

**PROTOTYPE SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK  
DENGAN MENGGUNAKAN MOTOR DC SERI STATER  
MOBIL**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**HADI WIJAYANTO**

**06 06 04 259 5**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK ELEKTRO  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

### **PROTOTYPE SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKNA MOTOR DC STATER MOBIL**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari seminar yang Indonesia, sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 2 Mei 2008

Hadi Wijayanto  
NPM 0606042595

## **PENGESAHAN**

Tugas akhir dengan judul :

### **PROTOTIPE SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN MOTOR DC STATER**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 9 Juli 2006 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 16 Juli 2008

Dosen pembimbing,

Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji Syukur kepada Allah Swt atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir ini bisa diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng.

Sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran,bimbingan serta pengarahan sehingga seminar ini dapat diselesaikan dengan baik.

Hadi Wijayanto  
NPM 06 06 04 259 5  
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing  
I. DR. Ir. Feri Yusivar, M. Eng

## **SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN MOTOR STATER DC**

### **ABSTRAK**

Menurut International Standard (ISO 8713:2002) mobil listrik dikenal dalam istilah Electric road vehicles yang di Amerika dikembangkan menjadi dua (2) jenis, diantaranya Zero Emission Vehicles (ZEV) dan Low Emission Vehicles (LEV). Mobil listrik yang di kategorikan menjadi Zero Emission Vehicles adalah Mobil Baterai (Battery Operate) dan Mobil Fuel cell. Sedangkan yang dikategorikan menjadi LEV adalah mobil yang sistem penggerakannya memadukan antara conventional engine dengan motor listrik (mobil Hybride).

Mobil Baterai (Battery Operate) dan Mobil Fuel cell sistem penggerakannya dengan menggunakan motor dc karena kecepatan mudah diatur dan mempunyai variasi kecepatan yang lebar. Tugas akhir penggerak mobil listrik ini menggunakan motor dc seri yang terdapat pada stater mobil. Sebelum digunakan menjadi motor penggerak motor stater dimodifikasi bagian luar dan lilitan didalamnya. Motor dc stater mobil mempunyai torsi yang besar dan kecepatan tinggi, tetapi mempunyai kelemahan dengan arus yang besar sehingga motor cepat panas. Pengontrolan kecepatan menggunakan mikro AVR Atmega8535 dengan menggunakan metode PWM. Untuk pensaklaran elektronis menggunakan mosfet dan relay. Perubahan jumlah kumparan dan pengecilan diameter kawat email kumparan motor dapat menaikan hambatan motor sehingga dapat *mereduksi* arus, sehingga motor dapat bekerja lebih lama, untuk pengontrolan kecepatan pada saklar elektronik diperlukan rangkaian snubber untuk meniadakan tegangan balik yang disebabkan oleh beban yang bersifat induktif yang merusak saklar elektronik.

**Kata Kunci : mobil listrik, motor dc stater, avr atmega8535, PWM, mosfet**

Hadi Wijayanto  
NPM 06 06 04 259 5  
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing  
I. DR. Ir. Feri Yusivar, M. Eng

## **SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN MOTOR STATER DC**

### **ABSTRACT**

According to International Standar Operation (ISO 8713:2002) electrical car recognized as Electric road Vehicles that in America is expanded in two category such as: Zero Emission Vehicles(ZEV) dan Low Emission Vehicles (LEV). The ZEV one is knowed as battery car and fuel cell car, while the LEV one is the car with the driver is coloboration between convensional engine and electrical motor (Hybride car).

Battery and fuel cell car use DC motor as a driver because the ease of speed adjusment and have a width variation speed. This final assignment use DC motor that be in car starter. Before used as motor driver to drive motor starter, this DC motor is modified in outer edge and the winding inside. This one have a big torque and high speed, but it has a big current as a weakness so the motor will be heat quickly. The speed control use AVR Atmega8535 microcontroller with PWM method. For electronical switching use a mosfet and relay.

**Key word : electrical car, dc starter motor, AVR Atmega8535, PWM, mosfet**

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	ii
<b>PERSETUJUAN</b>	iii
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b>	vi
<b>ABSTRAK</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xv
<b>BAB I.PENDAHULUAN</b>	
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. TUJUAN PENULISAN	2
1.3. BATASAN MASALAH	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	2
<b>BAB II.DASAR TEORI</b>	3
2.1. MOTOR DC	3
2.1.1 Konstruksi mesin DC	3
2.1.2 Konsep Rangkaian Magnet	10
2.1.3 Teori Dasar Motor DC	10
2.1.4. GGL Lawan ( <i>B/CEMF -Back/Counter Electromotive For</i>	13
2.1.5 Motor DC Motor Seri	14
2.1.6 Pengaturan Kecepatan Motor	16
2.1.7 Pengasutan Motor DC.	16
2.2 MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535	16
2.2.1 Arsitektur ATmega8535	17
2.2.2 Fitur ATmega8535	19
2.2.3 Konfigurasi Pin ATmega8535	19
2.2.4 Peta Memory	20
2.2.5 SREG (Status Register)	23

2.2.6	<i>General Purpose Register</i>	24
2.2.7	Stack Pointer	26
2.2.8	Timer/Counter	26
2.2.9	PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> )	35
2.2.10	<i>Analog Digital Converter</i>	37
2.2.11	<i>CodeVision AVR C Compiler</i>	41
2.3	TRANSISTOR	43
2.4	RELAY	44
2.5	MOSFET	45
2.6.	PENGAMAN RELAY	46
2.7	BATERAI	47
<b>BAB III.</b>	<b>PERANCANGAN SISTEM</b>	<b>48</b>
3.1	BLOK DIAGRAM PERANCANGAN KENDALI MOTOR DC STATER	48
3.2	MODIFIKASI BAGIAN MOTOR DC STATER.	49
3.2.2.	Modifikasi pada <i>Endsection</i>	51
3.2.3.	Modifikasi pada Kumparan stator	51
3.2.4.	Modifikasi Pada Kumparan Armature.	52
3.3	PERANCANGAN ELEKTRONIK .	53
3.3.1	Mikrokontroller AVR Atmega 8535	53
3.3.2.	Catu Daya	55
3.3.2	Driver Mosfet	55
3.4.	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK	56
3.5 .	PENGUJIAN ALAT	59
3.5.1	Pengujian Motor	59
3.5.2	Pengujian Catu Daya	60
3.5.3	Pengujian tegangan Analog untuk masukan ADC	61
3.5.4	Pengujian Driver	61
3.5.5	Pengujian Sinyal PWM	61
3.5.6	Pengujian Secara keseluruhan Sistem	62
<b>BAB IV.</b>	<b>DATA PENGAMATAN DAN ANALISA</b>	<b>63</b>



4.1. PENGUJIAN MOTOR	63
4.1.1. Pengujian Lilitan Motor	63
4.1.2. Penhujian Tahanan dan Ketahanan Motor	64
4.2 PENGUJIAN RANGKAIAN CATU DAYA.	68
4.3 PENGUJIAN DRIVER .	68
4.4 PENGUJIAN SINYAL PWM	69
4.5 PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM.	71
<b>BAB V KESIMPULAN.</b>	<b>74</b>

## Daftar Gambar

	halaman
<b>Gambar 2.1:</b> Konstruksi mesin DC.	3
<b>Gambar 2.2:</b> Bentuk kumparan pada stator	4
<b>Gambar 2.3:</b> Bentuk umum kumparan Armature	5
<b>Gambar 2.4:</b> Kumparan <i>jerat</i> ( <i>lap winding</i> )	6
<b>Gambar 2.5:</b> Kumparan gelombang	7
<b>Gambar 2.6:</b> Kumparan <i>Frog Winding</i>	9
<b>Gambar 2.7:</b> Aturan tangan kiri <i>Fleming</i>	11
<b>Gambar 2.8:</b> Kawat pada daerah medan magnetik	11
<b>Gambar 2.9:</b> Medan magnetik yang dihasilkan magnet permanen	11
<b>Gambar 2.10:</b> Jenis – jenis motor DC	12
<b>Gambar 2.11:</b> Lilitan pada Rotor	13
<b>Gambar 2.12:</b> Rangkaian motor seri	14
<b>Gambar 2.13:</b> Kurva karakteristik Motor DC	15
<b>Gambar 2.14:</b> Diagram fungsional ATmega8535	17
<b>Gambar 2.15:</b> Pin ATmega8535	20
<b>Gambar 2.16:</b> Konfigurasi memori data AVR ATmega8535	22
<b>Gambar 2.17:</b> Memori program AVR ATmega8535	23
<b>Gambar 2.18:</b> Status register ATmega8535	23
<b>Gambar 2.19:</b> Ke-32 Register <i>general purpose</i>	25
<b>Gambar 2.20:</b> Register X-, Y- dan Z-.	26
<b>Gambar 2.21:</b> Register TCCR0	27
<b>Gambar 2.22:</b> Register TCCR1A.	29
<b>Gambar 2.23:</b> Register TCCR1B	32
<b>Gambar 2.24:</b> Register TCCR2	33
<b>Gambar 2.25:</b> Pulsa PWM <i>inverting</i> dan <i>non-inverting</i>	36
<b>Gambar 2.26:</b> Pulsa PWM yang <i>glitch-free</i>	36
<b>Gambar 2.27:</b> Pemilihan <i>chip</i> dan frekuensi <i>x-tall</i>	42

<b>Gambar 2.28:</b> Pemilihan <i>chip</i> dan frekuensi <i>x-tall</i>	42
<b>Gambar 2.29:</b> (a) Simbol Transistor PNP (b) Simbol Transistor NPN	43
<b>Gambar 2.30:</b> Kurva Karakteristik Transistor	44
<b>Gambar 2.31:</b> Relay <i>bosch</i>	44
<b>Gambar 2.32:</b> Mosfet Saluran N	45
<b>Gambar 2.33:</b> Mosfet dengan bias <i>gate</i> .	46
<b>Gambar 2.34:</b> Pengaman Relay.	44
<b>Gambar 2.35:</b> Sel Batrai	45
<b>Gambar 3.1:</b> Blok diagram perancangan kendali motor dc stater	48
<b>Gambar 3.2:</b> Stator Motor DC stater	50
<b>Gambar 3.3:</b> Rotor Motor DC Stater	50
<b>Gambar 3.4:</b> Sikat dan Terminal Motor DC Stater.	50
<b>Gambar 3.5:</b> Modifikasi shafsection	51
<b>Gambar 3.6:</b> Modifikasi endsection	52
<b>Gambar 3.7:</b> Rangkaian antara lilitan armature dengan lilitan medan	53
<b>Gambar 3.8:</b> Sistem mikrokontroler untuk mengendalikan kecepatan motor	54
<b>Gambar 3.9:</b> Rangkaian <i>power supply</i>	55
<b>Gambar 3.10:</b> Rangkaian driver mosfet	55
<b>Gambar 3.11:</b> Flow chart program mikrokontroler utama	57
<b>Gambar 3.12:</b> Perangkat keras mikrokontroller	58
<b>Gambar 3.13:</b> Perangkat driver	59
<b>Gambar 3.11:</b> Flow chart program mikrokontroler utama	57
<b>Gambar 3.12:</b> Perangkat keras mikrokontroller	58
<b>Gambar 3.13:</b> Perangkat driver	59
<b>Gambar 3.14:</b> Rencana pengambilan data	60
<b>Gambar 3.15:</b> Rencana pengujian catu daya	60
<b>Gambar 3.16:</b> Rencana pengujian driver relay	61
<b>Gambar 3.17:</b> Rencana pengujian sinyal PWM	62
<b>Gambar 3.18:</b> Skema pengujian seluruh sistem	62
<b>Gambar 4.1:</b> Kumparan yang Terdapat motor dc seri	64

<b>Gambar 4.2:</b> Hubungan antara motor DC seri dengan	65
<b>Gambar 4.3:</b> Pengujian Sinyal PWM frekwensi carrier 15 khz	70
<b>Gambar 4.4:</b> Pengujian sinyal pwm	70
<b>Gambar 4.4:</b> Hubungan antara Tegangan masukan dan dutycycle	71
<b>Gambar 4.5:</b> Skema pengendalian motor DC seri	72

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Tabel pengalamatan register I/O	21
Tabel 2.2 Konfigurasi Bit WGM01 dan WGM00	27
Tabel 2.3 Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode non PW</i>	27
Tabel 2.4 Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode Fast PWM</i>	28
Tabel 2.5 Konfigurasi Bit COM01 dan COM00 <i>Compare Output Mode Phase Correct PWM</i>	28
Tabel 2.6 Konfigurasi Bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak	28
Tabel 2.7 Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode non PWM</i>	29
Tabel 2.8 Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode Fast PWM</i>	30
Tabel 2.9 Konfigurasi Bit <i>Compare Output Mode Phase Correct dan Frequency Correct PWM</i>	31
Tabel 2.10 Konfigurasi bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak	31
Tabel 2.11 Konfigurasi bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak	32
Tabel 2.12 Konfigurasi Bit WGM21 dan WGM20	33
Tabel 2.13 Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode non PWM</i>	34
Tabel 2.14 Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode Fast PWM</i>	34
Tabel 2.15 Konfigurasi Bit COM21 dan COM20 <i>Compare Output Mode Phase Correct PWM</i>	34
Tabel 2.16 Konfigurasi Bit <i>Clock Select</i> untuk memilih sumber detak	34
Tabel 2.17 Konfigurasi Bit <i>WGM01 dan WGM00</i> .	35
Tabel 2.18 Konfigurasi Bit <i>COM01 dan COM00 Compare Output Mode Phase Correct PWM</i>	35
Tabel 2.19 ADC <i>Multiplexer Selection Register</i>	38

Tabel 2.20 <i>Reference selection bits.</i>	38
Tabel 2.21 Status Register A ( ADCSRA)	40
Table 2.22 Table skala clock ADC	40
Table 2.23 Register SFIOR dan pemicu konversi ADC	41
Tabel 4.1 Hasil percobaan terhadap driver relay	67

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data sheet irf 540	78
Lampiran 2 Data sheet irf 3205	79
Lampiran 3 Data sheet Mikro AVR	80





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.4. LATAR BELAKANG MASALAH

Dengan berkembangnya dunia otomotif, maka makin banyak bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Kenaikan harga minyak bumi yang terus meningkat, industri otomotif mulai mengembangkan mobil jenis Hybrid, dan Mobil listrik.

Menurut International Standard (ISO 8713:2002) Mobil Listrik dikenal dalam istilah Electric road vehicles yang di Amerika dikembangkan menjadi dua (2) jenis, diantaranya *Zero Emission Vehicles (ZEV)* dan *Low Emission Vehicles (LEV)*. Mobil listrik yang di kategorikan menjadi *Zero Emission Vehicles* adalah Mobil Batrai (*Battery Operate*) dan *Mobil Fuel cell*. Sedangkan yang dikategorikan menjadi *LEV* adalah mobil yang sistem penggerakannya memadukan antara *conventional engine* dengan motor listrik (*mobil Hybride*). Mobil Listrik Batrai *Operate*. Mobil listrik jenis ini mengandalkan batrai sebagai sumber energi untuk menggerakkan kendaraan. Bagian yang sangat penting pada mobil listrik jenis ini adalah : 1). Motor listrik. 2). Batrai (AKI). 3). Carger (Alat pengisian ulang energi listrik pada AKI). 4). Sistem Kondali (Controller). 5). Manajemen Energi (EMS) atau Energy management System.

Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesinnya yang lebih sederhana. Penggunaan mobil listrik tentunya membutuhkan mesin listrik, yaitu motor DC, karena motor DC lebih mudah diatur kecepatan putarnya dibandingkan dengan motor AC.

Motor DC yang digunakan pada tugas akhir ini jenis motor DC seri yang terdapat pada stater mobil Suzuki Carry 1.0. Motor DC jenis ini digunakan karena mempunyai kelebihan yaitu dapat dengan mudah dijumpai dipasaran, harganya tidak mahal, mempunyai *torsi* yang besar, dan dimensinya yang kecil, ukurannya ringan untuk *torsi* yang sama besar dengan motor DC lain. tetapi mempunyai kelemahan arus yang besar sehingga motor cepat panas.

## **1.5. TUJUAN PENULISAN**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari karakteristik motor DC seri stater mobil dan mengendalikan kecepatan putaran motor.

## **1.6. BATASAN MASALAH**

Pada tugas akhir ini hanya akan membahas modifikasi pada motor DC stater, serta mengatur kecepatan motor dengan beban motor disambung pada roda penggerak mobil listrik, dengan menggunakan mosfet dan relay yang dikontrol dengan menggunakan mikrokontroler AVR Atmega 8535 dengan metode *PWM ( Pulse Wide Modulation )* untuk mengatur kecepatannya

## **1.4 SISTEMATIKA PENULISAN**

Pembahasan yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi lima (5) bab yakni : Bab satu berisi latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab dua membahas tentang teori Motor dc, mikrokontroler AVR Atmega8535, ADC, PWM, transistor, mosfet, Relay, dan pengaman relay. Bab tiga membahas tentang Perancangan hardware, berisi modifikasi motor dc stater, perancangan diagram blok, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, dan rencana pengujian alat dan pengambilan data. Bab empat berisi tentang pengujian dan analisa sistem. Bab lima berisi kesimpulan dari seluruh pembahasan sistem.

## BAB II

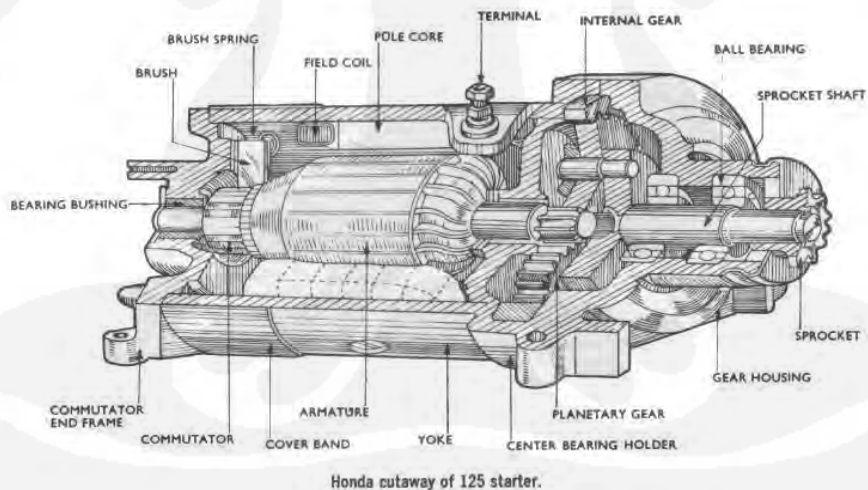
### DASAR TEORI

#### 2.1. MOTOR DC

Motor dc sangat dikenal karena pemakainya yang beraneka ragam. Dengan melakukan beberapa perubahan penggabungan antara lilitan medan dan lilitan armature dapat dirancang berbagai macam rangkain motor DC seri, Shunt, yang mempunyai karakteristik Volt-Amper atau kecepatan momen kokas yang berbeda – beda baik dalam penggunaan dinamik maupun keadaan tetap, karena mudah di atur motor DC sering digunakan pada pemakaian dengan rentang kecepatan motor yang lebar atau pengaturan motor yang teliliti pada keluaran kecepatan motornya.

#### 2.2.1 Konstruksi mesin DC

Secara umum konstruksi mesin arus searah adalah seperti Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Konstruksi mesin DC.[1]

a. *Stator*

*Stator* merupakan bagian motor dc yang diam. Bagian *stator* ini terdapat lilitan stator .[2] *Stator* mempunyai bagian – bagian sebagai berikut:

1. Rumah stator (*Frame/yoke*)

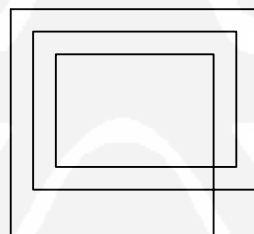
Pada umumnya rangka motor terbuat dari baja tuang (*cast stell*) atau baja lembaran (*Rolleb stell*).[2] Rangka ini pada bagian dalam dilaminasi untuk mengurangi rugi – rugi inti, selain itu juga harus memiliki *permeabilitas* yang tinggi, disamping kuat secara mekanis yang mendukung sistem secara keseluruhan dan sarana untuk membawa *fluksmagnetik* yang dihasilkan oleh kutup – kutup mesin.

2. Alur *stator*

Alur *stator* terbuat dari besi lunak atau baja silikon. Alur (*Slot*) berfungsi untuk meletakkan lilitan.[2] Dalam perencanaan, ukuran dari alur sangat penting untuk menentukan besar penampang kawat penghantar.

