari optoisolator sebagai driver dan rangkaian jembatan mosfet.
5. Trafo dan rectifier sebagai penurun tegangan AC kemudian disearahkan menjadi DC, dan dapat diatur tegangannya.

6. Power supply sebagai suplai tegangan pada mikrokontroler, push button dan switching PWM.

### 3.1.2 Komponen Sistem

1. AVR Atmega 8535 yang mempunyai PWM sendiri.
2. Pc 817 yang berfungsi sebagai driver
3. Mosfet IRFP460 sebagai pengubah tegangan Dc ke Ac dengan kemampuan arus yang tinggi.
4. TIP 3055 sebagai pembagi arus pada rangkaian adjustable tegangan.

## 3.2 PERANCANGAN DAN REALISASI PERANGKAT KERAS

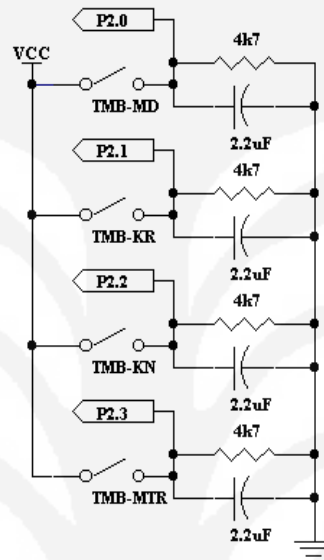
### 3.2.1 Spesifikasi Perangkat Keras

Perangkat keras rancang bangun sistem penchargeran akumulator pada solar cell terdiri dari 6 buah subsistem. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Subsistem push button  
Subsistem ini terdiri dari 2 buah push button yang berfungsi sebagai tombol start, stop PWM.
2. Subsistem pengendali  
Untuk pengendali menggunakan mikrokontroler AVR Atmega 8535
3. Subsistem switching PWM atau *driver*  
Menggunakan fungsi transistor sebagai saklar yang berupa optotransistor terdiri dari 4 buah sebagai penggerak mosfet.
4. Subsistem photovoltaik  
Sebagai sumber tegangan yang diswitching.
5. Subsistem power supply ( catu daya )
  - a. 5 VDC untuk supplay subsistem pengendali, subsistem push button.
  - b. 9 VDC untuk supplay driver
6. Subsistem trafo dan rectifier, adjustable tegangan  
Terdiri dari trafo dan rangkaian penyearah, rangkaian adjustable.

### 3.2.2 Subsistem push button

Push button disini berfungsi untuk menghidupkan pwm ( start), mematikan pwm. Pada gambar 3.2 diperlihatkan data yang masuk ke mikrokontroller AVR Atmega 8535.



Gambar 3.2 rangkaian push button

Gambar 3.3 merupakan realisasi rangkaian push button yang dihubungkan ke port pada mikrokontroller.



Gambar 3.3 realisasi push button

### 3.2.3 Subsistem Pengendali

DT-AVR Low Cost Micro System merupakan sebuah modul single chip dengan basis mikrokontroller AVR dan memiliki kemampuan untuk melakukan komunikasi data serial secara UART RS-232 serta pemrograman memory melalui

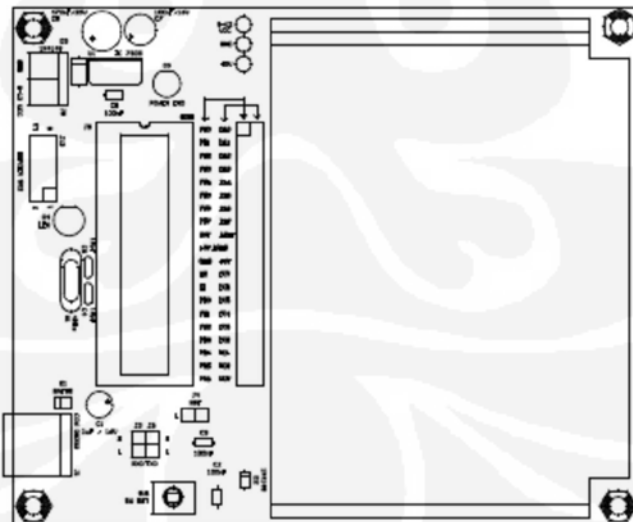
ISP (In System Programming). Modul ini cocok untuk aplikasi-aplikasi sederhana hingga menengah. Contoh aplikasinya adalah pengendali tampilan LED, pengendali driver motor, komunikasi modul dengan PC dan lain-lain.

### 3.2.3.1 Spesifikasi Hardware

1. Mikrokontroler Atmega 8535 yang mempunyai 8Kb Flash memory dan 8 channel ADC dengan resolusi 10 bit
2. Memiliki jalur I/O hingga 35 pin.
3. Terdapat eksternal brown out detektor sebagai rangkaian reset.
4. Konfigurasi jumper untuk melakukan pemilihan beberapa model pengambilan tegangan referensi untuk AVR dengan internal ADC.
5. LED programming indikator.
6. Frekuensi oscilator sebesar 12 MHz.
7. Tersedia jalur komunikasi serial UART RS-232 dengan konektor RJ11
8. Tegangan input power supply 9-12 VDC dan output 5VDC.

### 3.2.3.2 Tata Letak dan Konfigurasi Jumper

Pada gambar 3.4 dapat dilihat tata letak dan konfigurasi jumper tampak dari atas DT AVR.

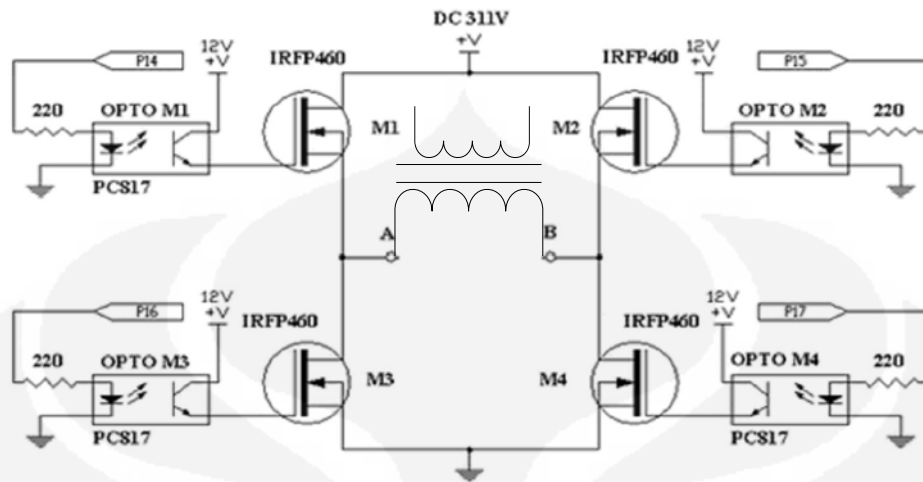


Gambar 3.4 tampak atas DT AVR

Pada gambar 3.5 menunjukkan gambar rangkaian DT AVR







Gambar 3.7 rangkaian driver

Gambar 3.10 merupakan gambar realisasi dari rangkaian driver yang dihubungkan ke mikrokontroler.



Gambar 3.8 realisasi rangkaian driver

### 3.2.6 Subsistem *photovoltaik* ( sel surya )

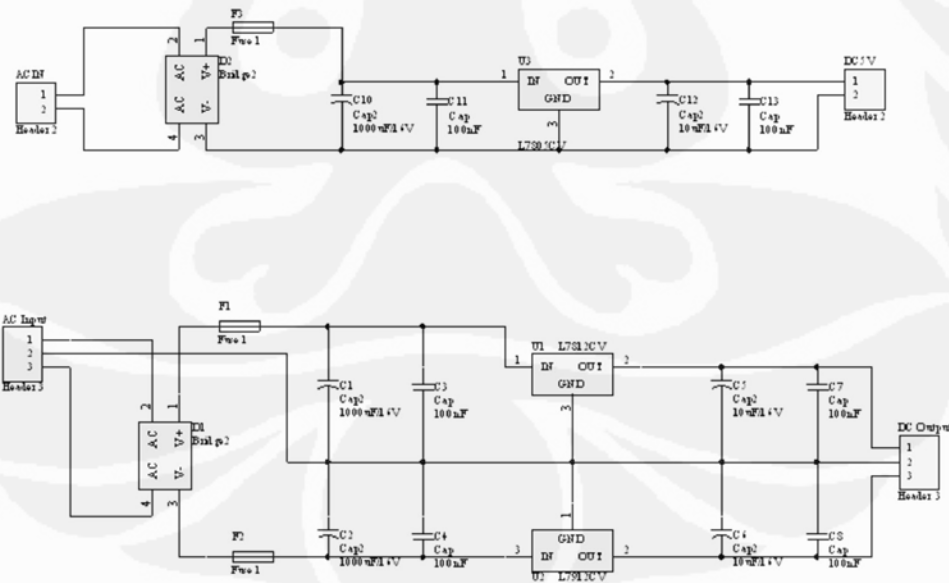
Pada subsistem sel surya terdiri dari beberapa modul sel surya. Gambar 3.9 menunjukkan susunan dari modul sel surya.



Gambar 3.9 susunan modul sel surya.

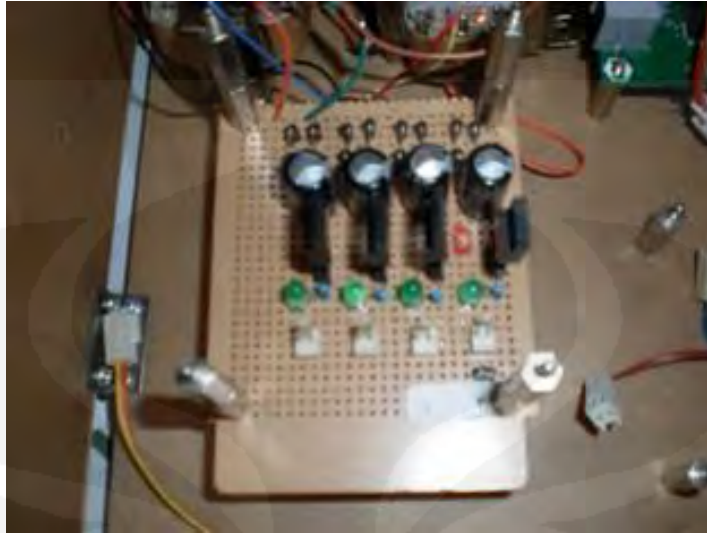
### 3.2.7 Subsistem power supply (catu daya)