3. Lilitan stator

Kumparan adalah kawat email yang digulung sedemikian rupa sehingga membentuk lingkaran tertutup. Lilitan adalah sebutan untuk satu kesatuan yang dikaitkan dengan benda yang dililit. Lilitan stator terbuat dari tembaga



**Gambar 2.2:** Bentuk kumparan pada stator

b. *Rotor*

*Rotor* adalah bagian dari motor dc yang bergerak atau berputar bagian – bagian utamanya adalah inti *rotor*, belitan *rotor*, dan poros atau sumbu.[2]

1. Inti *Rotor*

Inti rotor terbuat dari laminasi – laminasi plat baja atau bahan – bahan yang sama pada bahan inti stator

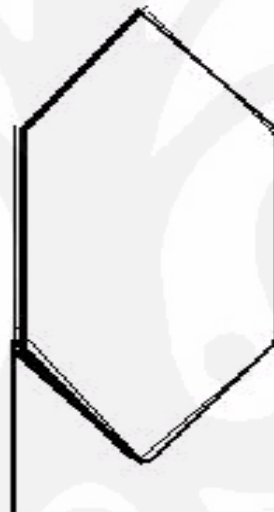
## 2. Alur Rotor

Alur Rotor terbuat dari besi lunak atau baja silikon. Alur (*Slot*) berfungsi untuk meletakkan lilitan.[2] Dalam perencanaan, ukuran dari alur sangat penting untuk menentukan besar penampang kawat penghantar. Luas alur ( $A_{\text{alur}}$ ) merupakan perkalian antara lebar alur dan kedalaman alur. Didalam pengisian lilitan tidak sepenuhnya alur diisi oleh lilitan tetapi juga isolasi penghantar , maka luas efektif dari penghantar adalah:

$$A_{\text{alur eff}} = 50 \% \times A_{\text{alur}} \dots\dots\dots (2.1)$$

## 3. Lilitan Rotor [2]

Lilitan rotor biasanya berbentuk seperti permata , seperti Gambar 2.3



**Gambar 2.3:** Bentuk umum kumparan Armature [2]

Jumlah konduktor didalam kumparan Armature adalah

$$Z = 2 C N \dots\dots\dots ( 2.2 )$$

Dimana :

Z = jumlah konduktor dalam kumparan

C = jumlah kumparan pada rotor atau segmen komutator pada rotor

N = jumlah lilitan setiap kumparan.

Normalnya bentangan kumparan adalah  $180^\circ$  listrik, yang berarti ketika sisi kumparan yang satu berada ditengah kutup, sisi lainnya berada ditengah kutup yang berbeda polaritasnya, sedangkan secara fisik kutup yang ada tidak saling terletak  $180^\circ$  mekanis untuk menentukan hubungan sudut dan derajat mekanis dan derajat listrik

$$\theta \text{ listrik} = \frac{p}{2} \theta \text{ mekanis} \dots\dots\dots ( 2.3 )$$

Dimana :

$\theta$  listrik = sudut dalam derajat listrik

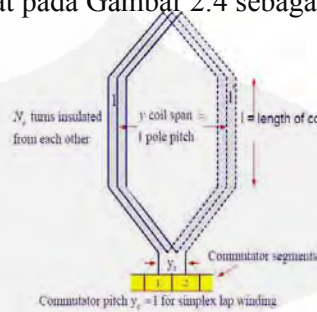
P = jumlah kutup

$\theta$  mekanis = Sudut dalam derajat mekanis

Kumparan yang membentang kurang dari kisar kutub  $180^\circ$  listrik memiliki tegangan yang sama antar sisi – sisinya yang berlawanan arah setiap waktu. Kumparan ini disebut sebagai kumparan kisar penuh ( full – pitch coil ) sedangkan kumparan yang bentangnya kurang dari kutubnya (  $180^\circ$  ) disebut kumparan kisar ( fractional – pitch coil ) sedangkan macam konstruksi kumparan rotor ada 3 macam yaitu :

a. Kumparan jerat (Lap Winding)

Kumparan jerat dapat pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



**Gambar 2.4:** Kumparan jerat ( lap winding ) [3]

Dalam kumparan jerat banyaknya jalur arus paralel adalah sebagai berikut

$$A = m.p \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

A = jalur arus paralel.

m = kelipatan kumparan

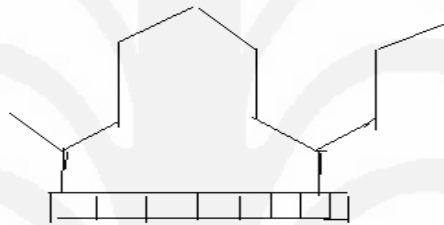
p = jumlah kutub

Dengan banyaknya jumlah jalur arus pada kumparan paralel ini, maka pilihan yang paling tepat diaplikasikan pada sistem tegangan rendah dan arus tinggi, karena arusnya dapat dibagikan oleh banyaknya jalur arus paralel. Adapun kelemahan yang menjadi masalah serius adalah pemanasan yang berlebih (over – heating ). Pemanasan berlebih ini dapat disebabkan oleh pemakaian mesin DC yang lama menyebabkan kumparan bagian bawah akan lebih dekat dengan kutubnya dari pada kumparan bagian atasnya. Akibatnya terjadi tegangan yang lebih besar pada jalur arus kumparan bagian yang lebih bawah yang dekat dengan kutub dibandingkan dengan kumparan bagian atas, karena semua jalur terhubung paralel, ini menyebabkan adanya arus sirkulasi melalui sikat – sikatnya. Karena resistansi kumparan makin sangat kecil maka *menyebabkan arus sirkulasi yang besar , hingga memberika efek pemanasan berlebih .*

Untuk mengurangi arus sirkulasi (karena tidak mungkin meniadakannya) dilakukan dengan memberikan kumparan penyama (equalizing winding) atau disebut juga sebagai equalizer. Dimana kumparan ini menghubungkan singkat titik yang tegangannya sama dengan jalur yang berlainan paralel yang berlainan.

b. Kumparan gelombang ( wave winding ) [2]

Kumparan gelombang ini disebut juga kumparan seri, dari konstruksinya pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5:** Kumparan gelombang [2]

Pada kumparan gelombang ini, banyaknya jalur arus paralel ini adalah.

$$A = 2.m \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

A = jalur arus paralel.

m = kelipatan kumparan

Kumparan jenis ini digunakan untuk untuk mesin arus searah bertegangan tinggi dengan arus yang rendah, karena jumlah kumparan yang terhubung seri antar segment komutator memungkinkan dibangkitkan tegangan yang lebih tinggi dari pada kumparan jerat.

c. Kumparan kaki katak ( Frog leg winding) [2]



Kumparan jenis ini pada dasarnya merupakan perpaduan antara kumparan jenis jerat dan kumparan gelombang . Kumparan gelombang pada jenis ini berfungsi sebagai penyama (equalizer). Pada kumparan gelombang ini, banyaknya jalur arus paralel ini adalah.

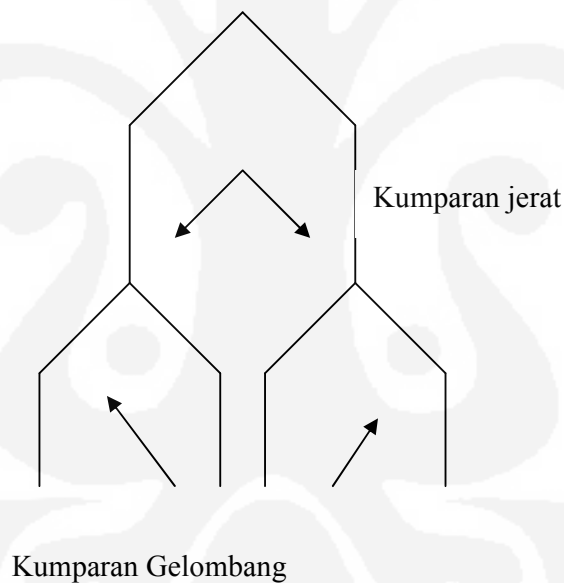
$$A = 2 \cdot m_{lap} \cdot p \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

A = Jalur arus paralel.

m = Kelipatan kumparan jeratnya

p = Jumlah kutubnya



**Gambar 2.6:** Kumparan Frog Winding [2]

**C. Sikat dan komutator [2]**

Komutator terbuat dari batangan tembaga yang dikeraskan (drop forged) yang diisolasi dengan sejenis mika. Fungsi komutator ini adalah mengumpulkan arus induksi dari konduktor jangkar dan mengkorversinya menjadi arus searah melalui sikat. Sikat terbuat dari karbon, graphite, logam graphite atau campuran karbon dan grafit yang dilengkapi dengan

pegas penekakan dan kontak sikatnya. Pegas digunakan untuk menekan sikat agar terjadi kontak dengan permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik. Karbon yang ada diusahakan memiliki konduktivitas yang tinggi untuk mengurangi rugi - rugi listrik, dan koefisien gesekan yang rendah untuk mengurangi keausan ( excessive wear ).

### 2.1.3 Konsep Rangkaian Magnet [3]

Arus listrik (i) yang dialirkan melalui penghantar yang dibelitkan pada inti besi yang berbentuk cincin toroidal, akan menghasilkan medan magnet yang sebanding dengan jumlah lilitan (N) dikalikan dengan besaran arus listrik (i) . Ampere –turn (Ni) ini dikenal sebagai gaya gerak magnet (ggm) dan dinyatakan dengan notasi  $\hat{A}$ . Konsep Rangkaian Magnet

$$\hat{A} = N \times i \text{ ampere-turn} \dots\dots\dots(2.8)$$

Gaya gerak magnet (ggm) adalah perbedaan potensial magnet yang cenderung menggerakkan fluks disekitar cincin toroidal. Gerak fluks disekitar cincin, selain ditentukan oleh besaran ggm, juga merupakan fungsi dari tahanan inti besi yang membawa fluks tersebut . Tahanan inti besi itu disebut reluktansi dari rangkaian magnet seperti juga tahanan dalam rangkaian listrik, reluktansi berbanding lurus dengan panjang (l) , berbanding terbalik dengan penampang luas bidang A, dan bergantung pada bahan magnetik rangkaian magnet tersebut , dimana besaran (l) dalam meter dan A dalam meter persegi :

$$R = \frac{L}{\mu A} \text{ amper - turn / weber} \dots\dots\dots(2.9)$$

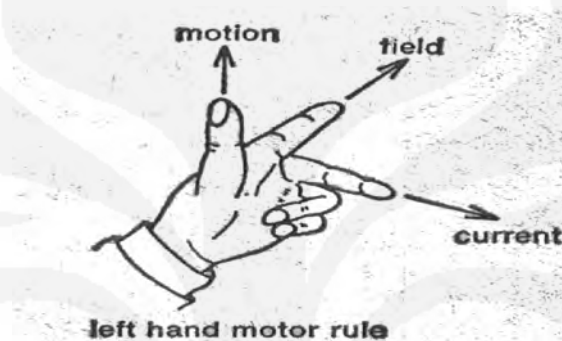
### 2.1.4. Teori Dasar Motor DC [4]

#### a. Prinsip motor DC

Semua motor DC membutuhkan dua medan magnet, medan pertama dihasilkan oleh bagian yang diam dari motor yaitu stator (kumparannya disebut kumparan medan ). Kedua jenis kumparan ini dapat menghasilkan medan magnet dengan cara mengalirkan arus pada kumparan, atau kedua

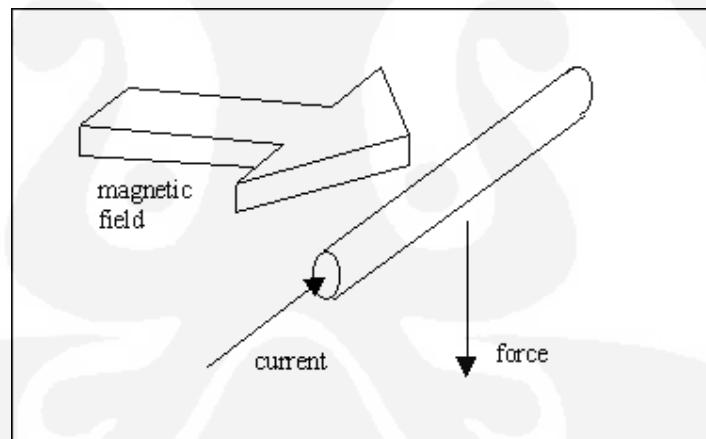
kumparan tersebut terbuat dari magnet permanen sehingga menghasilkan medan magnet.

Prinsip dasar motor dapat berputar, ini diberikan berdasarkan aturan tangan kiri Fleming lihat Gambar 2.6. Dari gambar dapat diketahui bahwa ibu jari menunjukkan arah gerak, jari telunjuk arah medan, dan jari tengah menunjukkan arah arus.



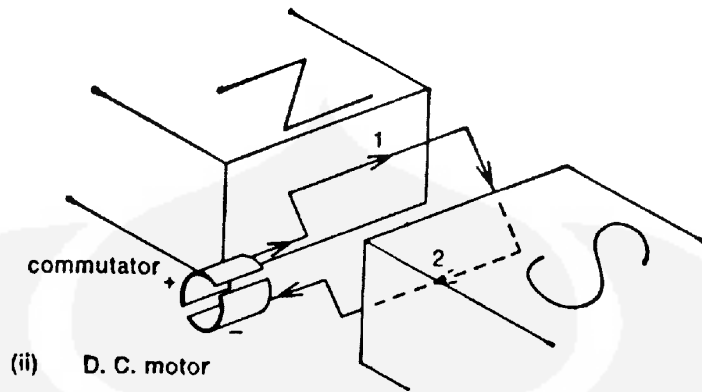
**Gambar 2.7:** Aturan tangan kiri *Fleming* [5]

Gambar 2.8 menunjukkan aksi pada sebuah kawat yang dialiri arus listrik pada daerah medan magnet.



**Gambar 2.8:** Kawat pada daerah medan magnetik [ 5]

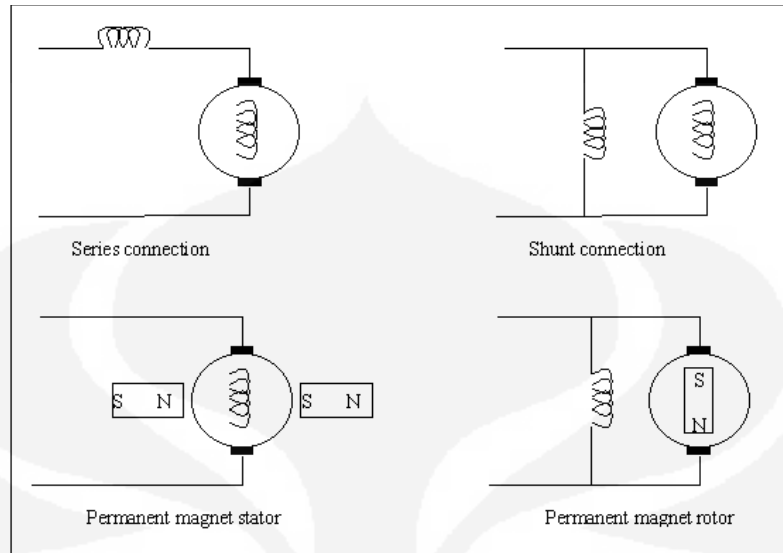
Jika sebuah kumparan yang dialiri arus listrik diletakkan di daerah medan magnetik yang dihasilkan oleh magnet permanen yang situasinya ditunjukkan gambar 2.9.



**Gambar 2.9.** Medan magnetik yang dihasilkan magnet permanen [5]

Arus pada kumparan melalui komutator yang ditunjukkan sepasang metal yang berbentuk cincin pada gambar, arus yang diberikan ke komutator melalui sebuah *carbon* yang disebut *brush*

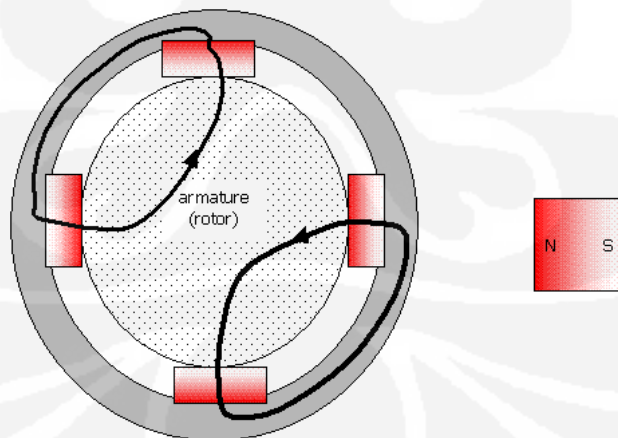
Kumparan akan terus berputar kearah berlawanan dengan putaran jarum jam sampai posisi vertikal. Pada keadaan ini *brush satsionary* tidak mengalirkan arus pada kumparan karena akan menghubungkan celah diantara *segment* komutator, tetapi *momen inertia* dari kumparan menjaga agar tidak bergeser jauh, sampai sumber arus DC terhubung kembali ke *segment* komutator, dan arus mengalir sepanjang kumparan..Ini menunjukkan cara motor DC bekerja. Pada keadaan yang sebenarnya , pada motor DC terdapat banyak kumparan pada variasi sudut yang berbeda – beda pada sebuah lingkaran pada inti besi.Setiap kumparan mempunyai sepasang dari komutator *segment*. Blok dari inti besi dan kumparan ini disebut rotor atau kumparan Armature. Motor DC dapat juga mempunyai magnet permanen pada bagian kumparan armature, dan *electromagnet* untuk kumparan rotor. Gambar 2.10. menunjukkan berbagai macam jenis motor DC.



**Gambar 2.10.** Jenis – jenis motor DC [6]

Sumber arus yang dihubungkan ke segment Komutator melewati *graphite brush*, ini dilakukan di dalam socket kecil dengan sebuah per dibelakang *brush*, jadi *brush* selalu tertekan ke *segment*. Ini untuk menjamin koneksi elektrik yang bagus.

Empat kutup ditunjukkan Gambar 2.11 dibawah ini. Gambar dibawah ini menunjukkan bagaimana medan magnetik dihasilkan oleh kutup dan mengalir melalui rotor.



**Gambar 2.11.** Lilitan pada Rotor [5]

#### 2.1.4. GGL Lawan (*B/CEMF -Back/Counter Electromotive Force-*)

Ketika kawat yang dialiri arus listrik didaerah yang yang terdapat medan magnetik mempunyai kekuatan untuk melawan medan magnetik, sebaliknya perubahan kawat didalam sebuah medan magnetik menghasilkan tegangan yang berlawanan dengan medan magnetik awal.

Saat motor telah bergerak/ berputar, ini berarti jangkar berputar dalam medan magnet stator, sesuai prinsip Faraday maka pada jangkar akan timbul tegangan induksi. Tegangan yang dihasilkan oleh jangkar ini dikenal sebagai GGL lawan. GGL Lawan akan mengurangi tegangan dari jangkar. Penjelasan proses-proses terjadinya GGL lawan. Kumparan jangkar (terletak antara kutub-kutub magnet) diberi sumber DC. Pada kumparan jangkar timbul torsi sehingga jangkar berputar arahnya sesuai dengan hukum kaidah tangan kanan.

a. Jangkar berputar dalam medan magnet sehingga timbul GGL, GGL ini sebenarnya adalah tegangan jangkar  $E_a$  yang kita kenal, yang arahnya sesuai dengan kaidah tangan kiri.

b. Arah GGL induksi berlawanan dengan arah GGL sumber sehingga disebut GGL lawan

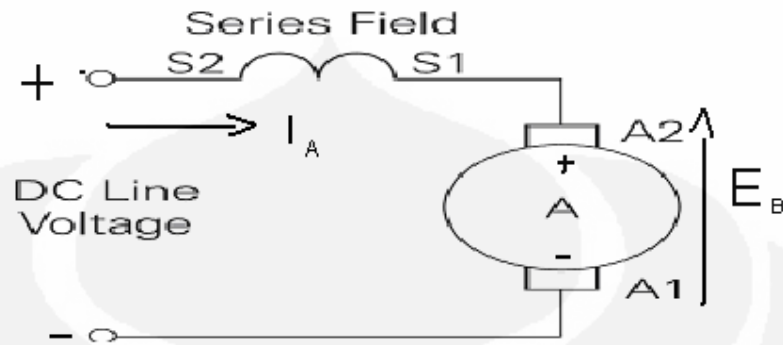
c. Harga GGL lawan ( $E_a$ ) adalah,

$$E_a = V - I_a R_a \dots\dots\dots ( 2.10 )$$

### 2.1.5 Motor DC Motor Seri

Pada motor DC seri, kumparan medan disambungkan secara seri dengan rotor. Karakteristik dari motor DC seri, motor jenis menghasilkan torsi awal yang besar. Tetapi, motor jenis ini mempunyai variasi kecepatan yang lebar antara saat tanpa beban dan saat beban penuh. Motor seri tidak sesuai jika digunakan untuk membawa beban dengan kecepatan konstan, motor ini diperlukan untuk membawa muatan yang bervariasi. Pada motor DC seri mempunyai karakteristik bahwa saat tanpa beban, kecepatan akan terus naik sampai batas yang dapat menimbulkan kerusakan terhadap dirinya. Untuk menghindari kecepatan yang berlebih tersebut motor ini harus selalu disambungkan dengan beban.