Power supply yang dihasilkan oleh rangkaian di bawah ini adalah +12V, +5V, +9V. Input pada power supply diberikan tegangan AC sebesar 15 Vac, 12 Vac dan CT dari sebuah transformator. Tegangan –tegangan tersebut disearahkan dengan menggunakan *dioda bridge*. Tegangan –tegangan yang sudah disearahkan masuk ke kapasitor untuk mengurangi terjadinya *ripple* (naik turun) tegangan. Kemudian masuk ke IC regulator 7812, 7809, dan 7805. untuk rangkaian power supply dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 rangkaian power supply

Pada gambar 3.11 ditunjukkan realisasi dari rangkaian power supply

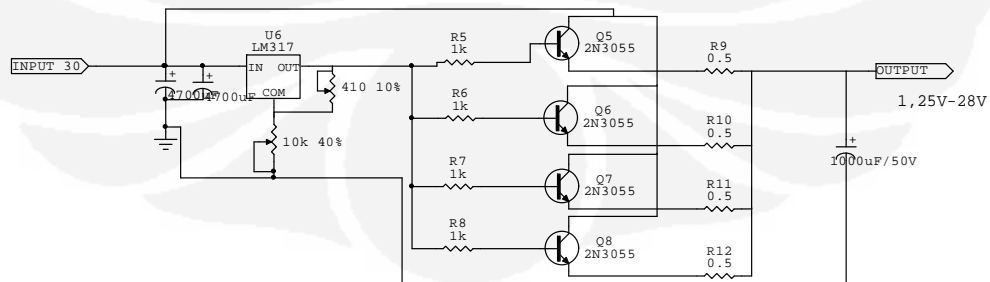


Gambar 3.11 realisasi power supply untuk driver



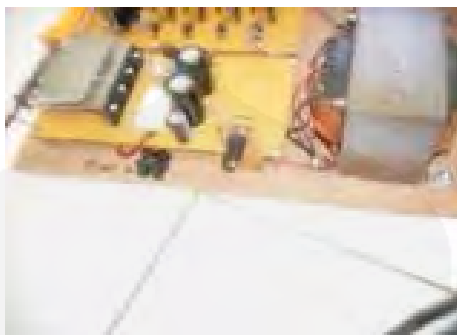
Gambar 3.12 realisasi power supply untuk mikrokontroller

### 3.2.8 Subsystem Trafo dan Rectifier, rangkaian Adjustable Tegangan



Gambar 3.13 rangkaian adjustable

Pada gambar 3.14 menunjukkan realisasi trafo



Gambar 3.14 realisasi trafo, rectifier dan adjustable tegangan

### **3.3 PERANCANGAN DAN REALISASI PERANGKAT LUNAK**

Perancangan dan realisasi perangkat lunak dilakukan untuk mengatur kinerja mikrokontroler AVR Atmega 8535, dimana mikrokontroler AVR Atmega 8535 merupakan otak subsistem pengendali. Perangkat lunak pada mikrokontroler berfungsi untuk melakukan pengendalian seluruh subsistem.

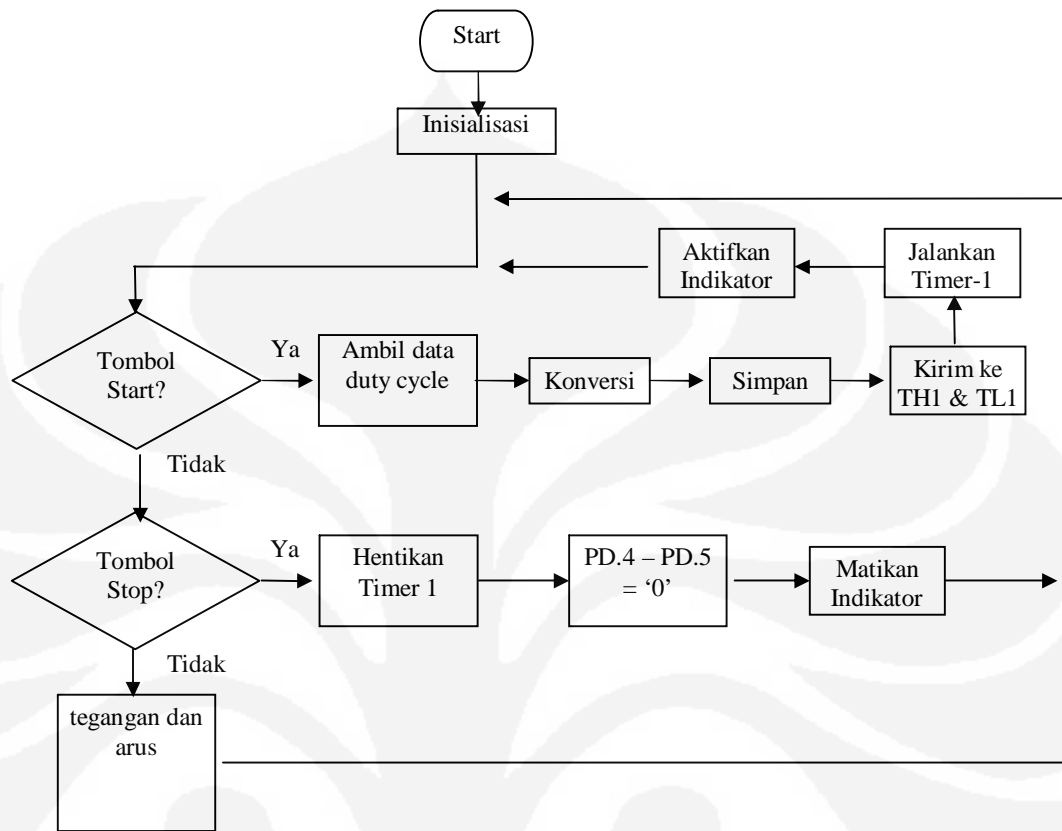
#### **3.3.1 Spesifikasi Perangkat Lunak**

Spesifikasi perangkat lunak yang akan dirancang adalah sebagai berikut :

1. Perangkat lunak yang dirancang dibuat dengan bahasa bascom AVR.
2. Program-program yang dibuat menggunakan instruksi-instruksi mikrokontroler Atmega 8535.

#### **3.3.2 Diagram Alir Perangkat Lunak**

Algoritma perangkat lunak dibuat untuk mempermudah pembuatan program dari seluruh sistem. Gambar 3.15 adalah diagram alir secara umum dari seluruh sistem.



Gambar 3.15 flowchart program secara umum

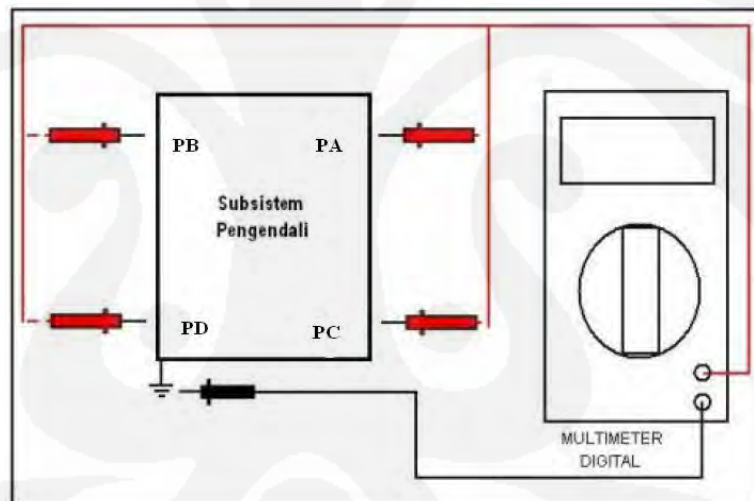
## BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas pengujian dan analisis perangkat-perangkat yang telah dirancang dan direalisasikan sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

### 4.1 Uji Coba dan Analisis Perangkat Keras

#### 4.1.1 Pengujian Subsistem Pengendali

pengujian subsistem pengendali dilakukan dengan cara mengukur tegangan setiap pin dari *port* A, B, C, D dalam kondisi *high* dan *low* menggunakan multimeter digital. Gambar 4.1 adalah gambar blok pengujian rangkaian subsistem pengendali. Tabel 4.1 adalah tabel hasil pengujian subsistem pengendali.



Gambar 4.1 Blok Diagram Pengujian Subsistem Pengendali

Tabel 4.1 Tabel Hasil Uji Coba Subsistem Pengendali

PIN	KONDISI (VOLT)		PIN	KONDISI	
	HIGH	LOW		HIGH	LOW
PA0	4,3	0,00	PC0	4,3	0,00
PA1	4,3	0,00	PC1	4,3	0,00
PA2	4,3	0,00	PC2	4,3	0,00
PA3	4,3	0,00	PC3	4,3	0,00
PA4	4,3	0,00	PC4	4,3	0,00

PA5	4,3	0,00	PC5	4,3	0,00
PA6	4,3	0,00	PC6	4,3	0,00
PA7	4,3	0,00	PC7	4,3	0,00
PB0	4,3	0,00	PD0	4,3	0,00
PB1	4,3	0,00	PD1	4,3	0,00
PB2	4,3	0,00	PD2	4,3	0,00
PB3	4,3	0,00	PD3	4,3	0,00
PB4	4,3	0,00	PD4	4,3	0,00
PB5	4,3	0,00	PD5	4,3	0,00
PB6	4,3	0,00	PD6	4,3	0,00
PB7	4,3	0,00	PD7	4,3	0,00

#### 4.1.2 Pengujian Subsistem Power Supply (Catu Daya)

Pengujian catu daya dilakukan dengan mengukur besarnya tegangan keluaran 5 Volt, 9 Volt dan 12 Volt dengan menggunakan multimeter digital *mode* DC Volt meter. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui apakah catu daya sudah dapat mengeluarkan tegangan 5 Volt, 9 Volt dan 12 Volt DC yang stabil.

Tabel 4.2. Hasil pengujian dapat dilihat pada

NO	Keluaran 5 Volt	Keluaran 12 Volt	Keluaran 9 Volt
1	4,98 V	11,97 V	8,98 V
2	4,98 V	11,96 V	8,96 V
3	4,97 V	11,96 V	8,96 V
4	4,95 V	11,95 V	4,95 V

Dari hasil pengujian tampak bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh catu daya tetap stabil. Perubahan nilai tegangan hanya terjadi beberapa millivolt. Hal ini sangat wajar karena rangkaian pada catu daya mengalami perubahan resistansi akibat suhu komponen meningkat akibat pengaruh pembebanan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa rangkaian catu daya ini telah bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan.



#### 4.1.3 Pengujian Subsistem *Driver*

Pengujian subsistem *driver* dilakukan dengan cara mengukur *level* tegangan dari VML ke kaki kolektor optotransistor pada saat basis optotransistor diberi logika *high* atau *low* dari mikrokontroler. Selain itu juga diuji kondisi dari Mosfet.