Gambar Rangkaian motor seri



**Gambar 2.12.** Rangkaian motor seri [6]

Dari rangkaian diatas, berdasarkan hukum Kirchof tentang tegangan akan di dapatkan persamaan

$$V_t = E_b + I_a R_a \dots\dots\dots ( 2.11 )$$

Dimana  $I_a$  = Arus beban

$V_t$  = Teagangan Sumber

$R_a$  = Hambatan total lilitan

Karakteristik Motor DC seri besar torsi ditunjukkan dengan persamaan

$$T_{Tind} = K\Phi I_a \dots\dots\dots ( 2.12 )$$

Dimana :

$K$  = Besaran konstanta

$\Phi$  = Fluks magnetuk

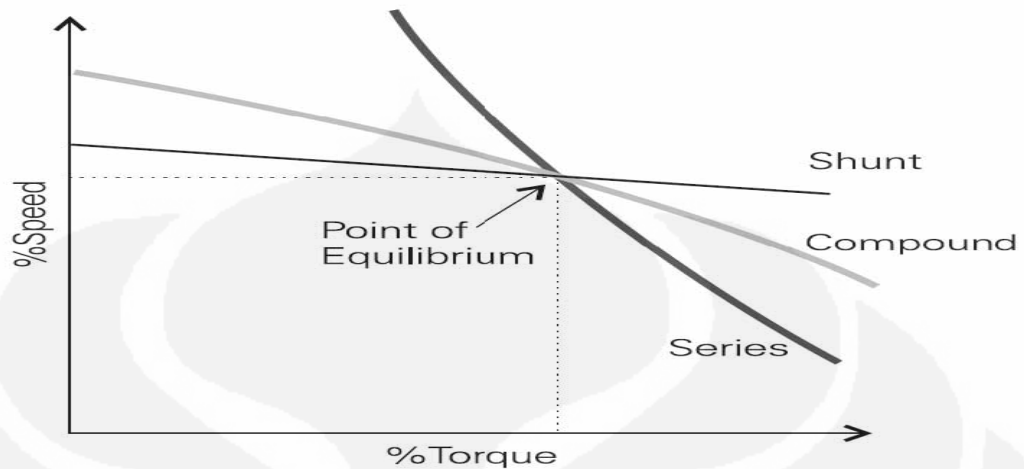
$I_a$  = Arus jangkar

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa hubungan antara kopel induksi , arus jangkar dan fluk sebanding pada motor dc seri besar

$$T_{Tind} \sim I_a^2 \dots\dots\dots ( 2.13 )$$

Kondisi diatas berlaku untuk kondisi motor belum sampai pada tingkat saturasi, dimana ketika beban meningkat ,  $I_a$  naik dan  $\Phi$  naik maka  $T_{Tind}$  kan meningkat kuadratis terhadap arus jang jangkar

Gambar 2.13 menunjukkan perbandingan karakteristik kecepatan *versus* torsi diantara ketiga jenis motor DC



**Gambar 2.13:** Kurva karakteristik Motor DC [6]

Dititik *equilibrium*, terlihat bahwa torsi yang dihasilkan motor setara dengan torsi yang diperlukan untuk memutar beban pada kecepatan tetap. Pada keadaan kecepatan yang lebih rendah, saat terjadi penambahan beban misalnya, torsi motor akan lebih tinggi dari torsi beban dan motor akan melakukan *akselerasi* untuk kembali ke titik *equilibrium*. Sedangkan pada kecepatan di atasnya, saat terjadi pengurangan beban, torsi motor akan lebih kecil dari torsi beban dan motor akan mengalami deakselerasi agar kembali ke titik *equilibrium*.

#### 2.1.6 Pengaturan Kecepatan Motor [2]

##### a. Menyetel resistansi medan

Pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan dengan mengubah resistansi medan Berdasarkan persamaan (2.11) dengan menambahkan resistansi medan pada kumparan motor maka akan mengurangi arus ( $I_a$ ), akibatnya torsi juga akan turun maka kecepatan turun.

##### b. Mengubah tegangan terminal

Berdasarkan persamaan (2.11) jika Tegangan sumber ( $V_T$ ) naik maka Arus ( $I_A$ ) juga akan naik maka torsi juga akan naik pada saat kejenuhan kecepatan motor akan tetap.

#### 2.1.8 Pengasutan Motor DC [2]

Pengasutan motor DC seri diperlukan karena pada saat starting awal motor DC seri mempunyai arus yang besar, hal ini dikarenakan pada saat awal starting belum ada gaya gerak listrik lawan yang dibangkitkan oleh motor DC



seri sehingga jika menggunakan persamaan (2.11) jika tahanan armature 0.4 ohm sedangkan tegangan masukan 12 volt maka arus starting motor diperlukan tahanan untuk mengurangi besarnya arus starting.

### 2.3 MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535 [ 7 ]

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 masal (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.

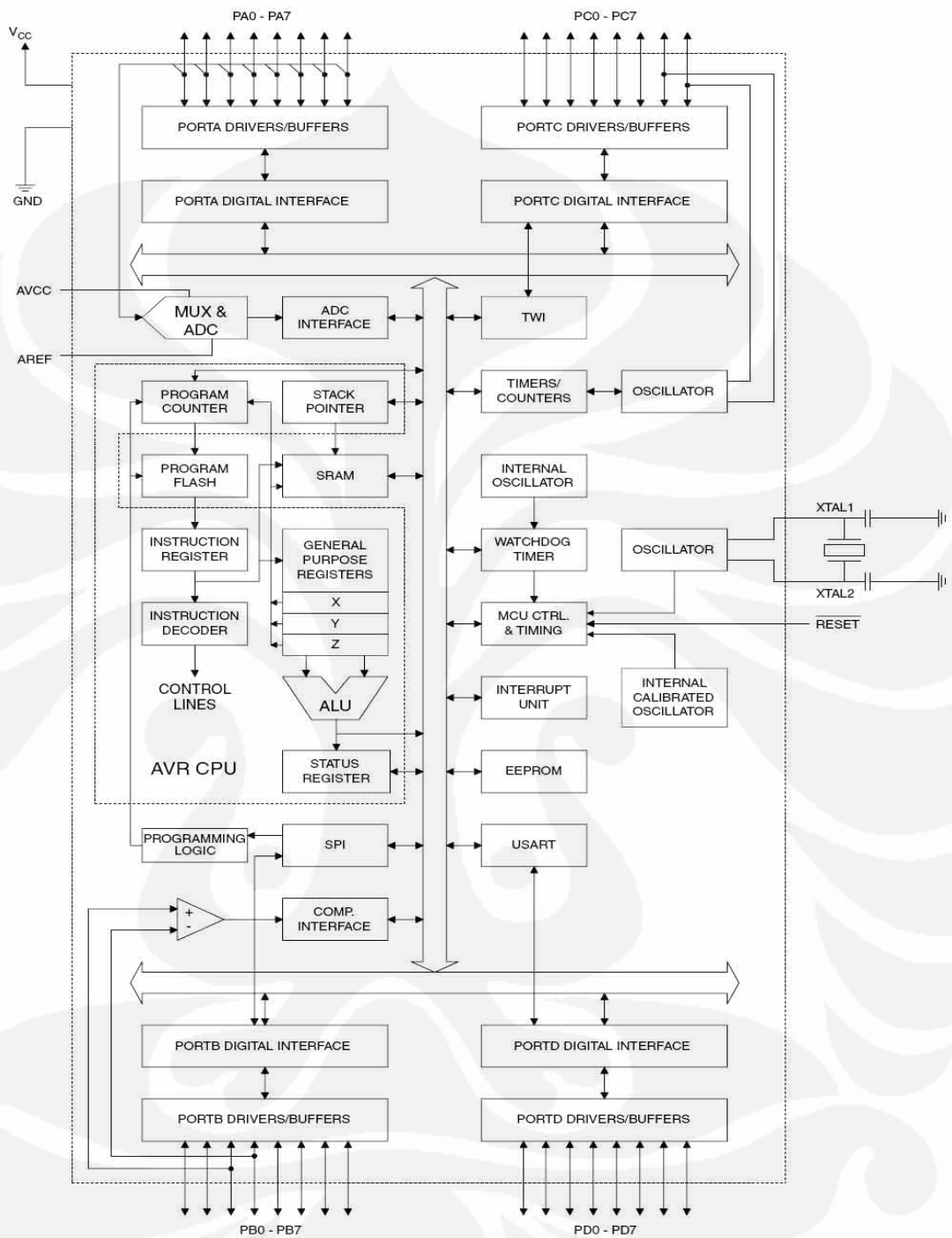
Mikrokontroler lahir karena kebutuhan akan efektivitas pengendalian sistem yang akan dilakukan. Penggunaan *mikrokontroler* akan menambah efektivitas tersebut yang dilihat dari beban listrik yang dikonsumsi dan juga dari biaya yang relatif lebih rendah. Mikrokontroler juga digunakan untuk mengendalikan 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 MCS51 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.

### 2.2.1 Arsitektur ATmega8535 [7]

Pada Gambar 2.10 tersebut dapat dilihat bahwa Atmega8535 memiliki bagian sebagai berikut:

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 perbandingan.
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 2.14:** Diagram fungsional ATmega8535 [ 7 ]

### 2.2.2 Fitur ATmega8535 [ 8 ]

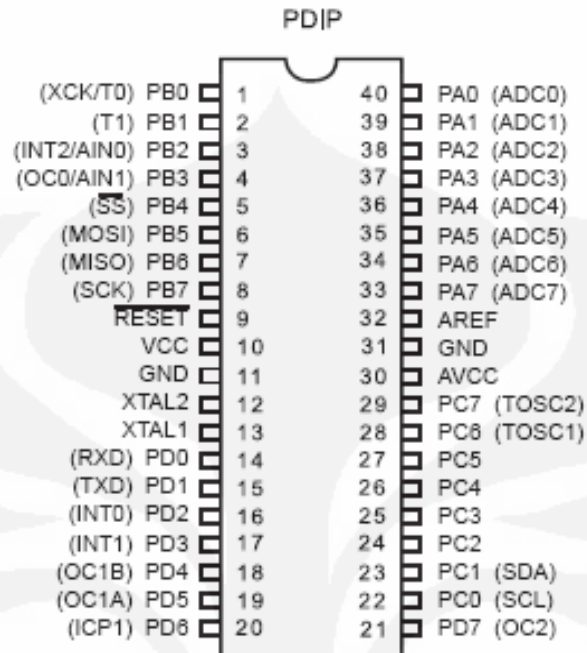
Adapun kapabilitas detail ATmega8535 adalah sebagai berikut:

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.

### 2.5.3 Konfigurasi Pin ATmega8535 [7]

Konfigurasi pin ATmega8535 dilihat pada Gambar 2.11. Dari gambar tersebut maka dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATmega8535 sebagai berikut:

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 2.15:** Pin ATmega8535 [7]

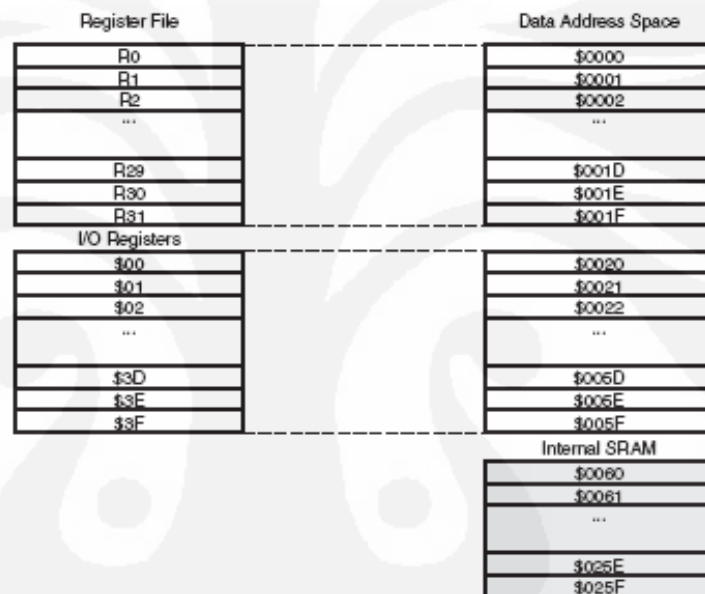
#### 2.5.4 Peta Memory

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 2.1.

Tabel 2.1 Tabel pengalaman register I/O [8]

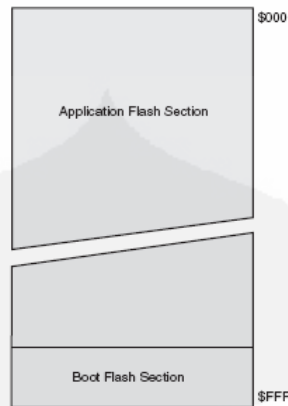
Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x3F (0x3F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C
0x3E (0x3E)	SPH	-	-	-	-	-	-	SP9	SP8
0x3D (0x3D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0
0x3C (0x3C)	OCF0	Timer/Counter0 Output Compare Register							
0x3B (0x3B)	GICR	INT1	INT0	INT2	-	-	-	IVSEL	IVCE
0x3A (0x3A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	-	-	-	-	-
0x39 (0x39)	TIMSK	CCIE2	TCIE2	TCIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0
0x38 (0x38)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0
0x37 (0x37)	SPMCR	SPLIE	RWWSB	-	RWWSRE	BLDSET	PGWRT	PGERS	SPMEN
0x36 (0x36)	TWCR	TWINT	TWEA	TWS1A	TWS1B	TWMC	TWEN	-	TWIE
0x35 (0x35)	MCLKPR	SM2	SE	SM1	SMD	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00
0x34 (0x34)	MCUCSR	-	ISC2	-	-	WDRF	BORF	EXTRF	PCRF
0x33 (0x33)	TGCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
0x32 (0x32)	TGCR1	Timer/Counter0 (8 Bits)							
0x31 (0x31)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register							
0x30 (0x30)	SFCSR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	ACME	FUD	PSF2	PSR10
0x2F (0x2F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10
0x2E (0x2E)	TCCR1B	ENC1	ICES1	-	WGM10	WGM12	CS12	CS11	CS10
0x2D (0x2D)	TCH1H	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte							
0x2C (0x2C)	TCH1L	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)	TCH2	Timer/Counter2 (8 Bits)							
0x23 (0x23)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register							
0x22 (0x22)	ASSR	-	-	-	-	AS2	TCH2UB	OCR2UB	TCH2LB
0x21 (0x21)	WDTCR	-	-	-	WDCE	WDE	WDIF	WDP1	WDP0
0x20 <sup>(1)</sup> (0x20 <sup>(1)</sup> )	UBRRH	URSEL	-	-	-	-	UBRRH (8)		-
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UFM1	UFM0	USBS	UCS11	UCS10	UCPOL
0x1F (0x1F)	EEARH	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8
0x1E (0x1E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte							
0x1D (0x1D)	EEDR	EEPROM Data Register							
0x1C (0x1C)	EEDR	-	-	-	-	EEIF	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)	PIA	PIA7	PIA6	PIA5	PIA4	PIA3	PIA2	PIA1	PIA0
0x18 (0x18)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0
0x17 (0x17)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0
0x16 (0x16)	PIB	PIB7	PIB6	PIB5	PIB4	PIB3	PIB2	PIB1	PIB0
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)	SFSPR	SFIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X
0x0D (0x0D)	SPCR	SFIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SFRF	SFPO
0x0C (0x0C)	UDR	USART I/O Data Register							
0x0B (0x0B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DIFR	PE	UPX	MPCM
0x0A (0x0A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCS22	RXC8	TXB8
0x09 (0x09)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte							
0x08 (0x08)	ACSR	ACD	ACIFG	AC0	AC1	ACIE	ACIC	ACIE1	ACB0
0x07 (0x07)	ADLUX	REFS1	REFS0	ACLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
0x06 (0x06)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADIF	ADIE	ADIF2	ADIF1	ADIF0	ADPS0
0x05 (0x05)	ADCF	ADC Data Register High Byte							
0x04 (0x04)	ADCL	ADC Data Register Low Byte							
0x03 (0x03)	TWCR	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 periferhal 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 2.16.



**Gambar 2.16.** Konfigurasi memori data AVR ATmega8535 [8]

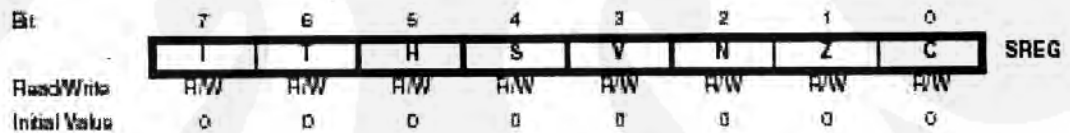
Memori program yang terletak dalam *Flash* PEROM tersusun dalam *word* atau 2 byte karena setiap instruksi memiliki lebar 16-bit atau 32-bit. AVR ATmega8535 memiliki 4Kbyte 16-bit *Flash* PEROM dengan alamat mulai dari \$000 sampai \$FFF. AVR tersebut memiliki 12-bit *Program Counter* (PC) sehingga mampu mengalami isi *Flash*. Konfigurasi memori program ditunjukkan pada Gambar 2.17.



**Gambar 2.17.** Memori program AVR ATmega8535 [8]

### 2.5.5 SREG (Status Register) [7]

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



**Gambar 2.18.** Status register ATmega8535 [7]

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 mengijinkan 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*

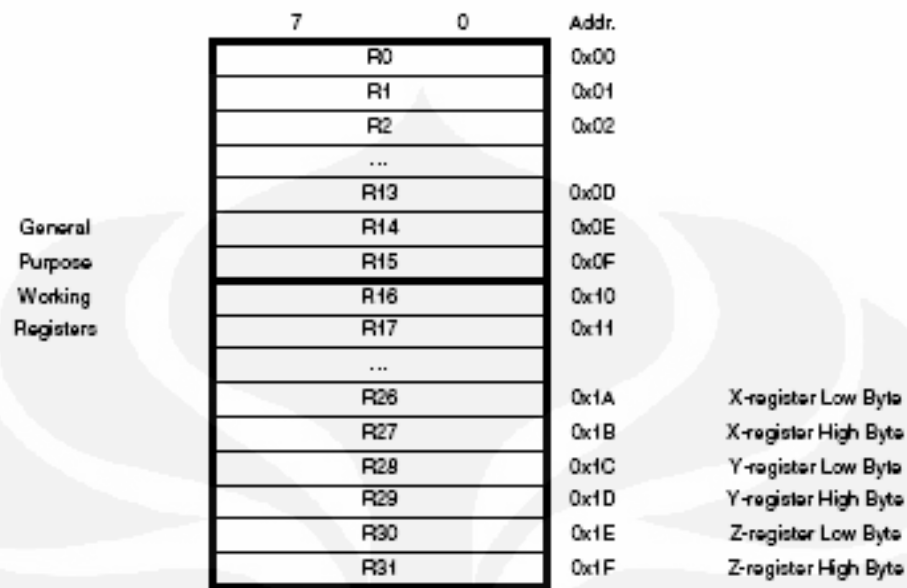
Bit ini akan diset bila hasil operasi yang diperoleh adalah nol.

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

Apabila suatu operasi menghasilkan carry, maka bit akan diset.

### **2.5.6 General Purpose Register [7]**

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



**Gambar 2.19:** Ke-32 Register *general purpose* [7]

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 address*, yaitu X,Y, dan Z diperlihatkan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.20:** Register X-, Y- dan Z- [7]

### 2.5.7 Stack Pointer [8]

*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.

### 2.5.8 Timer/Counter [7]

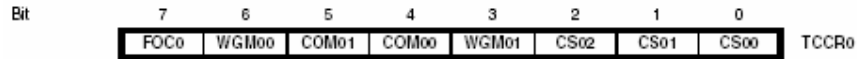
AVR ATmega8535 memiliki tiga buah *timer*, yaitu *Timer/Counter 0* (8 bit), *Timer/Counter 1* (16 bit), dan *Timer/Counter 2* (8 bit).

#### 2.5.8.1 Timer/Counter0 [7]

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

- a. Sebagai *Counter 1* kanal.
- b. *Timer* di-nol-kan saat *match compare (auto reload)*.
- c. Dapat menghasilkan gelombang PWM dengan *glitch-free*.
- d. *Frekuensi generator*.
- e. *Prescaler* 10 bit untuk *timer*.
- f. 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 2.13.