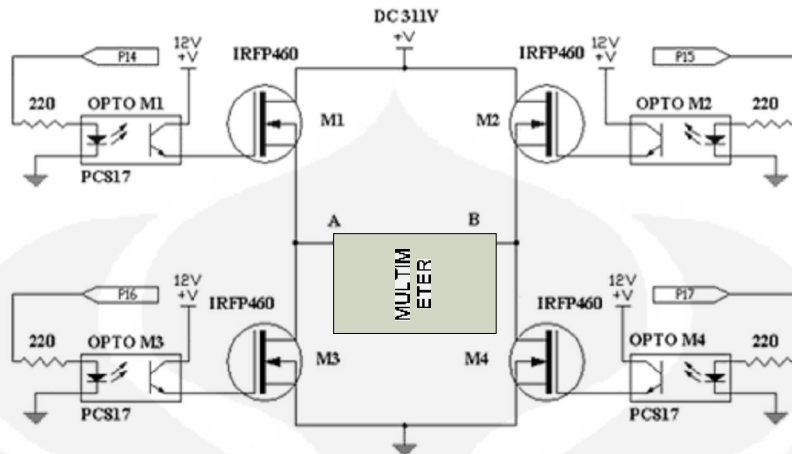
Tabel 4.3 Tabel Hasil Uji Coba Subsistem *Driver*.

Opto	Signal	Tegangan (Volt)	Mosfet 1	Mosfet 2	Mosfet 3	Mosfet 4
1	Low	0,00	off	on	on	off
	High	4,22	on	off	off	on
2	Low	0,00	on	off	off	on
	High	4,22	off	on	on	off
3	Low	0,00	on	off	off	on
	High	4,22	off	on	on	off
4	Low	0,00	off	on	on	off
	High	4,22	on	off	off	on

Berdasarkan tabel 4.3 dapat dianalisa bahwa opto 1 dan opto 4 bekerja secara bersamaan dimana ketika opto 1 on, maka opto 4 juga dalam kondisi on sehingga akan mengaktifkan mosfet 1 dan mosfet 4. begitu sebaliknya yaitu bahwa opto 2 dan opto 3 juga bekerja secara bersamaan dimana ketika opto 2 on, maka opto 3 juga on sehingga akan mengaktifkan mosfet 2 dan mosfet 3.

#### 4.1.4 Pengujian Inverter Bridge Mosfet

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan masukan yang nilainya sebesar  $\pm 280$  V DC kemudian dilakukan pengukuran pada keluaran jembatan Mosfet saat rangkaian ini diberi masukan dari untai *driver* Mosfet yang berasal dari pengendali mikrokontroler.



Gambar 4.2 Pengujian *inverter bridge* mosfet

Dari pengujian rangkaian *Inverter Bridge* Mosfet diperoleh hasil seperti ditunjukkan oleh tabel 4.4..

Tabel 4.4 Hasil pengujian rangkaian *inverter bridge* mosfet

No	Status saklar	Tegangan masukan(DC)	Tegangan keluaran(AC)
1	Hidup	280 Volt	250 Volt
2	Mati	0 Volt	0 Volt



Gambar 4.3 Hasil pengukuran sinyal pada pengendali *inverter bridge* mosfet

Dari hasil pengukuran di atas diperoleh beberapa analisa sebagai berikut :

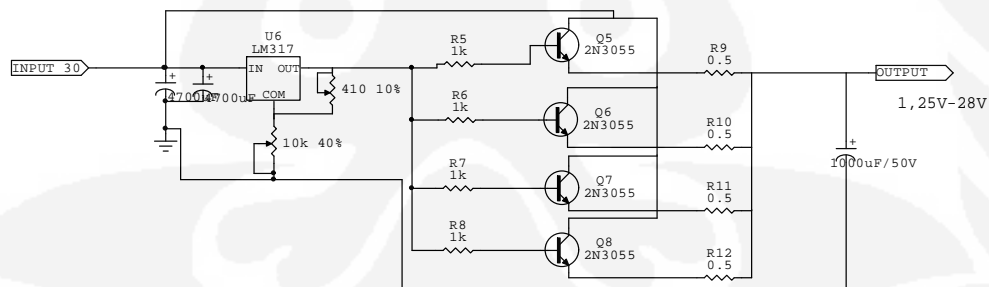
- Jika saklar utama (push button) dihidupkan maka tegangan 280 V DC akan masuk ke *inverter bridge* mosfet kemudian tegangan tersebut diubah menjadi tegangan AC dengan bentuk sinyal kotak. Besar

tegangan AC yang dihasilkan mempunyai besar 0.9 dari tegangan masukan 280 V.

- M1 dan M4 hidup secara bersamaan sehingga keluarannya adalah + 252 V DC, sedangkan M2 dan M3 juga hidup secara bersamaan sehingga keluarannya adalah – 252 V DC, hal ini terjadi secara kontinyu sesuai dengan frekuensi pensaklaran pada mosfet sehingga jika diukur dengan osiloskop maka sinyal yang dihasilkan adalah kotak.
- Sinyal yang terukur pada masukan kaki gate IRFP460 adalah sinyal DC kotak dengan nilai tegangan dibawah 12 V dengan lebar frekuensi sinyal (50Hz). Sinyal tersebut berasal dari mikrokontroler.