**Gambar 2.21.** Register TCCR0 [7]

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 [7]

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* [7]

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* [7]

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* [7]

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 [7]

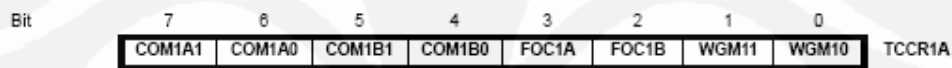
CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/counter stopped).
0	0	1	$clk_{IO}/(No\ prescaling)$
0	1	0	$clk_{IO}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$clk_{IO}/64$ (From prescaler)
1	0	0	$clk_{IO}/256$ (From prescaler)
1	0	1	$clk_{IO}/1024$ (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T0 pin. Clock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

#### 2.5.8.2 Timer/Counter1 [7]

*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 2.22. Register TCCR1A [7]

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* [7]

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* [7]

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* [7]

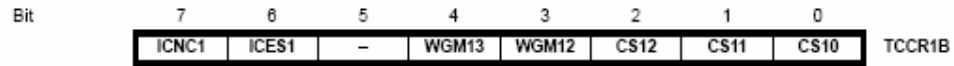
COM1A1/ COM1B1/	COM1A0/ COM1B0/	Keterangan
0	0	Operasi port normal, OC1A/OC1B tidak dihubungkan.
0	1	WGM13:0= 9 atau 14: <i>toggle</i> OC1A saat proses perbandingan tercapai dan OC1B tidak terhubung.
1	0	<i>Clear</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah naik. <i>Set</i> OC1A/OC1B saat proses perbandingan tercapai ketika mencacah turun.
1	1	<i>Set</i> 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 [7]

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	<i>Immediate</i>	<i>MAX</i>
1	0	0	0	1	PWM, <i>Phase Correct</i> , 8	0x00FF	<i>TOP</i>	<i>BOTTOM</i>
2	0	0	1	0	PWM, <i>Phase Correct</i> , 9	0x01FF	<i>TOP</i>	<i>BOTTOM</i>
3	0	0	1	1	PWM, <i>phase correct</i> , 10	0x03FF	<i>TOP</i>	<i>BOTTOM</i>
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	<i>Immediate</i>	<i>MAX</i>
5	0	1	0	1	<i>Fast PWM</i> , 8 bit	0x00FF	<i>TOP</i>	<i>TOP</i>
6	0	1	1	0	<i>Fast PWM</i> , 9 bit	0x01FF	<i>TOP</i>	<i>TOP</i>
7	0	1	1	1	<i>Fast PWM</i> , 10 bit	0x03FF	<i>TOP</i>	<i>TOP</i>
8	1	0	0	0	PWM, <i>Phase and Frequency Correct</i>	ICR1	<i>BOTTOM</i>	<i>BOTTOM</i>
9	1	0	0	1	PWM, <i>Phase and</i>	OCR1A	<i>BOTTOM</i>	<i>BOTTOM</i>
10	1	0	1	0	PWM, <i>Phase Correct</i>	ICR1	<i>TOP</i>	<i>BOTTOM</i>
11	1	0	1	1	PWM, <i>Phase Correct</i>	OCR1A	<i>TOP</i>	<i>BOTTOM</i>
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	<i>Immediate</i>	<i>MAX</i>
13	1	1	0	1	<i>Reserved</i>	-	-	-
14	1	1	1	0	<i>Fast PWM</i>	ICR1	<i>TOP</i>	<i>TOP</i>
15	1	1	1	1	<i>Fast PWM</i>	OCR1A	<i>TOP</i>	<i>TOP</i>

Pengaturan Timer 1 juga diatur oleh register TCCR1B





Gambar 2.23. Register TCCR1B [7]

- a. Bit 7 – ICNC1: *Input Capture Noise Canceller*.
- b. Bit 6 – ICES1: *Input Capture Edge Select*.
- c. *Reserved Bit* .
- d. 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	$clk_{I/O}/1$ (tanpa <i>prescaling</i> )
0	1	0	$clk_{I/O}/8$ (dari <i>prescaling</i> )
0	1	1	$clk_{I/O}/64$ (dari <i>prescaling</i> )
1	0	0	$clk_{I/O}/256$ (dari <i>prescaling</i> )
1	0	1	$clk_{I/O}/1024$ (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> .

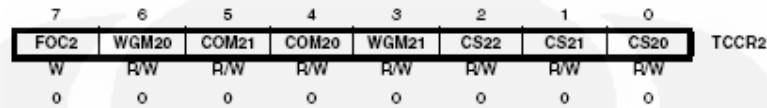
### 2.5.8.3 Timer/Counter2 [7]

*Timer/Counter 2* adalah 8-bit *Timer/Counter* yang multifungsi. Deskripsi untuk *Timer/Counter 0* pada ATmega8535 adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai *Counter* 1 kanal.
- b. Pewaktu di-nol-kan saat *match compare (autoreload)*.
- c. Dapat menghasilkan gelombang PWM dengan *glitch-free*.
- d. Frekuensi generator.
- e. *Prescaler* 10 bit untuk pewaktu.

- f. 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.



**Gambar 2.24.** Register TCCR2 [7]

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 [7]

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* [7]

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* [7]

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* [7]

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 [7]

CS22	CS21	CS20	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$\text{clk}_{T2S}$ /(No prescaling)
0	1	0	$\text{clk}_{T2S}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$\text{clk}_{T2S}/32$ (From prescaler)
1	0	0	$\text{clk}_{T2S}/64$ (From prescaler)
1	0	1	$\text{clk}_{T2S}/128$ (From prescaler)
1	1	0	$\text{clk}_{T2S}/256$ (From prescaler)
1	1	1	$\text{clk}_{T2S}/1024$ (From prescaler)

### 2.5.9 PWM (*Pulse Width Modulation*) [7]

PWM (*Pulse Width Modulation*) atau modulasi lebar pulsa adalah salah satu keunggulan *Timer/Counter* terdapat pada ATmega8535. Ketiga jenis *Timer/Counter* pada ATmega8535 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* [7]

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.

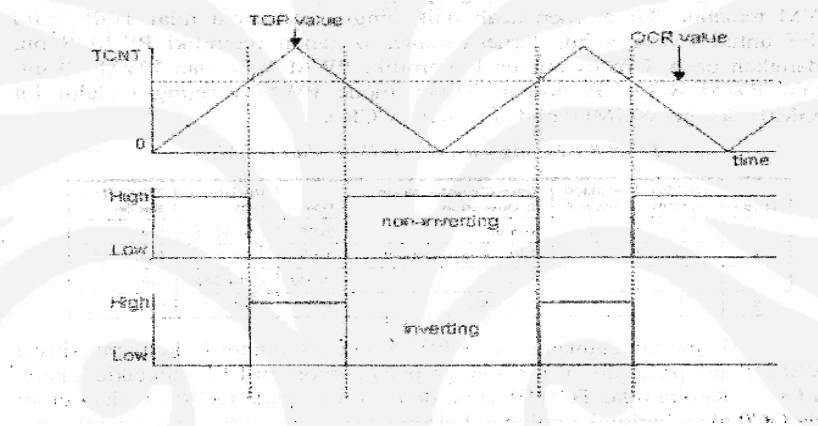
**Tabel 2.18** Konfigurasi Bit *COM01* dan *COM00* Compare Output Mode Phase Correct PWM [7]

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.

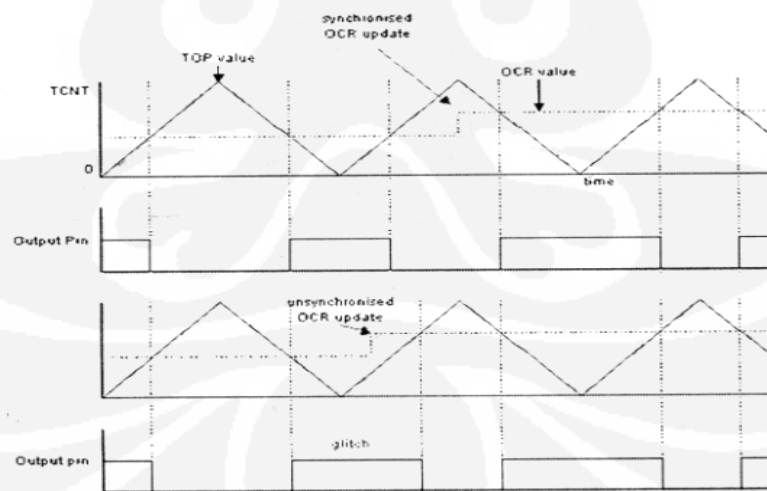
Sebagai penggunaan mode PWM *Timer/Counter* 0, keluaran sinyal PWM terletak pada pin OC0. Ketika nilai TCNT0 sama dengan nilai pada OCR0, maka

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.



**Gambar 2.25:** Pulsa PWM *inverting* dan *non-inverting* [7]



**Gambar 2.26:** Pulsa PWM yang *glitch-free* [7]

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.

### 2.5.10 Analog Digital Converter [7]

*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

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

Dimana:

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

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

Gain = faktor penguatan

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

#### 2.5.10.1 ADC Multiplexer Selection Register (ADMUX) [8]

**Tabel 2.19** ADC *Multiplexer Selection Register* [8]

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	

- 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* [8]

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 A VCC dan PIN A REF diberi kapasitor.

'00' : Tidak digunakan.

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

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

Bit ADLR 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).

### 2.5.10.2 ADC Control dan Status Register A ( A DCSRA) [8]

**Tabel 2.21** Status Register A ( ADCSRA) [8]

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 pemacu proses konversi ADC sesuai dengan bit – bit ADTS pada register SFIOR. Jika bit ADTE bernilai '1' berarti pemacu 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 [8]**

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

### 2.5.10.3 ADC data register ( ADCH – ADCL ) [8]

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.

### 2.5.10.4 ADC Auto Trigger Source

**Table 2.22 Register SFIOR [8]**

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 2.23 Register SFIOR dan pemicu konversi ADC [8]**

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

### 2.11 CodeVision AVR C Compiler [7]

Pemrograman mikrokontroler AVR lebih mudah dilakukan dengan bahasa pemrograman C, salah satu *software* pemrograman AVR mikrokontroler adalah Codevision AVR C Compiler yang selanjutnya dalam pembahasan disebut cvAVR. Pada cvAVR terdapat *code wizard* yang sangat membantu dalam proses inisialisasi register dalam mikrokontroler dan untuk membentuk fungsi-fungsi interupsi. Pada *code wizard* untuk membuat inisialisasi cukup dengan meng-*click* atau memberi tanda *check* sesuai *property* dari desain yang dikehendaki, setelah itu register yang terinisialisasi dapat dilihat melalui program *preview* atau melalui *generate and save*.

#### 2.11.1. Pemilihan Chip dan frekuensi X-Tall [7]

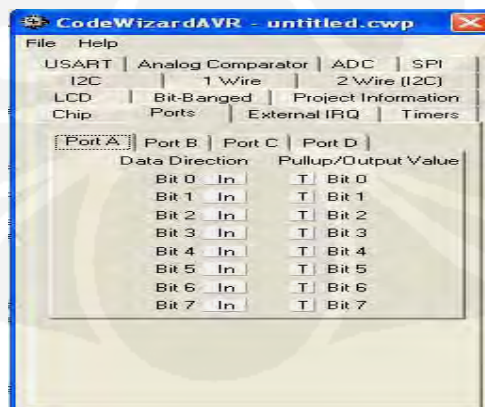
Langkah pertama dalam menggunakan cvAVR adalah membentuk sebuah project baru, dengan *click create new project* maka akan muncul pertanyaan apakah anda ingin memanfaatkan bantuan *code wizard*. Langkah pertama yang harus dilakukan pada *code wizard* adalah memilih jenis *chip* mikrokontroler yang digunakan dalam *project* dan frekuensi *x-tall* yang digunakan. Pemilihan *chip* dan frekuensi *x-tall* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.19



**Gambar 2.27.** Pemilihan *chip* dan frekuensi *x-tall* [7]

### 2.11.2. Inisialisasi Port

Inisialisasi Port berfungsi untuk memilih fungsi port sebagai masukan atau sebagai keluaran. Pada konfigurasi port sebagai keluaran dapat dipilih pada saat awal setelah reset kondisi port berlogika 1 atau 0, sedangkan pada konfigurasi port sebagai masukan terdapat dua pilihan yaitu kondisi pin masukan toggle state atau *pull-up*, maka sebaiknya dipilih *pull-up* untuk memberi *default* pada masukan selalu berlogika 1. setiap port berjumlah 8 bit, konfigurasi dari port dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pengaturan konfigurasi dapat dilakukan tiap bit, jadi dalam satu port dapat difungsikan sebagai masukan dan keluaran dengan nilai *default*-nya berbeda-beda. Gambar 2.20 menunjukkan seting konfigurasi pada port A dengan kombinasi masukan dan keluaran.

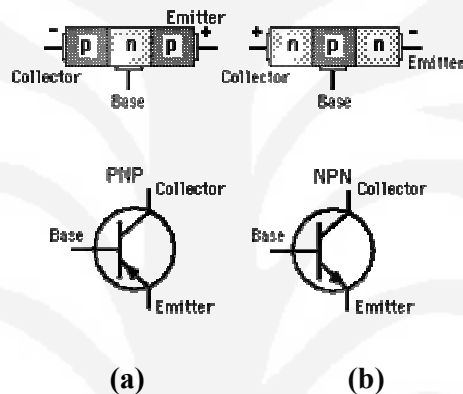


**Gambar 2.28.** Pemilihan *chip* dan frekuensi *x-tall* [7]

## 2.12 TRANSISTOR [9]

Transistor merupakan komponen aktif dimana arus, tegangan atau daya keluarannya dikendalikan oleh arus masukan. Didalam sistem komunikasi, transistor digunakan untuk menguatkan sinyal. Di dalam untai elektronis komputer transistor digunakan untuk saklar elektronis laju tinggi.

Transistor terdiri dari 3 terminal yaitu basis, kolektor dan emitter. Ada dua transistor yaitu PNP dan NPN seperti terlihat Gambar 2.21.



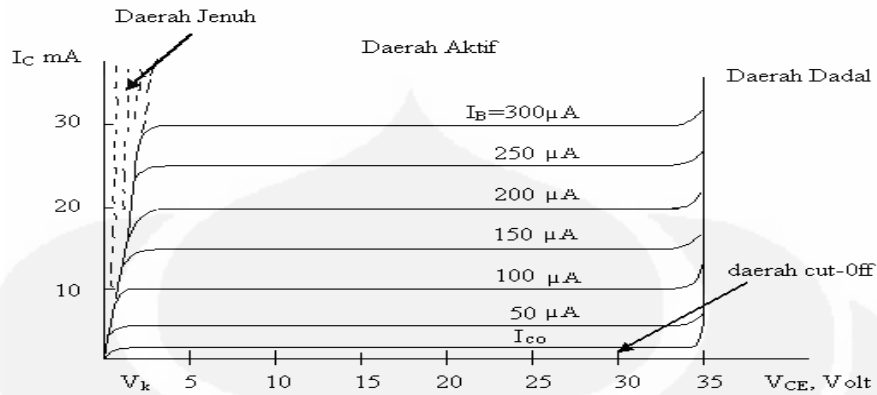
**Gambar 2.29:** (a) Simbol Transistor PNP (b) Simbol Transistor NPN [9]

Kurva karakteristik kolektor merelasikan  $I_c$  dan  $V_{CE}$  dengan  $I_B$  sebagai parameter. Kuva kolektor terbagi menjadi 3 daerah, yaitu *jenuh*, *aktif*, dan *cut-off*.

1. Daerah jenuh (saturasi), adalah daerah dengan  $V_{CE}$  kurang dari tegangan lutut (knee)  $V_K$ . Daerah jenuh terjadi bila sambungan emitter dan sambungan basis tegangan.

Pada daerah jenuh arus kolektor tidak bergantung pada nilai  $I_B$ . Tegangan jenuh kolektor-emiter,  $V_{CE(sat)}$  untuk transistor silikon adalah 0,2 V, sedangkan untuk transistor germanium adalah 0,1V.

2. Daerah aktif, adalah antara tegangan lutut  $V_K$  dan tegangan dadal (break down)  $V_{BR}$  serta diatas  $I_B I_{CO}$ . Daerah aktif terjadi bila sambungan emitter diberi prasikap maju dan sambungan kolektor diberi prasikap balik. Pada daerah aktif arus kolektor sebanding dengan arus balik. Penguatan sinyal masukan menjadi sinyal keluaran terjadi pada daerah aktif.
3. Daerah *cut-of* (putus) terletak dibawah  $I_b = I_{co}$ . sambungan emitter dan sambungan kolektor berprasikap balik. Pada daerah ini  $I_E = 0$ ;  $I_c = I_{co} = I_B$ .



**Gambar 2.30.** Kurva Karakteristik Transistor

#### 2.4. RELAY

Modul digunakan sebagai rangkaian masukan dari *switching* mosfet yang bertujuan untuk memutar motor penggerak. Rangkaian ini bekerja seperti rangkaian saklar. Pada rangkaian relay ini apabila ada masukan *high* dari transistor 2n222 akan dalam keadaan saturasi sehingga akan menyebabkan relay aktif yang akan juga mengaktifkan kontaktor. Sedangkan bila masukan low maka transistor 2n222 akan *cut-off*. Maka relay akan dalam keadaan normal (awal). Fungsi dioda IN4148 adalah untuk membuang arus dari lilitan relay, apabila tidak ada dioda IN4148 maka arus dari relay akan mengalir ke transistor 2n222. apabila hal ini dibiarkan terus menerus akan menyebabkan transistor 2n222 akan rusak, maka untuk pencegahannya di pasang dioda IN4148. Bentuk fisik relay dapat dilihat pada Gambar 23 bentuk fisik relay *bosch*

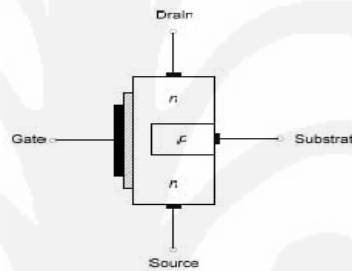


**Gambar 2.31:** Relay *bosch* [10]

## 2.5 MOSFET

*Metal Oxide Semiconductor FET* atau disingkat MOSFET mempunyai *source*, *gate* dan *drain*. Berbeda dengan JFET, *gate* pada MOSFET diisolasi dari aliran. Oleh karena itu, arus *gate* menjadi amat kecil. Hal ini tidak dipengaruhi oleh positif atau negatifnya *gate* itu sendiri. Karena *gate* diisolasi dari saluran, maka MOSFET disebut juga IGFET (*Insulated Gate FET*).

Gambar 23, memperlihatkan MOSFET saluran-n, sekeping bahan tipe-n dengan daerah p di sebelah kanan dan *gate* terisolasi di sebelah kiri. Elektron bebas dapat mengalir dari *source* ke *drain* melalui bahan n. Daerah p disebut substrat; secara fisik daerah ini mengurangi jalur saluran menjadi sempit.



**Gambar 2.32.** Mosfet Saluran N [9]

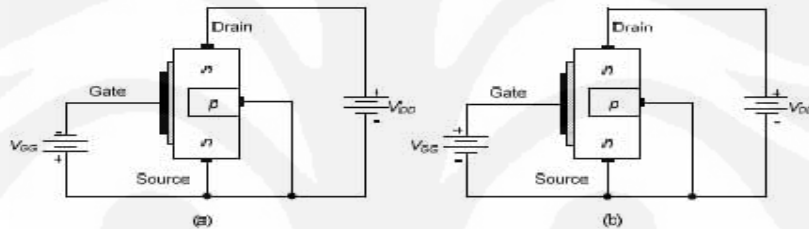
Lapisan tipis silicon dioksida (SiO<sub>2</sub>), ditempelkan pada sisi kiri saluran. Silicon dioksida sama seperti kaca, yang merupakan isolator. Pada MOSFET, *gate* terbuat dari logam. Karena *gate* terpisah dari saluran, maka hanya sedikit sekali arus *gate* yang mengalir, walaupun bila tegangan *gate* berharga positif. MOSFET saat *gate* diberi tegangan negatif (*gate* dibias maju) disebut operasi mode pengosongan (depleksi), sedangkan saat *gate* diberi tegangan positif (*gate* dibias mundur) disebut operasi mode peningkatan (*enhancement*).

Karena adanya lapisan isolasi, maka hanya sedikit sekali arus *gate* yang mengalir pada kedua mode operasi ini. Resistansi masukan MOSFET sangat tinggi, biasanya dari 10.000 M $\Omega$  s.d 10.000.000 M $\Omega$

Gambar 2.24a, memperlihatkan sebuah FET dengan *gate* negatif. Catu VDD memaksa elektron bebas mengalir dari *source* ke *drain*. Elektron-elektron ini mengalir melalui saluran yang sempit pada sisi kiri dari substrat p. Seperti teori sebelumnya bahwa tegangan *gate* dapat mengendalikan lebar saluran. Makin negative tegangan *gate*, makin kecil arus *drain* nya. Bila tegangan *gate* cukup

negatif, arus *drain* putus. Dengan demikian, pada tegangan *gate* negatif, operasi MOSFET sama dengan operasi JFET. Karena perilaku dengan *gate* negatif tergantung pada pengosongan saluran dari elektron-elektron bebas, maka dapat disebut operasi *gate* negatif sebagai mode deplesi (pengosongan).

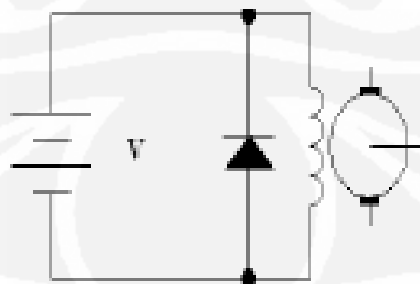
Karena *gate* pada MOSFET terpisah dari saluran, maka kita dapat menerapkan tegangan positif pada *gate*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.24b. Tegangan *gate* positif menaikkan jumlah elektron bebas yang mengalir melalui saluran. Makin positif tegangan *gate*, makin besar hantaran dari *source* ke *drain*. Operasi MOSFET dengan tegangan *gate* positif tergantung pada peningkatan konduktivitas saluran. Itulah sebabnya, operasi *gate* positif disebut mode *enhancement* (peningkatan).



Gambar 2.33. Mosfet dengan bias *gate* [9]

## 2.6 PENGAMAN RELAY [11]

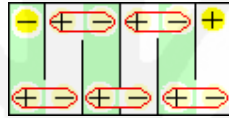
*Solenoid* merupakan komponen yang akan menimbulkan medan listrik bila dialiri arus listrik. Untuk menghindari arus balik dari *solenoid* maka diperlukan rangkaian pemutus tegangan. Pada dasarnya rangkaian ini hanya terdiri dari sebuah dioda yang dirangkai paralel dengan sumber tegangan dimana pemasangannya terbalik dengan sumber tegangan. Gambar 2.23 menunjukkan rangkaian pengaman relay



Gambar 2.34: Pengaman Relay.[11]

## 2.7 BATRAI

Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan listrik dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrolnya [13]. Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian/*cas/charge* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/*discharge* energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari sel-sel dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ( $12\text{ V} = 6 \times 2\text{ V}$ ) sedangkan aki yang memiliki tegangan 6 V memiliki 3 sel yang dipasang secara seri ( $6\text{ V} = 3 \times 2\text{ V}$ ). Dibawah ini rangkain gambar batrai dengan tegangan 12 Volt



Baterai 12 Volt

**Gambar 2.35:** Sel Batrai [12]

Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor).

Di dalam satu sel terdapat susunan pelat pelat yaitu beberapa pelat untuk kutub positif (antar pelat dipisahkan oleh kayu, ebonit atau plastik, tergantung teknologi yang digunakan) dan beberapa pelat untuk kutub negatif. Bahan aktif dari plat positif terbuat dari oksida timah coklat ( $\text{PbO}_2$ ) sedangkan bahan aktif dari plat negatif ialah timah (Pb) berpori (seperti bunga karang). Pelat-pelat tersebut terendam oleh cairan elektrolit yaitu asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



## BAB III

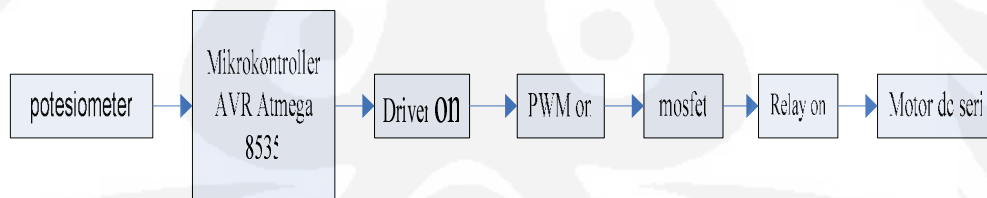
### PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan disajikan mekanisme perancangan alat, baik perangkat keras ataupun perangkat lunak untuk mewujudkan pengendalian motor dc stater mobil. Tahapan perancangan dimulai dari perancangan secara diagram, perancangan perangkat keras, serta perancangan perangkat lunak. Berikut adalah uraian dari langkah-langkah perancangan tersebut.

Seperti yang telah dikemukakan dalam rencana penelitian, langkah-langkah penelitian pengendalian kecepatan motor dc

1. Perancangan modifikasi motor dc stater
2. Perancangan diagram blok.
3. Perancangan perangkat keras
4. Perancangan perangkat lunak
5. Pengujian alat dan pengambilan data

#### 3.1 BLOK DIAGRAM PERANCANGAN KENDALI MOTOR DC STATER



**Gambar 3.1:** Blok diagram perancangan kendali motor dc stater

Perancangan dan pembuatan alat ini diharapkan akan dapat memberikan kontribusi. Pengaturan variasi kecepatan dengan metode *PWM* dengan inputan potensiometer. Fungsi dari masing – masing blok dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler Atmega8535

Mikrokontroler ini berfungsi sebagai otak dari pengendalian motor, pada mikrocontroller terdapat fasilitas ADC (*Analog Digital Controller*), dan *PWM* (*Pulsa Wide Modulation*), semua perintah masukan dari tombol,

perubahan potensiometer diolah dimikrokontroller ini untuk pengendalian putaran motor DC.

2. Potensiometer

Potensiometer ini digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor melalui metode *PWM*,dimana variasi tegangan yang dihasilkan oleh potensiometer kemudian dirubah menjadi besaran digital oleh mikrokontrooler yang digunakan sebagai input masukan *PWM*.

3. *Driver*

*Driver* berfungsi untuk melewatkan arus dari *drain* ke *sourcenya* pada piranti *mosfet* berdasarkan tegangan *gate* yang diberikan. Besar kecilnya tegangan *gate* yang melewati resistor maka semakin besar arus yang dilewatkan melalui drain

4. Mosfet

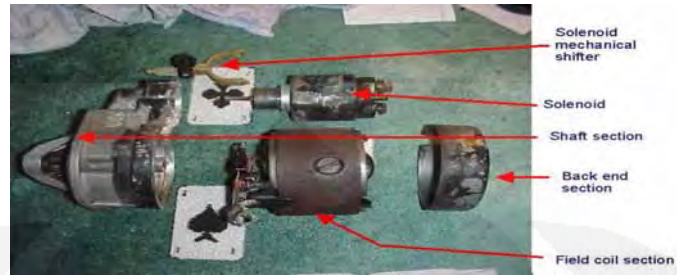
Mosfet digunakan untuk saklar elektronik dengan kecepatan yang tinggi yang prinsip kerja hamper sama dengan transistor tetapi mempunyai kapasitas yang tinggi.

5. Relay

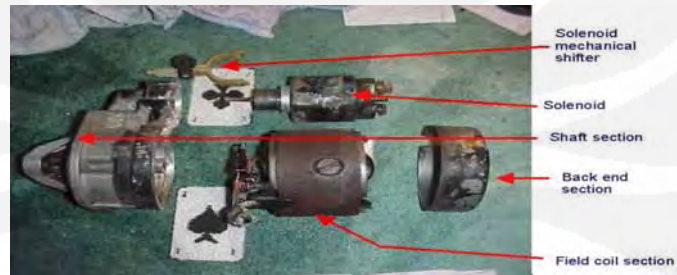
Relay adalah komponen yang menggunakan prinsip kerja medan magnet untuk menggerakkan saklar. Saklar ini degerakann oleh magnet yang dihasilkan oleh kumparan didalam relay yang dialiri arus listrik.

### 3.2 MODIFIKASI BAGIAN MOTOR DC STATER

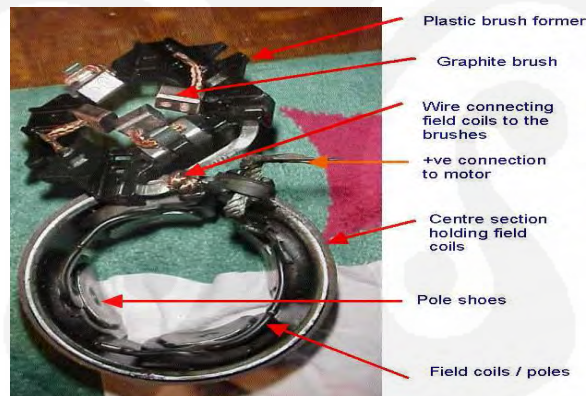
Motor DC stater merupakan motor DC jenis rangkain Seri, motor DC stater ini mempunyai keunggulan seperti mempunyai torsi yang besar,harga yang murah, dan mudah mendapatkannya dipasaran, tetapi motor DC stater ini tidak dapat secara langsung digunakan, tetapi harus sedikit dimodifikasi pada bagian – bagian tertentu motor. Gambar 3.2, Gambar 3.3, dan Gambar 3.4 menunjukkan bagian – bagian motor DC stater secara keseluruhan.



**Gambar 3.2.** Stator Motor DC stater



**Gambar 3.3.** Rotor Motor DC Stater



**Gambar 3.4.** Sikat dan Terminal Motor DC Stater

### 3.2.1 Modifikasi pada *Shafsection*

Pada modifikasi ini bagian *shafsection* dipotong ,kemudian disambung, kemudian bagian baearing di pasang dengan sumbu rotor ada yang sedikit keluar untuk pemasangan *gear*. Gambar modifikasi *shafsection* terlihat seperti Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** modifikasi shafsection

### **3.2.2. Modifikasi pada *Endsection***

Pada modifikasi ini bagian *endsection* dibuat lubang – lubang, agar semua terminal dari kumparan dapat dikeluarkan dari rangka motor, sehingga memudahkan untuk memodifikasi rangkaian kumparan, serta memudahkan untuk pengambilan data awal dari motor stater DC, data awal digunakan untuk modifikasi lebih lanjut pada kumparan *medan* dan kumparan *armature*. Gambar modifikasi *endsection* terlihat seperti gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Endsection

### **3.2.3. Modifikasi pada Kumparan stator**

Kumparan medan adalah kumparan yang terdapat pada bagian *stator* motor, pada motor DC Stater ini, kumparan medan menggunakan kumparan dari kawat dengan diameter 0,65 milimeter yang digabung sebanyak empat kawat, dengan jumlah kumparan 14 lilit tiap kutubnya. Dari data percobaan awal yang dilakukan diperoleh data besar tegangan jangkar sebesar 3,9 Volt dan Arus

sebesar 27 Amper sedangkan tegangan sumber yang pada awalnya 12 Volt saat motor dipasang dengan tersambung pada rantai tegangan menjadi *drop* menjadi sebesar 4,3 Volt, ini dikarenakan baterai telah mengalami kerusakan. Dari persamaan 2.10 maka nilai resistansi motor dapat diketahui sebesar

$$R = \frac{V \cdot Ea}{Ia} \text{ ohm} = \frac{4,3 - 3,9}{27}$$

$$= 0,017 \text{ ohm}$$

Kawat email yang digunakan untuk lilitan medan dengan diameter 0,65 mm dengan dengan 4 buah kawat email yang diparelel dengan jumlah lilitan sebanyak 14 lilit dan lilitan. Perencanaan perubahan lilitan diharapkan masih menghasilkan gaya gerak listrik yang besarnya sama dengan keadaan awal dan terjadi penurunan arus. Sesuai dengan persamaan ( 2.9 ) untuk mendapatkan tahanan yang lebih besar maka kawat diganti dengan diameter yang lebih kecil dan panjang kawat diperpanjang Untuk mendapatkan gaya gerak magnet yang sama dengan keadaan awal dengan menggunakan persamaan ( 2.8 ) kumparan dililit ulang dengan menggunakan kawat dengan diameter 0,65 mm tetapi tidak digabung, sehingga jumlah kumparan menjadi 56 lilit.

### 3.2.4. Modifikasi Pada Kumparan Armature

Kumparan armature adalah kumparan yang terdapat pada bagian rotor motor, pada motor DC Stator ini, kumparan *rotor* menggunakan kumparan dari kawat dengan diameter 2 milimeter, pada tiap slot terdapat 2 penghantar ( satu lilitan ), tipe lilitan jerat majemuk tunggal. dengan jumlah slot sebanyak 22 slot.

Maka banyaknya jumlah penghantar pada lilitan armature sesuai persamaan ( 2.2 )

$$Z = 2 \times C \times N$$

$$= 2 \times 22 \times 1$$

$$= 44 \text{ Penghantar}$$

Banyaknya jalur arus paralel pada kumparan Armature sesuai dengan persamaan (2.4)

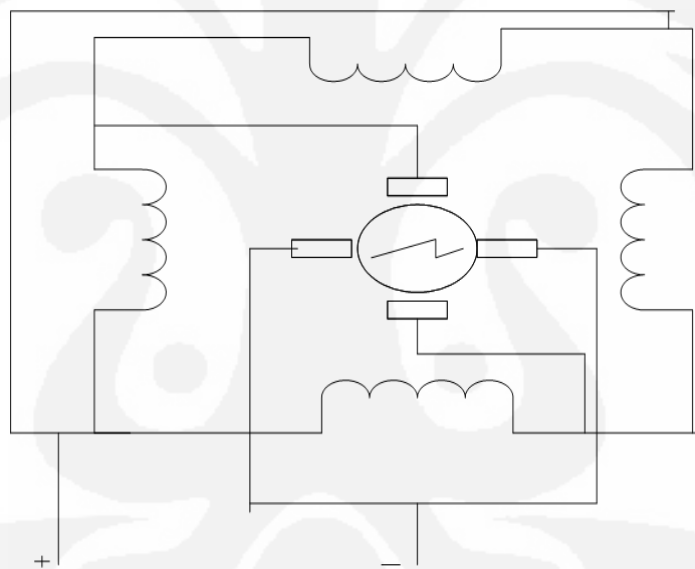
$$A = m.p$$

$$= 1 \times 4$$

= 4 Jalur Arus paralel

Pada kumparan armature kawat *email* direncanakan menggunakan kawat *email* dengan diameter 0,9 *milimeter*. Penggantian ukuran kawat *email* pada *rotor* harus memperhatikan kedalaman slot pada rotor agar kawat *email* dapat muat masuk kedalam slot rotor. Pada lilitan medan jumlah lilita diperbanyak menjadi 4 kali dari awal maka kumparan Armature juga dilakukan hal yang sama agar mendapatkan gaya gerak magnet yang hampir sama digunakan kawat dengan diameter 0,9 mm dengan jumlah lilitan tiap slot 4 lilitan.

Rangkaian antara lilitan armature dengan lilitan medan terlihat seperti Gambar 3.7



**Gambar 3.7.** Rangkaian antara lilitan armature dengan lilitan medan

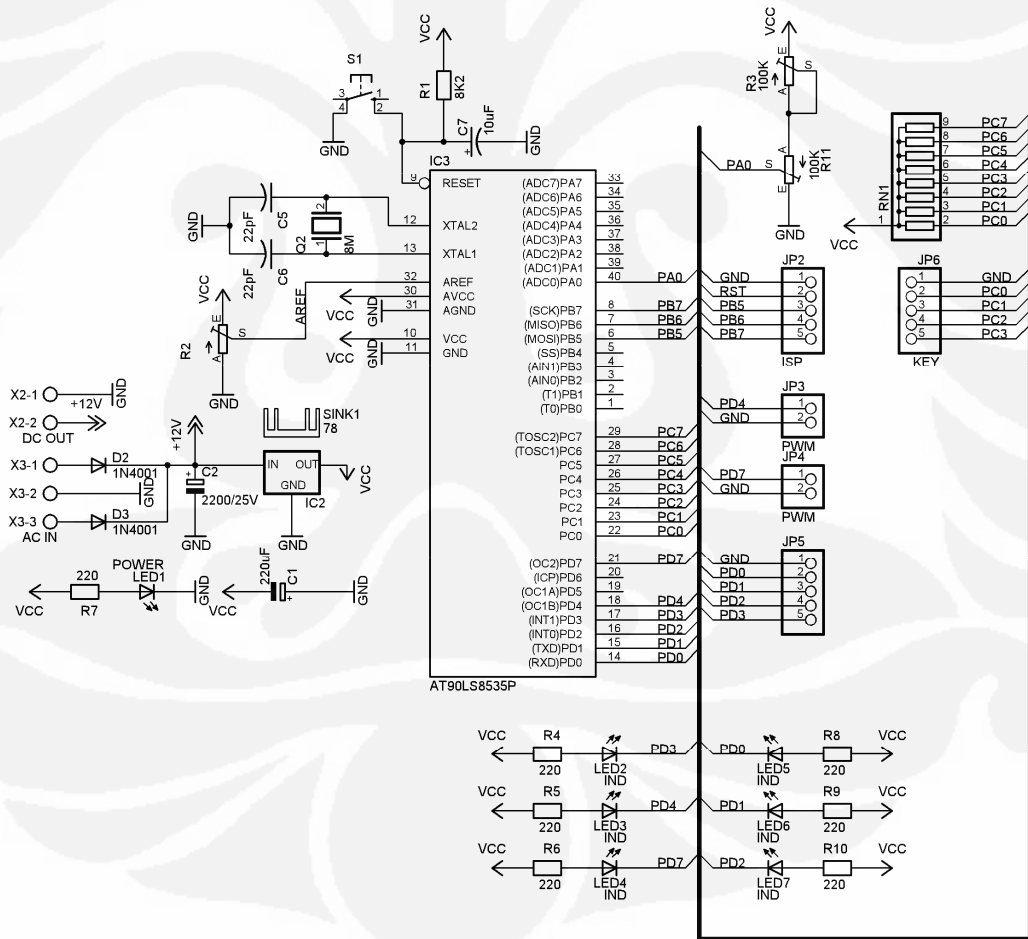
### 3.3 PERANCANGAN ELEKTRONIK

#### 3.3.3 Mikrokontroller AVR Atmega 8535

Pada perancangan pengendalian putaran motor DC ini menggunakan mikrokontroller ATMEGA AVR 8535 buatan Atmel. Mikrokontroller ini bekerja dalam mode operasi keping tunggal ( single Chip Operation ), sehingga tidak

diperlukan lagi baik ROM, RAM maupun Port tambahan karena masih dapat ditangani oleh ATMEGA AVR 8535

Pada sistem pengendalian motor dc seri ini menggunakan sebuah mikrokontroler yang mengatur seluruh sistem. Mikrokontroler ATMEGA AVR 8535 berfungsi untuk menghasilkan gelombang PWM sinusoidal yang akan digunakan mengatur kecepatan motor .pengaturan sinyal PWM pada mikrokontroller ini menggunakan inputan dari potensiometer.Mikrokontroller AVR Atmega8535 mengubah besar analog dari potensiometer menjadi besaran digital. Pada mikrokontroler, IC Atmega8535 akan tersambung dengan perangkat *input output*. Perangkat input terdiri potensiometer. Sementara untuk perangkat keluaran mikrokontroler akan berhubungan dengan driver.

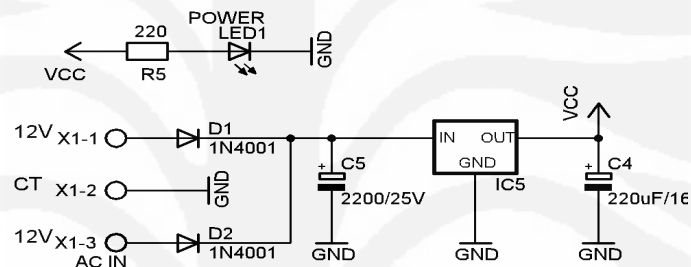


**Gambar 3.8.** Sistem mikrokontroler untuk mengendalikan kecepatan motor

Pada gambar 3.11 R1 ( Nilai tahanan max 100 k $\Omega$ ) sebagai pembagi tegangan masukan tegangan masukan Vcc dari mikro 5 Volt, sedangkan R3 sebagai variabel resistor yang digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk kedalam mikrokontroller dan R3 sebagai resitor variabel untuk mengeset tegangan referensi ( V ref ) sebesar 2,5 Volt.

### 3.2.2 Catu Daya

Semua sistem yang dibangun menggunakan mikrokontroler membutuhkan catu daya. Dalam penelitian ini, dibutuhkan catu daya sebesar +5V, Gambar 3.9 menunjukkan skema catu daya yang digunakan.

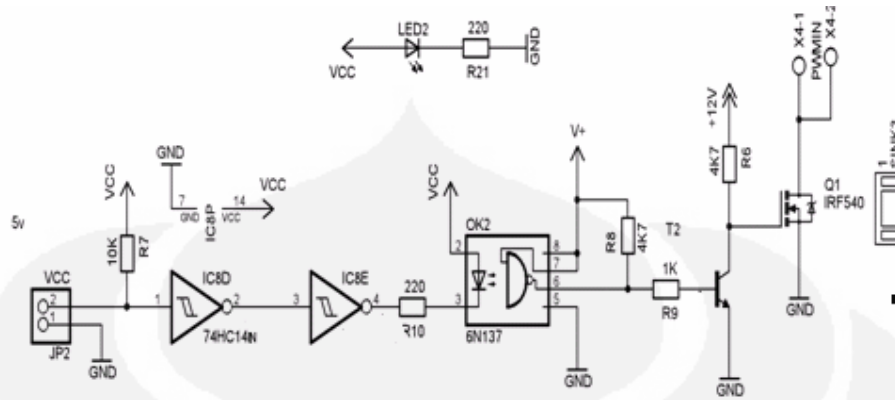


**Gambar 3.9.** Rangkaian *power supply*

Pada Gambar 3.12 menampilkan rangkaian *power supply*. AC input adalah keluaran dari lilitan sekunder trafo. Tegangan yang digunakan adalah 12V, CT 12V. Dengan pemasangan 2 buah dioda 1N4001 akan menghasilkan penyearah gelombang penuh. Pemasangan kapasitor 2200uF/25V bertujuan untuk meratakan arus dan menghilangkan *riple*. IC 5 adalah regulator 7805 akan menghasilkan tegangan output 5V atau Vcc. Pemberian kapasitor 220uF/16V bertujuan agar tidak terjadi *drop* tegangan ketika *power supply* diberi beban.