#### 4.1.5 Pengujian Pengatur tegangan dan Regulator

Pengujian pada pengatur tegangan dan regulator bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai tegangan keluaran pengisi AKI agar sesuai dengan besarnya kapasitas AKI yang akan diisi ulang sehingga tidak merusak AKI jika terjadi kelebihan tegangan yang ekstrim. Pengujian yang dilakukan adalah seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengatur tegangan dan Regulator

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran regulator dengan menggunakan multimeter digital DT-830B untuk setiap perubahan nilai hambatan R2 secara variasi dengan nilai R1 tetap konstan 410 Ω. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tegangan input	Hambatan R2(Ω)	Hambatan R1(Ω)	$V_{out}$ ( V )
----------------	----------------	----------------	-----------------

30	0	410	0.65
30	2k	410	5.5
30	6k	410	17.7
30	10k	410	26.8

Dari hasil pengukuran diatas didapat tegangan keluaran yang bervariasi. Variasi tegangan diperoleh dari hasil perbandingan besarnya nilai hambatan R2 dan R1. Pengukuran hanya dilakukan secara sempling. Tegangan keluaran dari regulator dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

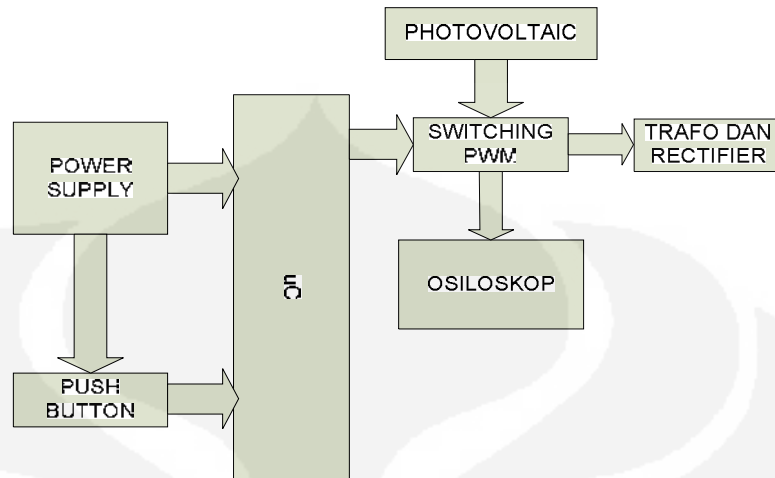
$$V_{\text{out Regulator}} = \left\{ 1.25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - 0.6 \right\}$$

Dari rumusan diatas dapat dijelaskan bahwa perbandingan R2 dan R1 mempengaruhi nilai tegangan keluaran, sedangkan angka 1.25 adalah batas minimum tegangan kerja IC LM 317, sedangkan angka 0.6 merupakan tegangan buka dari transistor regulator, sehingga setiap tegangan keluaran dari IC LM 317 dikurangi dengan tegangan buka transistor sebelum diteruskan ke jalur keluaran. Rumusan sebenarnya dari IC regulator LM 317 dari datasheet adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{out IC LM 317}} = 1.25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

#### 4.1.6 Pengujian Alat Secara keseluruhan

Pengujian alat secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui alat sudah berjalan sesuai keinginan dan spesifikasi atau belum. Berikut gambar pengujiannya



Gambar 4.5 pengujian alat secara keseluruhan



Gambar 4.6 Hasil pengukuran tegangan pada trafo saat frekuensi 50 Hz

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa frekuensi yang dihasilkan sudah 50 Hz. Hal ini disesuaikan dengan kondisi trafo yang digunakan yaitu trafo untuk jala-jala PLN yang mempunyai frekuensi 50Hz. Sehingga tidak merusak trafo.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisis alat dapat disimpulkan bahwa:

1. Alat sudah bekerja dengan baik, alat dapat merubah tegangan Dc menjadi tegangan Ac kotak. Alat juga dapat menghasilkan tegangan yang diinginkan.
2. Mosfet akan aktif jika pada optotransistor terjadi saturasi, dimana arus mengalir dari kolektor ke emitor yang kemudian mengaktifkan kaki gate pada mosfet sehingga arus mengalir dari drain ke source.
3. Sistem sudah bekerja dengan baik, yaitu dapat merubah tegangan DC menjadi tegangan Ac kotak.
4. Hasil pengujian pada *inverter bridge* mosfet menunjukkan bahwa tegangan berubah menjadi tegangan Ac kotak sehingga dapat diturunkan dengan menggunakan trafo penurun tegangan.

### **5.2 Saran**

1. Dalam membuat rangkaian *inverter bridge* mosfet dengan PWM harus diperhatikan dalam pemilihan mosfet. Disesuaikan dengan daya sumber yang akan diswitching.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Solar Module,  
[http://www.wikipedia.co.id/solar\\_sel/](http://www.wikipedia.co.id/solar_sel/), diakses pada tanggal 03 Mei 2009  
jam 21:30 WIB
- [2] M.Ary Heryanto, ST. 2006. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroller Atmega 8535*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [3] M.Ary Heryanto, ST. 2006. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroller Atmega 8535*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [4] M.Ary Heryanto, ST. 2006. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroller Atmega 8535*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [5] M.Ary Heryanto, ST. 2006. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroller Atmega 8535*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [6] Albert Paul Malvino, Ph.D. 1984. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta : Erlangga.
- [7] Albert Paul Malvino, Ph.D. 1984. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta : Erlangga.
- [8] Drs. Sumanto, MA. 1978. *Teori Transformator*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [9] Drs. Sumanto, MA. 1978. *Teori Transformator*. Yogyakarta : Andi Offset.