### 3.3.4 Driver Mosfet





**Gambar 3.10.** Rangkaian driver mosfet

Pada rangkaian driver relay diatas, masukan logika TTL berasal dari mikrokontroler. Logika ini selanjutnya dikuatkan oleh buffer shmit trigger inverting. Karena penguatan invertinnya diulang sehingga menjadi non inverting. Keluaran dari buffer ini digunakan untuk menggerakkan opto isolator 6N137. IC opto ini berfungsi untuk mengisolasi tegangan kerja mikrokontroler TTL 5V dengan tegangan kerja motor DC 12V.

Keluaran dari opto isolator yang bersifat inverting ini digunakan untuk menggerakkan transistor 2N2222 yang berfungsi untuk memberikan tegangan gate ke kaki mosfet. Saat keluran dari opto bernilai 0V maka transistor akan *off*, sehingga akan ada tegangan gate ke mosfet.

Logika kerja dari rangkaian ini adalah saat logika rendah atau tegangan 0V masuk ke kaki A maka dua buah *buffer* 74HC14 akan memberikan output rendah, sehingga opto akan berada pada posisi *on*, output pada opto akan berupa logika rendah. Dengan kejadian ini, maka transistor akan berada pada posisi *off*, sehingga akan ada gate positif ke kaki mosfet, maka mosfet akan menghantarkan arus dari kaki S ke D.

Sementara itu jika kaki masukan A akan diberikan logika tinggi maka output *double buffer* akan memiliki logika tinggi sehingga opto akan *off*. Ketika opto *off*, maka transistor akan berada pada posisi *on*, maka dengan kejadian ini relay akan diberikan tegangan gate sebesar 0V, maka relay akan berada pada posisi *off*, dengan demikian tidak ada hantar arus dari S ke D.

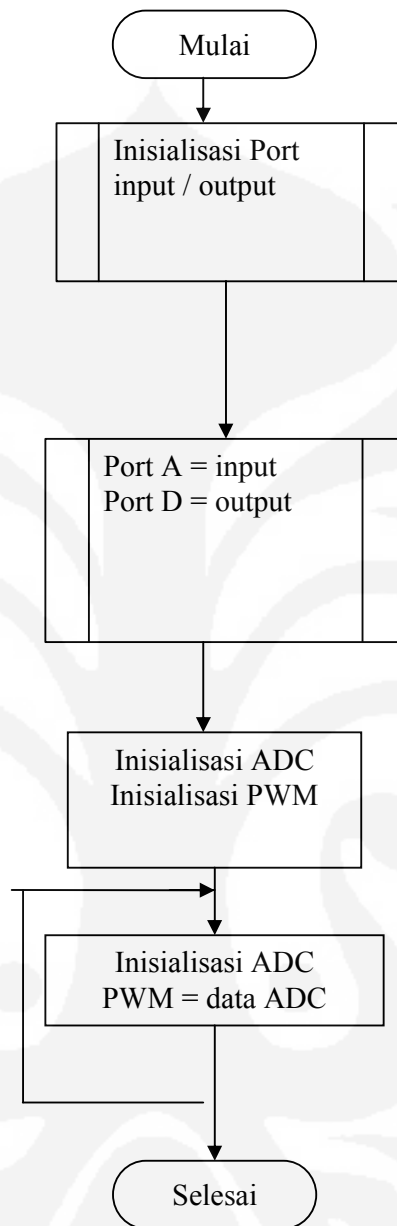
### 3.4 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Untuk membangun sistem berdasar mikrokontroler maka terlebih dahulu harus dirancang algoritma yang menangani sistem. Algoritma perangkat lunak disusun berdasarkan *flow chart* yang telah ditentukan. Untuk membangun program dalam sistem ini digunakan bahasa C. Beberapa piranti pendukung adalah komputer, *downloader*, serta *software downloader*.

Untuk menjalankan seluruh tugas, mikrokontroler harus diberikan beberapa jabaran dari masing masing tugas. Adapun tugas-tugas penting dari mikrokontroler utama adalah;

1. Menangani sistem secara keseluruhan.
2. Menangani perubahan besaran analog ke besaran digital
3. Menghasilkan sinyal PWM

Dengan beberapa tugas pokok seperti yang telah disampaikan diatas maka mikrokontroler harus diberi program yang mampu menangani keseluruhan tugas diatas. Adapun algoritma program disajikan dalam *flow chart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.14



**Gambar 3.11.** Flow chart program mikrokontroler utama

Sinyal masukan analog yang berasal dari dari potensiometer yang terhubung dengan port ADC0 akan dikonversikan menjadi data 8 bit dan kemudian data digital akan hasil konversi akan menjadi masukan PortD yang akan mengatur lebar pulsa PWM,dengan demikian secara visual dapat mengamati lebar pulsa PWM dari tampilan nyala lampu led dari terang redupnya lampu led. Pada bagian gambar 3.14 dapat diuraikan langkah pertama merupakan program inisialisasi, yaitu menginisialisasi port-port yang akan dipakai untuk menentukan variabel dan

konstanta.. Pada pengontrol mikro Atmega8535 pwm yang digunakan adalah 8 bit sehingga variable MAX\_PWM yang digunakan sebagai resolusi *top count* adalah 255. Selanjutnya input yang digunakan dalam menentukan dutycycle menggunakan port ADC0 untuk membaca sekaligus mengkonversi data analog kedalam data digital yaitu menggunakan potensiometer. Untuk mengeluarkan sinyal PWM ke port keluaran yaitu pada port D .

## **BAB IV**

### **DATA PENGAMATAN DAN ANALISA**

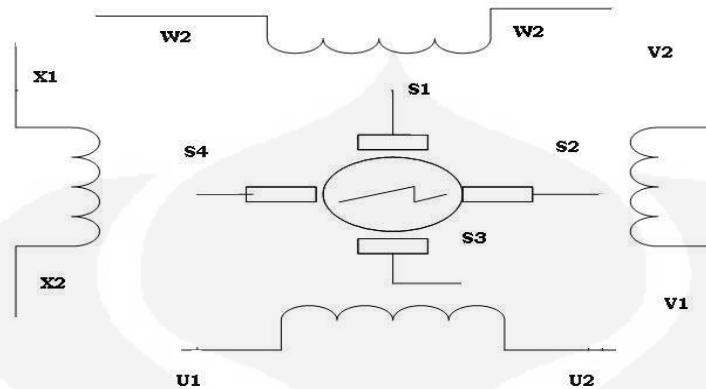
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dan pembahasan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur multi meter, osiloskop, dan tachometer. Pengujian meliputi pengujian terhadap sistem catu daya, motor mikrokontroler sistem dan driver mosfet.

#### **4.2. PENGUJIAN MOTOR**

Pengujian motor dilakukan pada saat motor selesai dilakukan rewinding hal ini dilakukan agar pada saat motor diberi tegangan jika terjadi short antar lilitan bisa dilakukan perbaikan. Selain itu juga untuk mengetahui perubahan nilai tahanan dalam motor dan ketahanan motor saat diberi tegangan maksimal.

##### **4.2.1. Pengujian Lilitan Motor**

Pengujian lilitan medan motor dilakukan dengan menghubungkan setiap terminal kutub lilitan medan ( U1- U2 ) ( V1 – V2 ) ( W1- W2 ) dan ( X1 – X2 ) kutub saling terhubung berarti lilitan tidak terputus kemudian pada bagian rotor diuji coba dengan mengecek semua bagian terminal slot dengan body rotor hasil pengujian tidak ditemukan short pada setiap kumparan. Kemudian pengecekan pada lilitan armature pada tiap ujung terminal pada tiap slot rotor dengan komutator hasil pengecekan saling terhubung, kemudian pengecekan dengan body rotor tidak ditemukan hubungan maka motor dalam keadaan baik.



**Gambar 4.1.** Kumparan yang Terdapat motor dc seri

#### 4.2.2. Penhujian Tahanan dan Ketahanan Motor

##### a. Pengujian tahanan dalam motor

Pengujian nilai tahanan dilakukan untuk mengetahui perubahan dari nilai tahanan dalam ( $R_a$ ) total motor setelah dilakukan perubahan jumlah lilitan dan diameter kawat. Pengujian kawat tidak dilakukan secara langsung tetapi dengan mengambil data tegangan pada sumber ( $V_s$ ), tegangan pada Lilitan armature ( $E_a$ ), serta arus pada sumber tegangan ( $I_a$ ) skema pengujian seperti pada gambar 3.11. Pada pengujian didapatkan data:

$$V_s = 10,2 \text{ Volt}$$

$$E_a = 7,6 \text{ Volt}$$

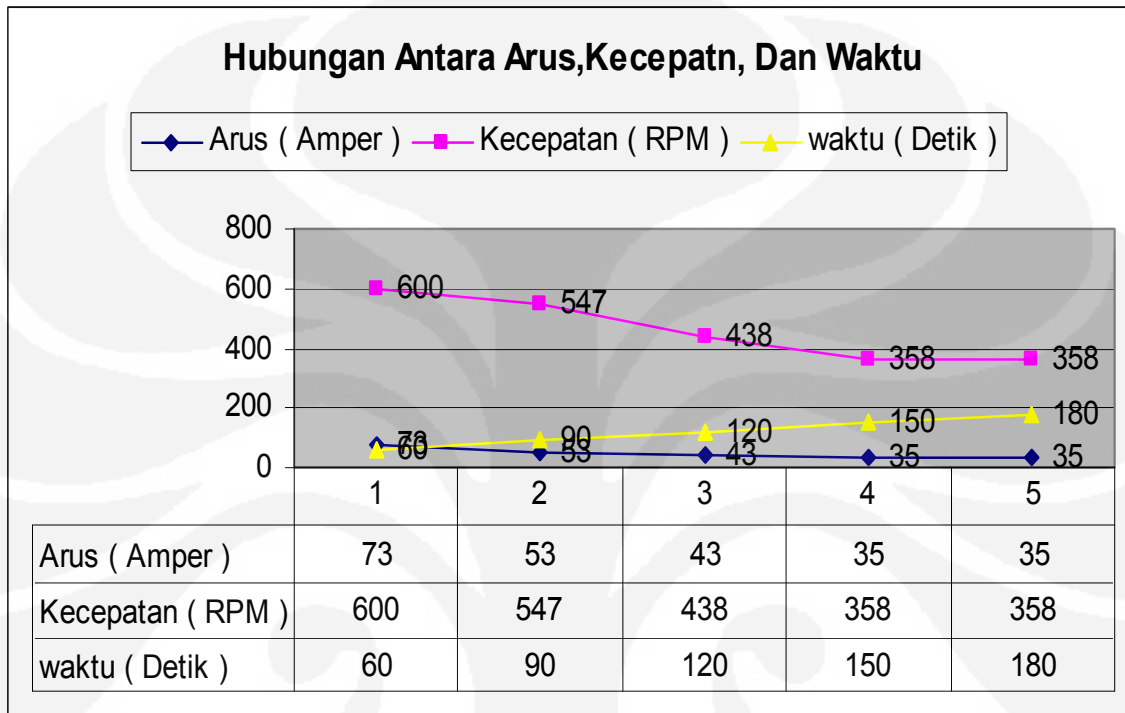
$$I_a = 57 \text{ Amper}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.10 Maka didapatkan tahanan dalam motor seri sebesar 0,045 ohm pada pengujian awal didapatkan data tahanan total dalam motor seri 0,017.

##### b. Pengujian Ketahanan Motor.

Pengujian ketahanan motor dilakukan untuk mengetahui efek perubahan lilitan terhadap ketahanan motor pada percobaan awal dengan tegangan 4,3 Volt dihasilkan arus 27Amper dengan durasi 1 menit body motor sudah terasa panas

dan kecepatan motor mulai turun mendekati berhenti, setelah dilakukan perubahan lilitan medan data seperti pada Gambar 4.1



**Gambar 4.2.** Hubungan antara arus,waktu dan kecepatan pada motor DC seri

Dari gambar grafik terlihat pada saat starting arus mencapai 73 Amper dengan kecepatan 600 rpm jika perbandingan antara gigi pada roda dan motor 1: 5 maka kecepatan awal mencapai 3000 rpm, kemudian kecepatan putaran turun hal ini dikarenakan karakteristik motor seri, kecepatan putaran motor ini turun dikarenakan arus yang mengalir pada motor terjadi penurunan.

Pada saat starting arus motor masih besar maka untuk menurunkan arus pada saat starting diperlukan tahanan yang dipasang secara seri dengan kumparan medan yang dapat diatur nilai tahanannya.

Besar nilai tahanan yang harus dipasang :

$$I_{mak} = 35 \text{ Amper}$$

$$V_s = 10,2 \text{ Volt}$$

$$E_a = 7,6 \text{ Volt}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } R_{\text{total}} &= \frac{10.2 \cdot 7.6}{35} \\ &= 0,07 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$R_{\text{motor}} = 0.045 \text{ ohm}$$

Jadi tahanan yang harus dipasang pada motor sebesar 0,025 ohm dengan kapasitas 350 watt pada saat starting setelah motor berputar tahanan harus dilepas atau diseting 0 ohm, agar putar motor tetap tinggi, dan rugi daya akibat tahanan dapat dikurangi.

Persamaan 2.12 dimana torsi motor sebanding dengan kuadrat arus, jika terjadi penurunan arus maka motor akan mengalami penurunan kecepatan setelah motor berputar 3 menit mengalami kejenuhan tercapai fluk ( $\Phi$ ) tidak akan lagi bergantung pada arus sehingga torsi motor sebanding dengan arus jangkar sehingga kurva kecepatan akan berbentuk garis lurus. Pada saat motor sudah berputar 3 menit motor terasa panas, sehingga untuk keamanan motor dimatikan, jika dibandingkan dengan keadaan awal pada saat motor belum dililit ulang maka motor lebih tahan berputar dengan tegangan penuh, hal ini dikarenakan telah terjadi penambahan nilai tahanan motor dan jumlah cabang arus paralel.

Pada saat dilakukan perubahan lilitan pada tahanan jangkar tahanan meningkat dari 0.017 ohm menjadi 0,047 ohm. Sedangkan perubahan jumlah jalur paralel pada saat dilakukan perubahan lilitan menjadi:

$$\begin{aligned} A &= 2 \times 4 \\ &= 8 \text{ Jalur arus paralel.} \end{aligned}$$

Dengan perubahan jumlah lilitan dan diameter kawat masih belum tahan lama maka untuk memperkuat ketahanan motor diperlukan perubahan lilitan ulang agar arus motor menjadi lebih kecil dari nilai awal:

Dari data diketahui

Arus pada saat saturasi = 35 Amper

Jumlah lilitan medan = 56 kumparan

Untuk lilitan Armature = 2 kumparan.

Sesuai dengan persamaan 2.10

$$\begin{aligned} \text{GGM}_{\text{medan}} &= N \times I \\ &= 56 \times 35 \end{aligned}$$



$$= 1960 \text{ Amper turn}$$

$$\text{GGM}_{armature} = N \times I$$

$$= 2 \times 35$$

$$= 70 \text{ Amper turn}$$

Agar putaran motor dapat bertahan lama maka arus harus diturunkan, tetapi penurunan arus diperhitungkan agar kecepatan motor tinggi. Misalkan dikehendaki arus yang mengalir ke motor 17 Amper maka sesuai dengan persamaan 2.10 jumlah lilitan yang dibutuhkan pada lilitan medan:

$$\text{GGM}_{medan} = N \times I$$

$$1960 \text{ Amper turn} = N \times 17$$

$$N = 112 \text{ lilitan}$$

$$\text{GGM}_{armature} = N \times I$$

$$70 \text{ Amper turn} = N \times 17$$

$$N = 4 \text{ lilit}$$

Pada kumparan medan lilitan berubah menjadi 112 lilitan dengan diameter kawat 0,5 dari diameter kawat awal (0,325 mm), sedangkan untuk lilitan armature kumparan dirubah menjadi 4 kumparan per slot dengan diameter kawat 0,5 dari diameter awal (0,45 mm).

Sedangkan perubahan jumlah jalur paralel pada saat dilakukan perubahan lilitan menjadi:

$$A = 4 \times 4$$

$$= 16 \text{ Jalur arus paralel.}$$

#### 4.3. PENGUJIAN RANGKAIAN CATU DAYA

Rangkaian catu daya atau *power supply* yang digunakan sebagai sumber tenaga pada penelitian ini adalah sumber tegangan stabil 12V AC. Selain itu dapat juga langsung menggunakan tegangan dari aki sebesar 12V. Pada rangkaian catu daya yang disajikan pada Gambar 3.12 masukan AC 12V berasal dari lilitan skunder transformator. Jenis trafo

yang digunakan adalah trafo CT 12V dengan arus maksimal 1A. Tegangan AC ini kemudian disearahkan oleh 2 buah dioda 1N4001. Penyearah gelombang penuh diatas menghasilkan tegangan output pada sisi katoda dioda 1N4001. Nilai tegangan terukur sebesar 14.4V. Perangkat digital dan mikrokontroler, memerlukan sumber tegangan DC sebesar 5V, untuk itu perlu dipasang sebuah regulator tegangan 7805. Nilai tegangan keluaran tegangan dari IC regulator ini sebesar 4,98V.

#### 4.4. PENGUJIAN DRIVER

Pengujian terhadap driver relay dilakukan guna mengetahui karakteristik dari driver sehingga memudahkan untuk melakukan pengendalian. Gambar pengujian driver relay disajikan pada Gambar 3.15. Dengan konfigurasi seperti pada Gambar 3.15 percobaan dilakukan dengan memberikan input logika yang berasal dari mikrokontroler. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 adalah data dari hasil percobaan.

**Tabel 4.1 Hasil percobaan terhadap driver relay**

No	Masukan A (V)	Keluaran			
		Pin A1(V)	Pin A2 (V)	Pin A3 Opto (V)	Gate A4 (V)
1	0.01	4.80	0.21	0.02	11.8
2	4.89V	0.20	4.80	4.78	0.01

Dari daftar percobaan diatas diketahui bahwa mosfet akan aktif jika mendapat masukan aktif low.

#### 4.5. PENGUJIAN SINYAL PWM

Pengujian sinyal pwm dilakukan untuk melihat gelombang sinyal PWM dari mikrokontroller yang telah dikeluarkan oleh schmitt trigger. Pengujian keluaran dilakukan pada kaki kolektor transistor Pengujian terhadap sistem yang telah dirancang dan direalisasikan. Kemudian hasil pengujian akan digunakan sebagai dasar pembahasan dan analisa. Untuk melihat performansi sistem yang telah dibuat, maka frekuensi carrier dapat ditentukan dengan persamaan berikut

Pada program awal Konfigurasi Bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak noprescaling

$$F_{cr} = \frac{F_{cint}}{(2 * Psc * Top\_Count)}$$

Dimana

Fcr = Frekuensi carrier

Fcint = frekuensi klok internal ( frekuensi kristal )

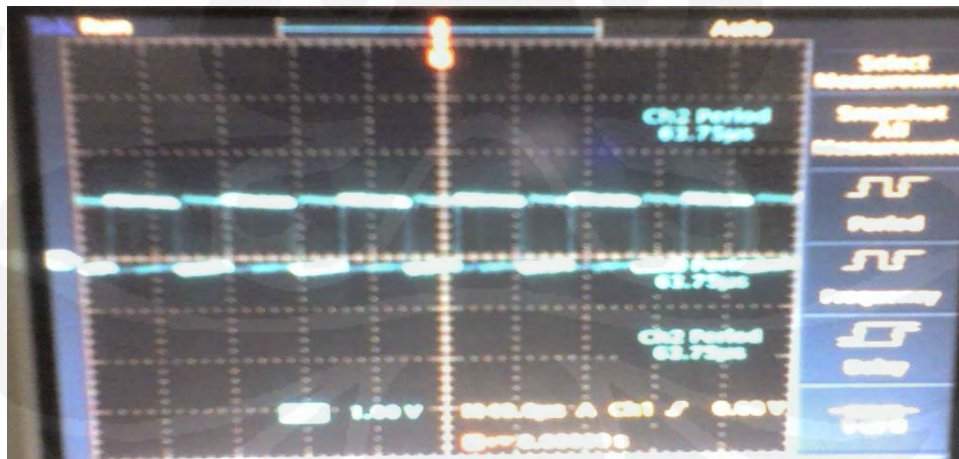
Psc = skala klok

Top\_count = 8 bit timer/counter

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{8000000}{2 \times 1 \times 256} \\ &= 15.256 \text{ hz} \end{aligned}$$

dilakukan pengujian dengan beberapa kondisi sebagai berikut :

1. Pada pengujian ini dilakukan pada posisi potensio meter pada skala 4 dengan frekuensi carrier 15 khz. hasil pengamatan dari osiloskop diperlihatkan pada gambar 4.1



Gambar 4.3. Pengujian Sinyal PWM frekwensi carrier 15 khz

Dari pembaca pengukuran variabel dari osiloskop didapatkan data seperti pada gambar