## DAFTAR PUSTAKA

Malvino, Albert Paul. 1994. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Erlangga

Suhal, “*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*” Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama

[www.atmel.com](http://www.atmel.com)

[www.elektronika-elektronika.com](http://www.elektronika-elektronika.com)

Wardhana, Lingga. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroller AVR Seri ATmega8535*, Yogyakarta : Andi Offset

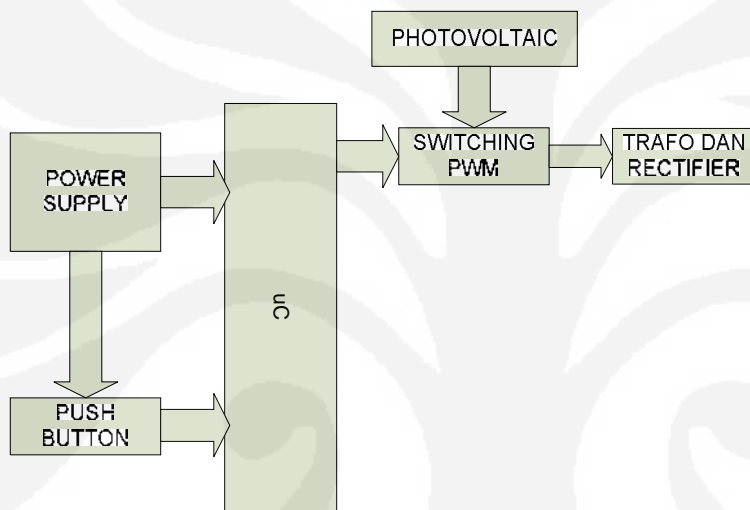
Haiduc Pavel. 2004. *Atmega 8535*. USA : Atmel Corporation.

Heryanto, M.Ary. 2006. *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroller Atmega 8535*. Yogyakarta : Andi Offset





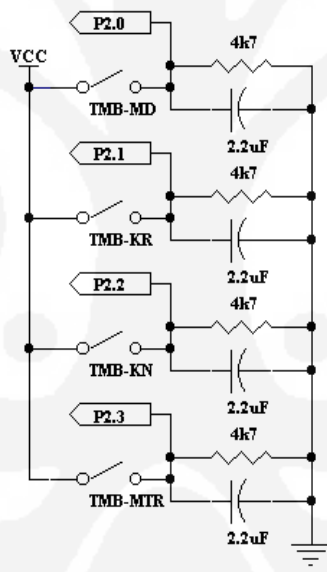
**LAMPIRAN I**  
**BLOK DIAGRAM SISTEM**



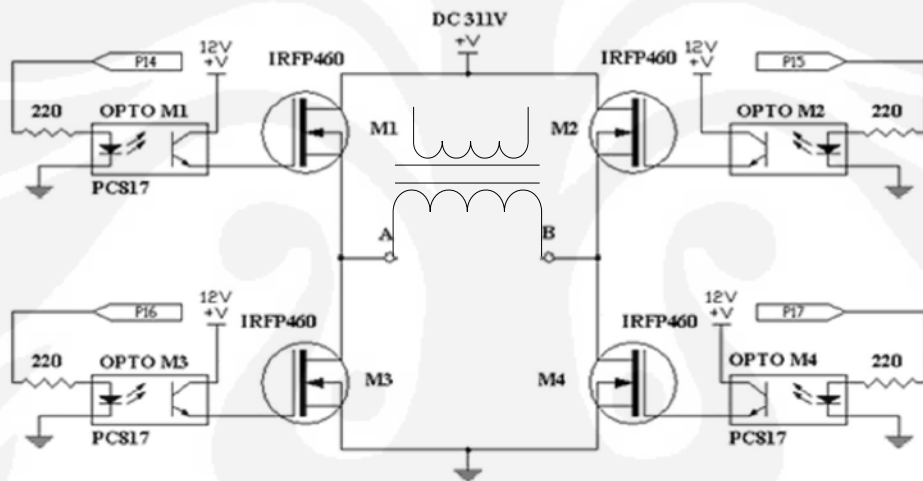
## BLOK DIAGRAM SISTEM



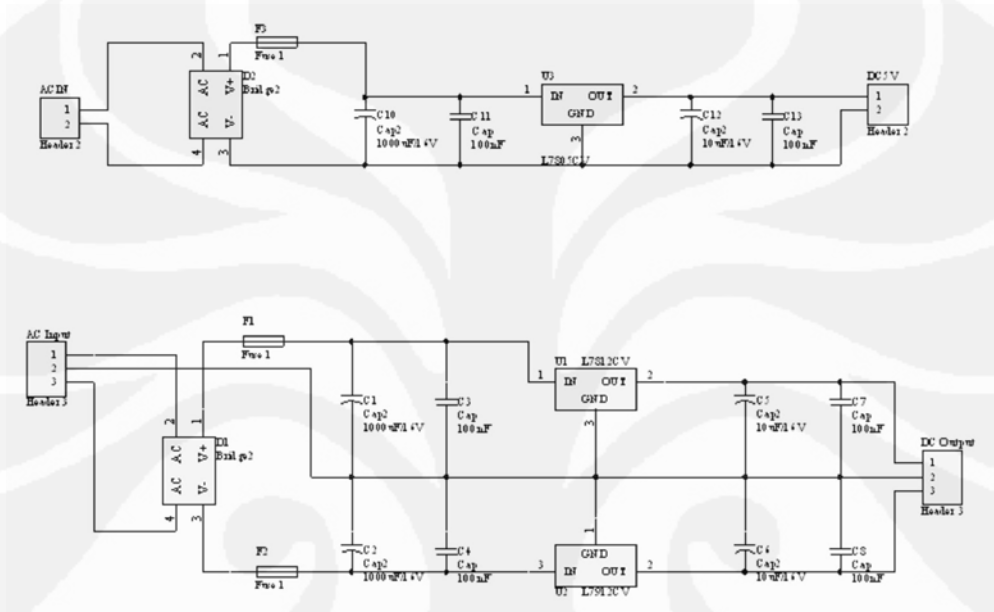
**LAMPIRAN II**  
**GAMBAR RANGKAIAN**







## RANGKAIAN DRIVER DAN INVERTER BRIDGE

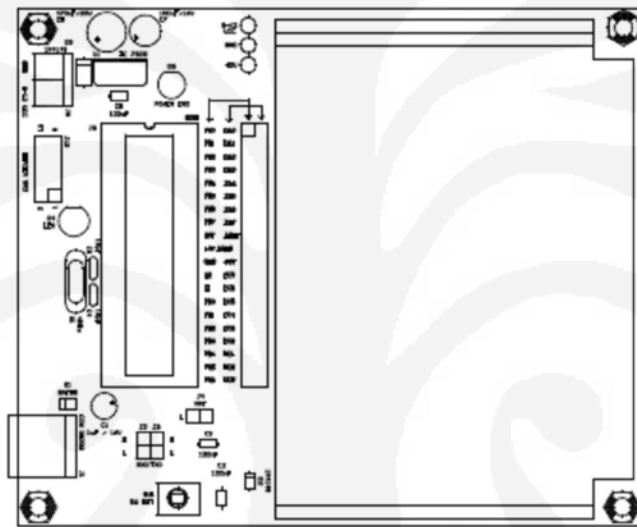


## RANGKAIAN POWER SUPPLY



**LAMPIRAN III**  
**LAYOUT PCB**

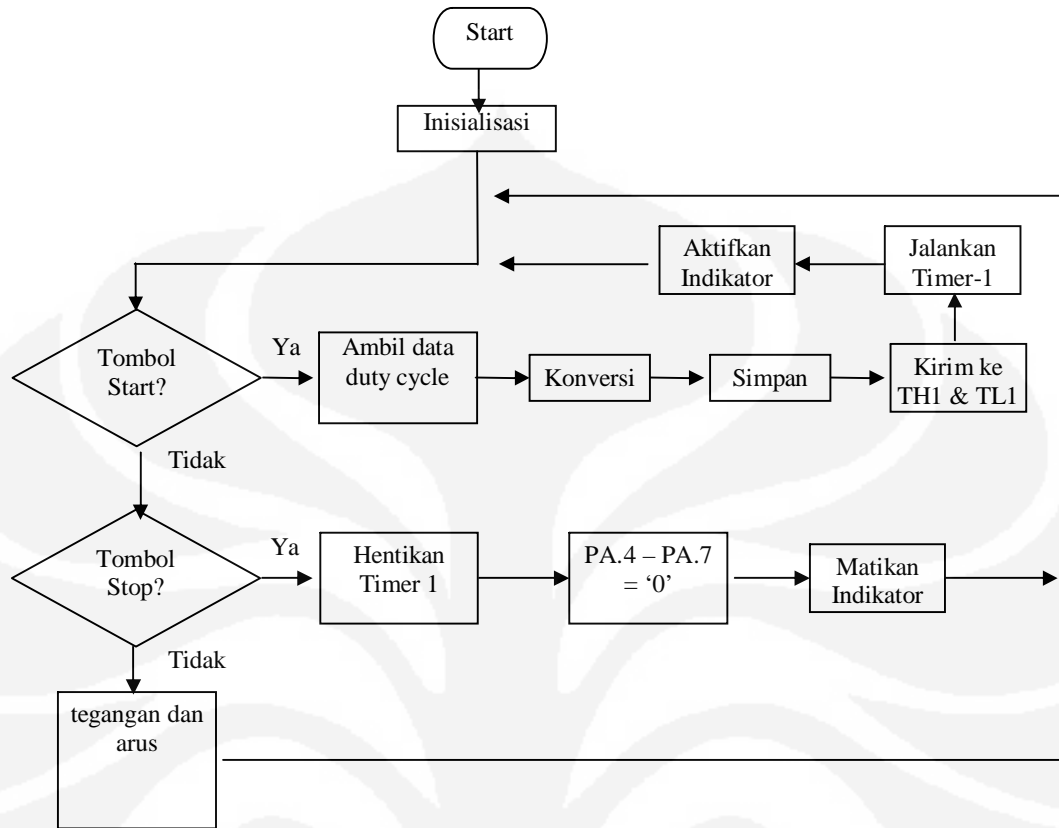




LAYOUT PCB DT AVR



**LAMPIRAN IV**  
**FLOWCHART PROGRAM**



## FLOWCHART DIAGRAM



**LAMPIRAN V**  
**LISTING PROGRAM**

```
$regfile = "8535def.dat"  
$crystal = 12000000  
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Compare B Pwm =  
Clear Down , Prescale = 256  
Pwm1a = 128  
Pwm1b = 128  
End                               'end program
```



**LAMPIRAN VI**  
**RANGKAIAN KESELURUHAN**