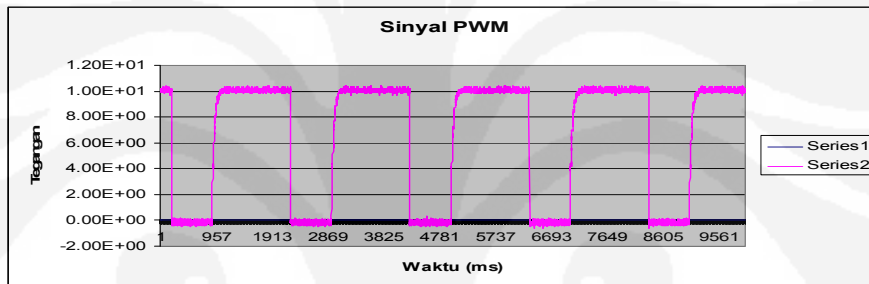
Dari pembacaan data oleh osiloskop diketahui bahwa data dutyCycle = 54 %

Karena clock terlalu besar maka progra diseting ulang dengan konfigurasi bit *Clock Select* untuk memilih sumber detak from prescaler maka pada frekuensi carrier akan mengalami perubahan menjadi:

$$F_{cr} = \frac{8000000}{2 \times 32 \times 256}$$

$$= 488 \text{ Hz.}$$

Dari data grafik pengujian tegangan masukan ADC dengan posisi potensio meter makin besar tegangan yang dihasilkan makin kecil, sedangkan pada duty cycle makin besar, karena mikrokontroller aktif low maka makin kecil dutycycle maka kecepatan motor makin besar, dari hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan data seperti pada Gambar 4.6



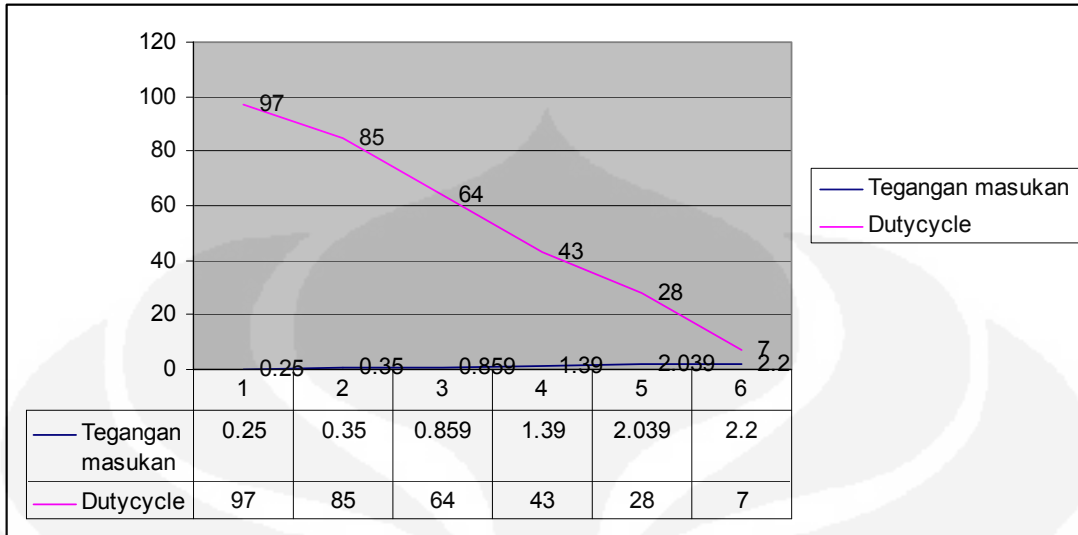
**Gambar 4.4.** Pengujian sinyal pwm

$$\text{Dutycycle} = \frac{ocrx}{Top\_count} \times 100\%$$

$$= \frac{157}{255} \times 100\%$$

$$= 70,1 \%$$

Pada pengujian hubungan antara tegangan masukan terhadap dutycycle adalah seperti berikut



Gambar 4.7. Hubungan antara Tegangan masukan dan dutycycle

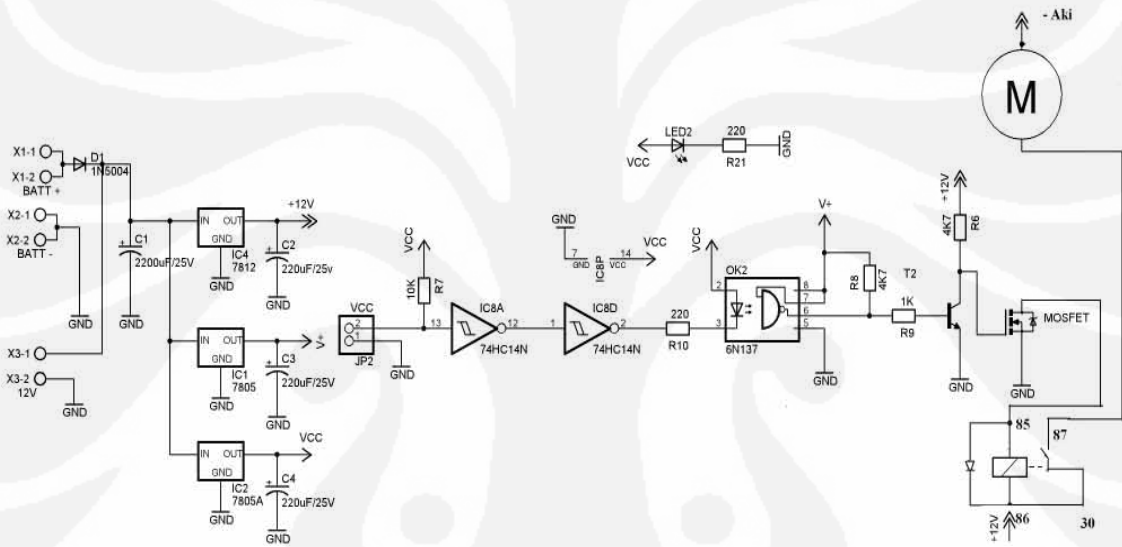
#### 4.6. PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

Pada pengujian seluruh sistem pengendalian dengan menggunakan mosfet tipe IRF 540 mosfet dengan rangkaian awal seperti gambar (3,1) dari hasil pengujian mosfet terbakar, kemudian dilakukan pengukuran arus pada motor, dari hasil pengukuran didapatkan arus yang mengalir pada motor lebih dari 70 Amper pada saat starting, kemudian mosfet diganti dengan tipe dengan kapasitas mosfet dengan arus yang besar dengan menggunakan IRF 3205 yang mempunyai kapasitas arus 110 Amper pada saat digunakan dengan suhu  $25^{\circ}$  dan pada saat suhu diatas  $95^{\circ}$  kapasitas arus mosfet 65 Amper, motor dapat berjalan tetapi setelah beberapa detik mosfet terasa panas kemudian mosfet rusak.

Mosfet IRF 3205 diganti dengan tipe IXYS dengan kapasitas 96 Amper dengan dirangkai parallel dengan pemasangan dioda pada mosfet dan dioda *frywheel* pada motor motor dapat dikendalikan tetapi setelah motor berputar sebentar mosfet pada salah satu mosfet rangkaian terasa panas kemudian mosfet rusak, hal ini disebabkan tegangan balik yang dihasilkan oleh motor yang besar karena beban bersifat induktif, maka untuk mengurangi tegangan balik yang besar diperlukan rangkain snuber. Rangkaian snuber dirancang untuk memodifikasi bentuk gelombang peralihan yaitu tegangan balik yang dihasil oleh beban yang bersifat induktif sehingga kerugian daya dapat dikurangi, dengan kata lain rangkaian snuber dapat menekan kondisi peralihan antara on – off pensaklaran

elektronis yang tidak diinginkan tanpa penekanan tersebut, kondisi pada saat peralihan on – off saklar elektronik dapat melebihi tegangan saklar elektronik yang ditarifkan sehingga kerusakan pada saklar elektronik suslit untuk dihindari, tetapi untuk menentukan besar nilai resistor, kapasitor , dan dioda yang dibutuhkan tidak mudah karena arus balik yang besar sulit dilakukan pengukuran, maka untuk menggunakan rangkaian snuber diperlukan penelitian yang lebih lanjut.

Pada pengujian selanjutnya digunakan relay dimana keluaran dari saklar elektronik mosfet digunakan untuk pensaklaran relay, Gambar 4.8 skema pengujian sistem secara keseluruhan dengan menggunakan mosfet dan relay



**Gambar 4.5** Skema pengendalian motor DC seri

Pengujian dilakukan dengan merubah posisi potensiometer diseting untuk putaran maksimal motor dapat berputar dengan cepat motor, tetapi jika posisi potensiometer dikurangi keposisi yang lebih rendah putaran motor melambat dan kemudian motor berhenti ini dikarenakan kecepatan *on-off* relay tidak dapat mengikuti kecepatan saklar elektronik yakni mosfet dan transistor, untuk diperlukan relay yang mempunyai kecepatan elektronik yang hampir sama dengan kecepatan saklar elektronis.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi dan pengujian terhadap sistem Penggerak mobil listrik dengan menggunakan motor dc stater mobil, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perubahan jumlah lilitan dan ukuran diameter kawat pada kumparan medan dan kumparan seri dapat menaikkan hambatan total motor yang dapat mengurangi arus pada motor seri.
2. Motor dc seri yang telah mengalami perubahan lilitan masih mempunyai kecepatan putaran yang tinggi pada awal starting dan akan turun setelah beberapa menit sampai pada titik jenuh motor.
3. Pembangkit sinyal PWM pada dengan frekuensi carrier 500 hz dan 15 khz dapat dilakukan oleh mikrokontroller AVR Atmega8535
4. Pengontrolan kecepatan putar motor dc seri yang mempunyai yang arus besar dengan menggunakan relay mempunyai range kecepatan yang sempit, pengendalian dengan menggunakan mosfet secara alngsung tidak dapat dilakukan, karena adangaya tegangan balik yang disebabkan motor yang merusak saklar elektronik

## DAFTAR ACUAN

[1] Hendra Donny Purnama (2008), "Cara Kerja Dinamo Stater". Diakses 22 Mei 2008, dari Indonesia tiger club mailist

[http:// honda-tiger.or.id/public\\_html/koperasi/ads/index.php](http://honda-tiger.or.id/public_html/koperasi/ads/index.php)

[2] Wijaya Mochtar, Dasar – Dasar Mesin listrik, , (Jakarta Djembatan 2001).

[3] Wikipedia (2008) , "Dasar Elektromagnetik" diakses 2 juni 2008, dari wikipedia indonesia

[http:// wikipedia.com/dasar elektromagneyik.php](http://wikipedia.com/dasar elektromagneyik.php)

[4] Departemen pendidikan nasional "Prinsip Dasar Mesin Searah"  
( Jakarta.,2003)

[5] paul.hills (2005), "speed controller" diakses 2 april 2008

<http://homepages.which.net/~paul.hills/Motors/Starters/Starters.html>

[6] Irwan Hadi, " Penghantar Teknik Tenaga Listrik" ( Solo, 2003)

[7] Bejo Agus, "C & AVR Rahasia kemudahan bahasa C dalam mikrokontroler Atmega 8535", (Yogyakarta,C.V graha ilmu 2008)

[ 8 ]Lingga Wardhana, "Mikrokontroler AVR Seri Atmega8535 Simulasi, Hardware, dan aplikasi, (Yogyakarta , C.V ANDI OFFSET2006 )

[9]Wasito S, "Vadmekum Elektronika edisi 2 " , ( Jakarta, Gramedia 2004 )

[10] Nbctcp's, "Automotive Relay" diakses 23 juni 2008

<http://saft7.com/?p=234>

[11] Muhammmad Ibnu Bahrurahim" Rancang bangun Sistem Kontrol dan analisa Pengnedali Robot manual pada Kasus KRI 2007", Skripsi, PENS ITS Surabaya,hal

[12]"Cara Kerja Baterai Aki (aki kering, aki basah, accu, sealed lead acid". diakses 2 juni 2008, dari forum iklan umum.

<http://forum iklan umum.com>



## DAFTAR PUSTAKA

Bejo Agus, "C & AVR Rahasia kemudahan bahasa C dalam mikrokontroller Atmega 8535", (Yogyakarta,C.V graha ilmu 2008)

Lingga Wardhana, "Mikrokontroler AVR Seri Atmega8535 Simulasi, Hardware, dan aplikasi, (Yogyakarta , C.V ANDI OFFSET2006 )

Hyatt William,"Elektromagnetika Teknologi",ter.M.N Liong Houw ( Jakarta: Erlangga, 1993)

Millman,Halkias "Elektronika Terpadu", ter.M.N, Barmawi. M, M.O.Tjia ( Jakarta: Erlangga, 1986)

Wasito S, "Vadmekum Elektronika edisi 2 " , ( Jakarta, Gramedian 2004 )

Wijaya Mochtar, Dasar – Dasar Mesin listrik, , (Jakarta Djambatan 2001).

<http://www.atmel.com>

<http://homepages.which.net/~paul.hills/Motors/Starters/Starters.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Relay#Operation>

<http://www.irf.com>

<http://www.ixys.com>



---

## Features

- High-performance, Low-power AVR<sup>®</sup> 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
    - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
  - In-System Programming by On-chip Boot Program
  - True Read-While-Write Operation
  - 512 Bytes EEPROM
    - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1K Byte Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
    - 8 Single-ended Channels
    - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
    - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
  - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz for ATmega16L
  - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
  - Active: 1.1 mA
  - Idle Mode: 0.35 mA
  - Power-down Mode: < 1 µA



---

8-bit **AVR<sup>®</sup>**  
Microcontroller  
with 16K Bytes  
In-System  
Programmable  
Flash

---

ATmega16  
ATmega16L

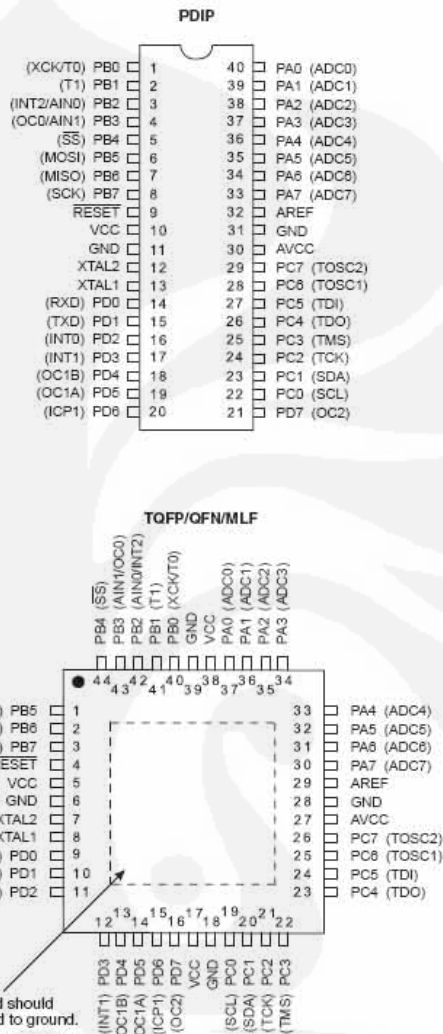
2466O-AVR-03/07





## Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega16



### Disclaimer

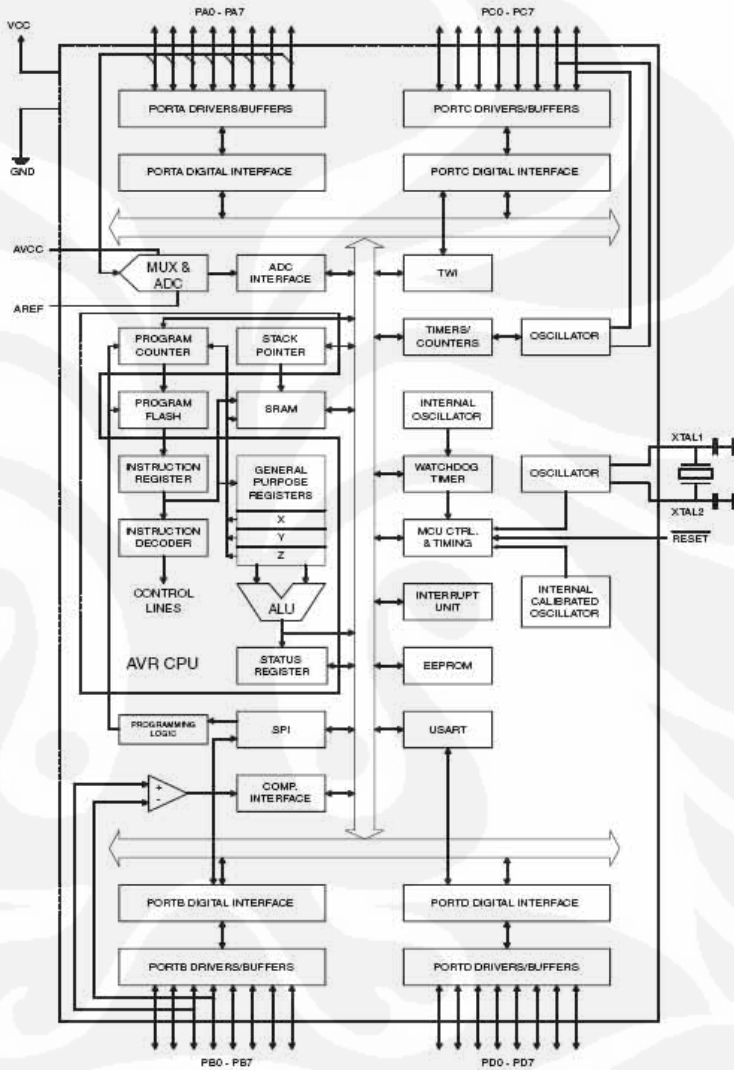
Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

## Overview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

## Block Diagram

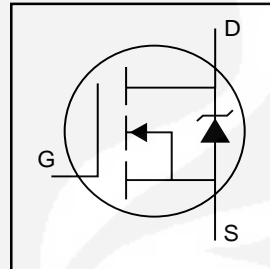
Figure 2. Block Diagram



# IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

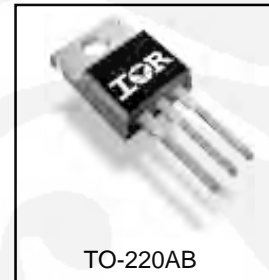


$V_{DSS} = 100V$
$R_{DS(on)} = 44m\Omega$
$I_D = 33A$

## Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



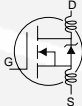
## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	23	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	$V/^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	$m\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	21	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 16A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	71	nC	$I_D = 16A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 80V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	$V_{DD} = 50V$
$t_r$	Rise Time	—	35	—		$I_D = 16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—		$R_G = 5.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	35	—		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1960	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	250	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—		$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	700 ⑤	185 ⑥		mJ

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	110		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 16A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 1.5\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 16A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 16A$ ,  $di/dt \leq 340A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

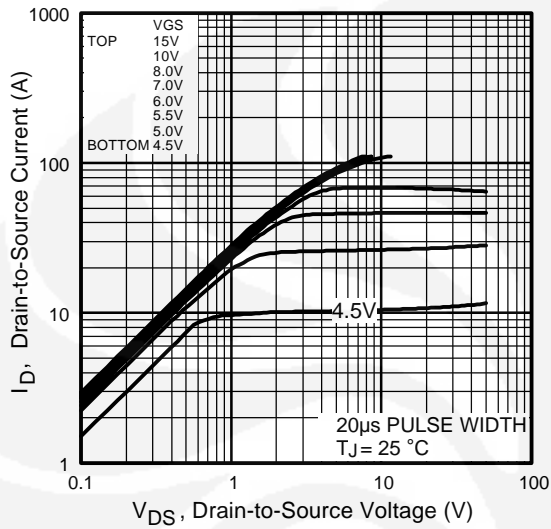


Fig 1. Typical Output Characteristics

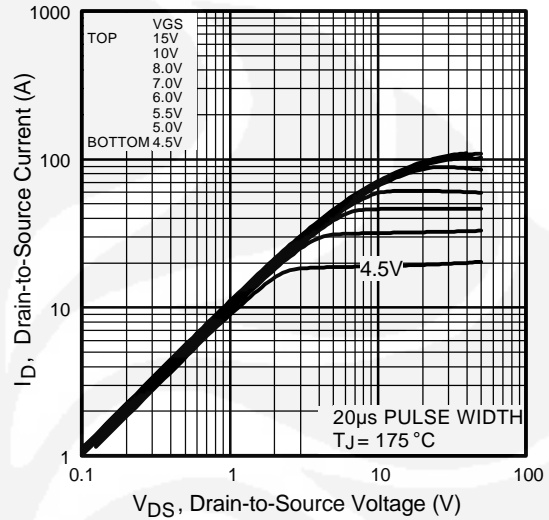


Fig 2. Typical Output Characteristics

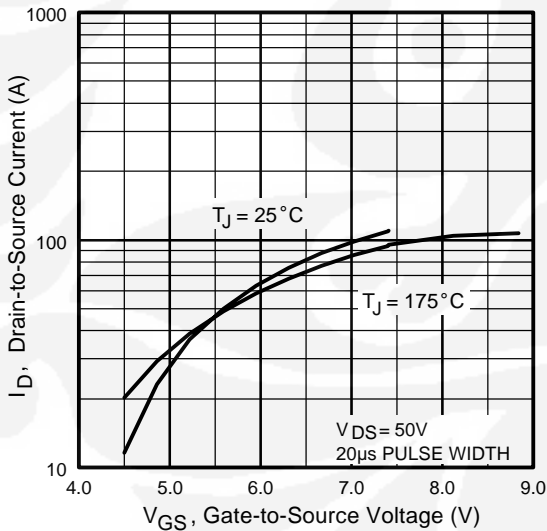


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

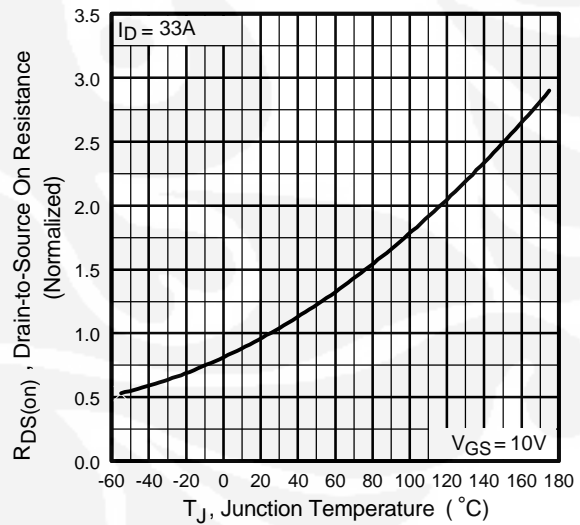
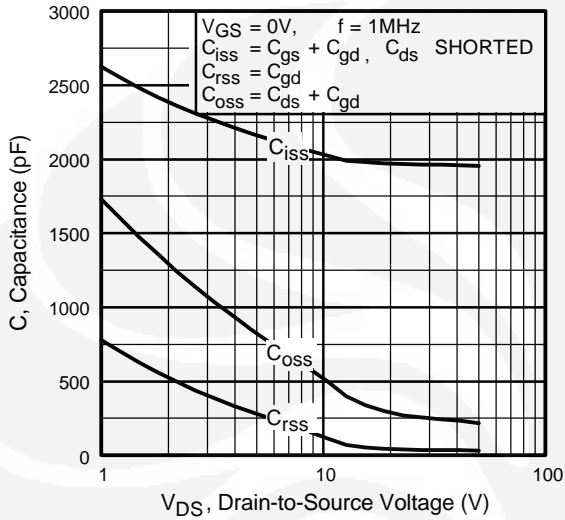


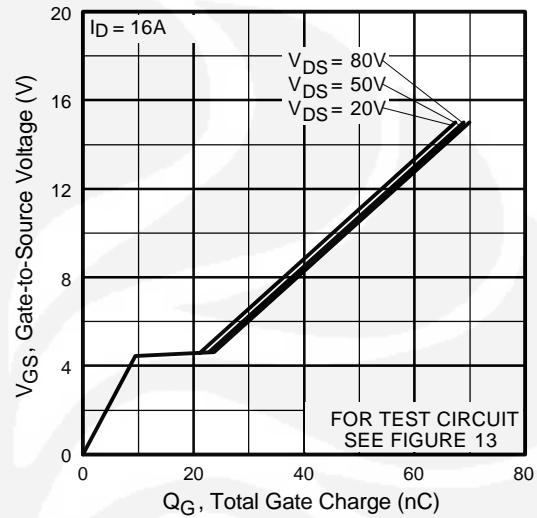
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature



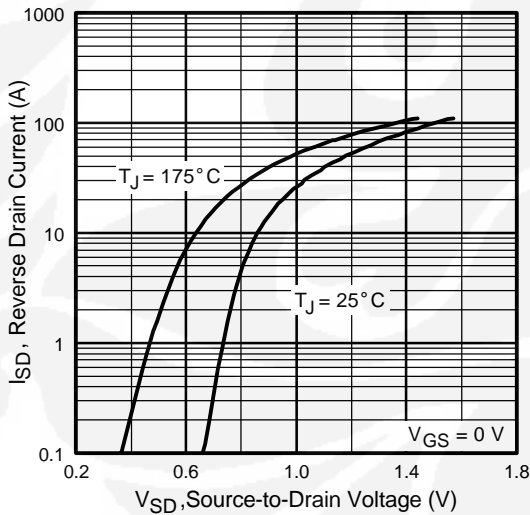
# IRF540N



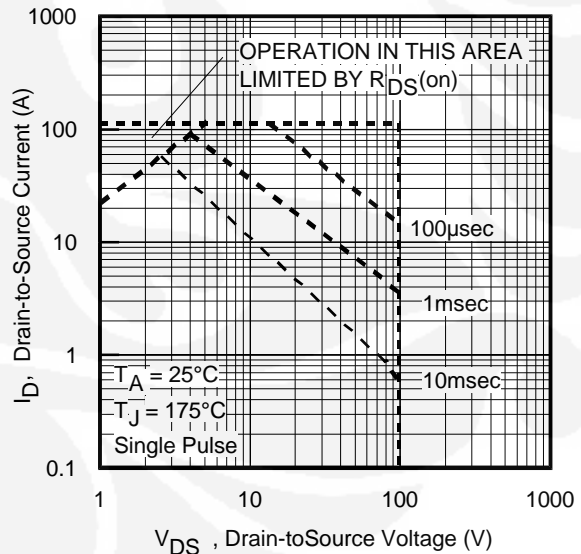
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area

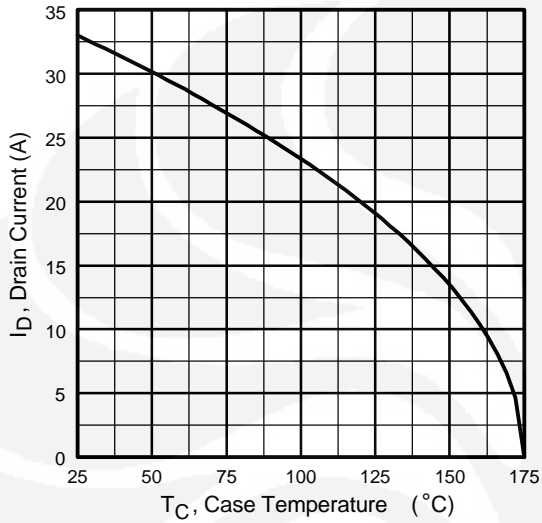


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

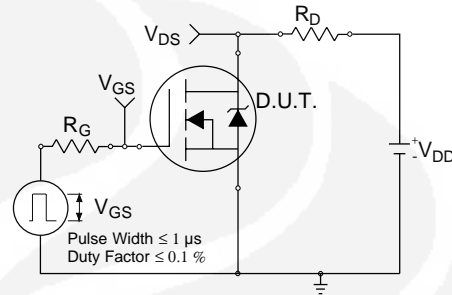


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

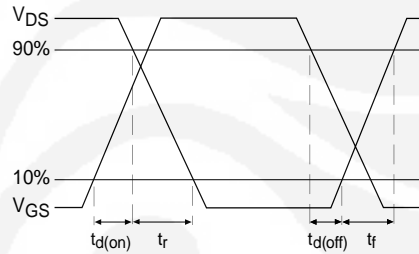


Fig 10b. Switching Time Waveforms

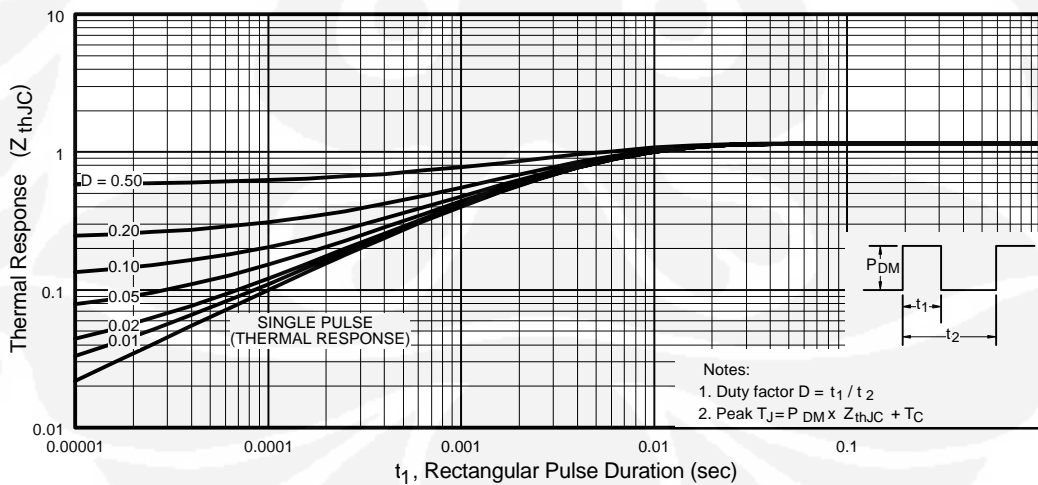
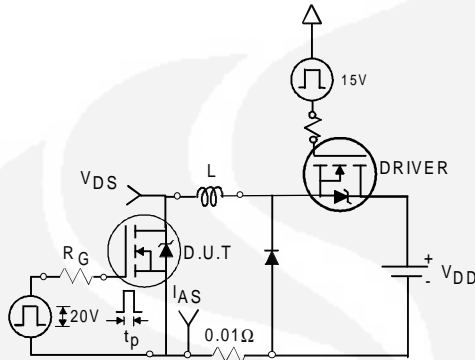


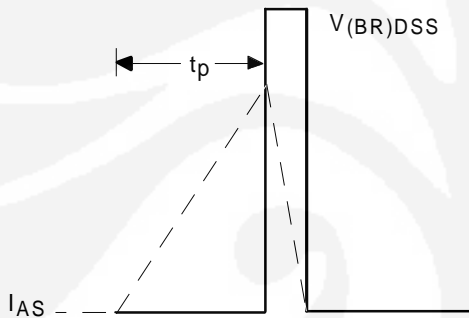
Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

# IRF540N

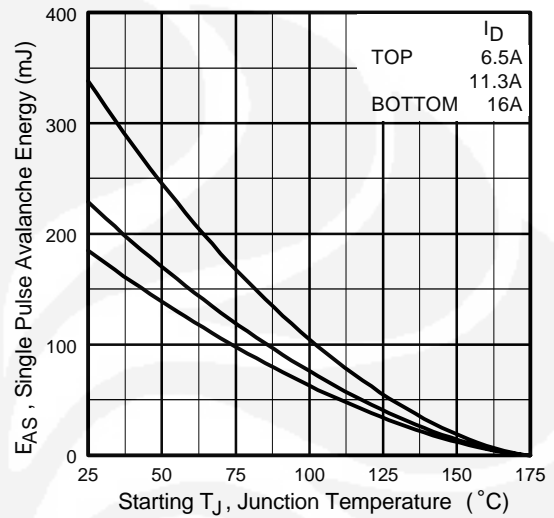
International  
**IRF** Rectifier



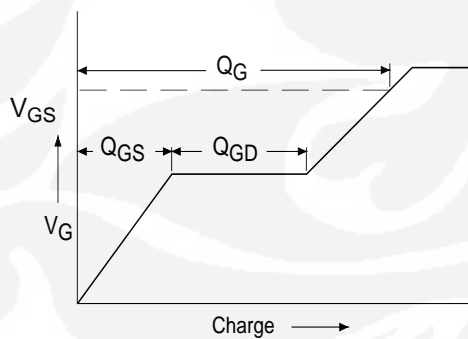
**Fig 12a.** Unclamped Inductive Test Circuit



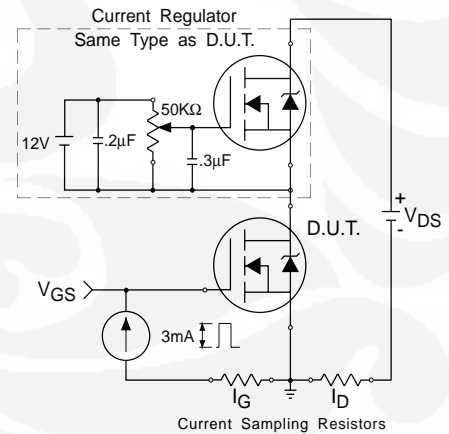
**Fig 12b.** Unclamped Inductive Waveforms



**Fig 12c.** Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

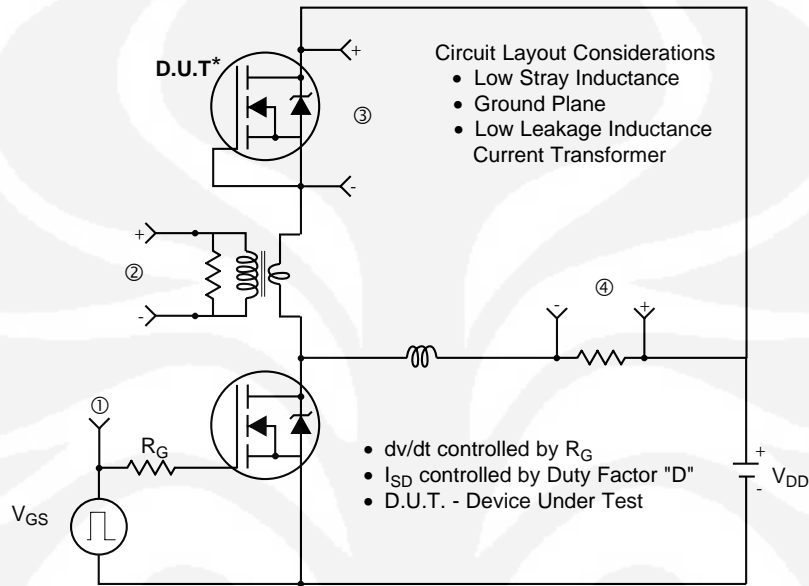


**Fig 13a.** Basic Gate Charge Waveform

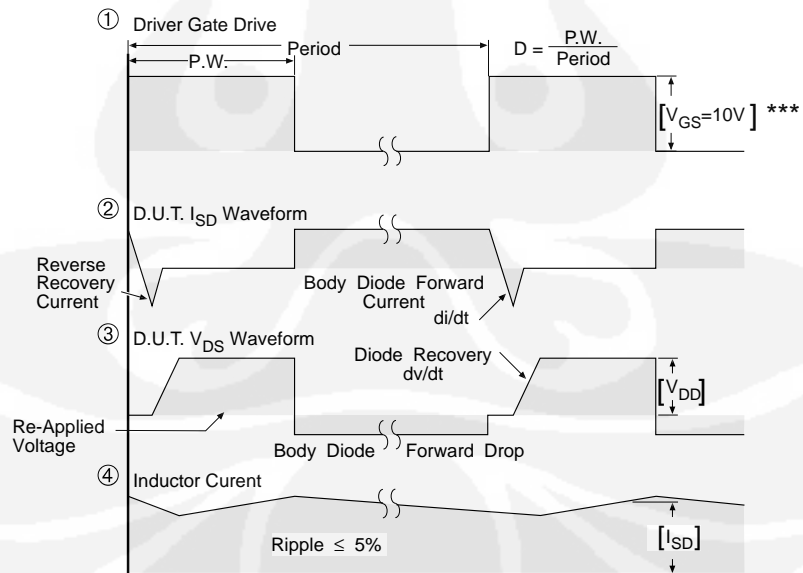


**Fig 13b.** Gate Charge Test Circuit

**Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit**



\* Reverse Polarity of D.U.T for P-Channel



\*\*\*  $V_{GS} = 5.0V$  for Logic Level and 3V Drive Devices

**Fig 14.** For N-channel HEXFET® power MOSFETs

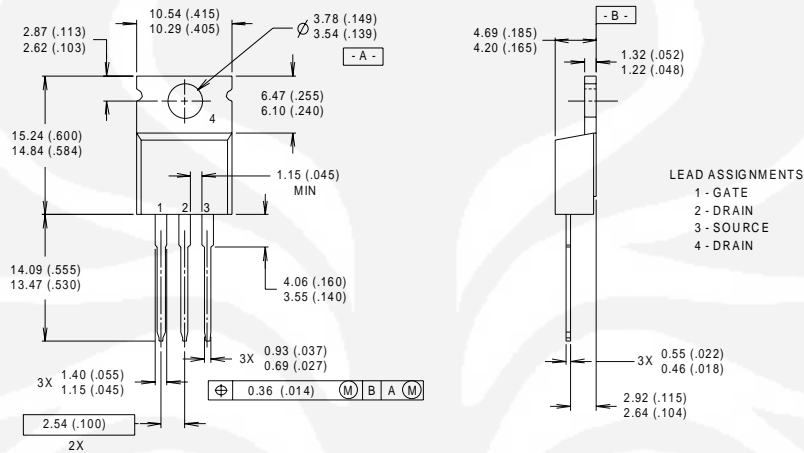
# IRF540N

International  
**IR** Rectifier

## Package Outline

### TO-220AB

Dimensions are shown in millimeters (inches)



**NOTES:**

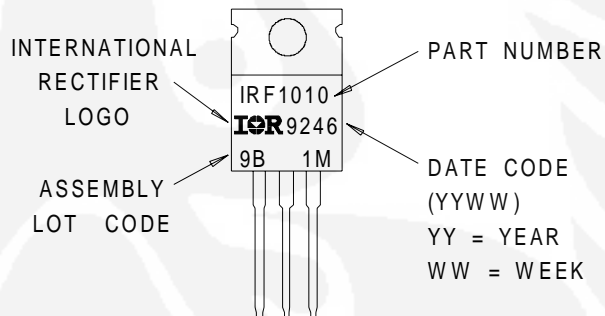
- 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSII Y14.5M, 1982.
- 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH

- 3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
- 4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

## Part Marking Information

### TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010  
WITH ASSEMBLY  
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.  
This product has been designed and qualified for the industrial market.  
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International  
**IR** Rectifier

**IR WORLD HEADQUARTERS:** 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
TAC Fax: (310) 252-7903

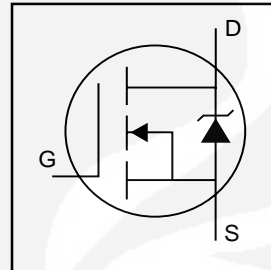
Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.03/01

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

# IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

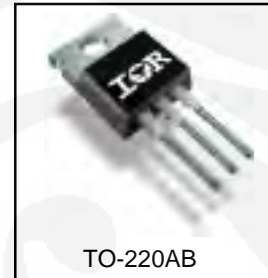


$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$
$I_D = 110A^{\textcircled{5}}$

## Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



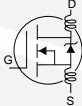
## Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 <sup>⑤</sup>	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current <sup>①</sup>	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current <sup>①</sup>	62	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy <sup>①</sup>	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt <sup>③</sup>	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

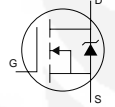
## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	V <sub>GS</sub> = 0V, I <sub>D</sub> = 250μA
ΔV <sub>(BR)DSS/ΔT<sub>J</sub></sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> = 1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	mΩ	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 62A ④
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	44	—	—	S	V <sub>DS</sub> = 25V, I <sub>D</sub> = 62A④
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> = 55V, V <sub>GS</sub> = 0V
		—	—	250		V <sub>DS</sub> = 44V, V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>J</sub> = 150°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V <sub>GS</sub> = -20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	146	nC	I <sub>D</sub> = 62A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	35		V <sub>DS</sub> = 44V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		V <sub>GS</sub> = 10V, See Fig. 6 and 13
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	V <sub>DD</sub> = 28V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	101	—		I <sub>D</sub> = 62A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	50	—		R <sub>G</sub> = 4.5Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	65	—		V <sub>GS</sub> = 10V, See Fig. 10 ④
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	3247	—	pF	V <sub>GS</sub> = 0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	781	—		V <sub>DS</sub> = 25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E <sub>AS</sub>	Single Pulse Avalanche Energy②	—	1050⑥	264⑦	mJ	I <sub>AS</sub> = 62A, L = 138μH

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	390		
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 62A, V <sub>GS</sub> = 0V ④
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>F</sub> = 62A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	di/dt = 100A/μs ④
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

### Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting T<sub>J</sub> = 25°C, L = 138μH  
R<sub>G</sub> = 25Ω, I<sub>AS</sub> = 62A. (See Figure 12)
- ③ I<sub>SD</sub> ≤ 62A, di/dt ≤ 207A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>(BR)DSS</sub>,  
T<sub>J</sub> ≤ 175°C
- ④ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.
- ⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.
- ⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑦ This is a calculated value limited to T<sub>J</sub> = 175°C.

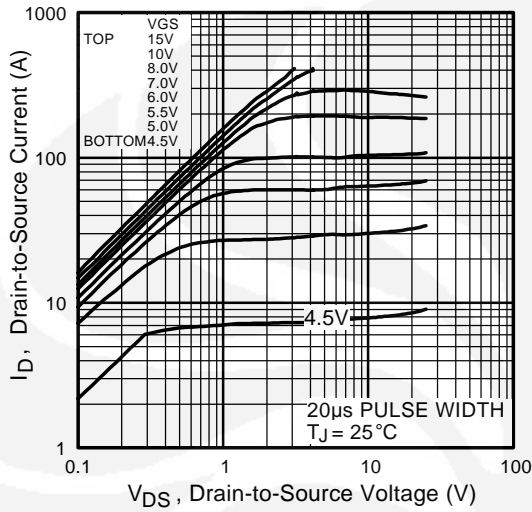


Fig 1. Typical Output Characteristics

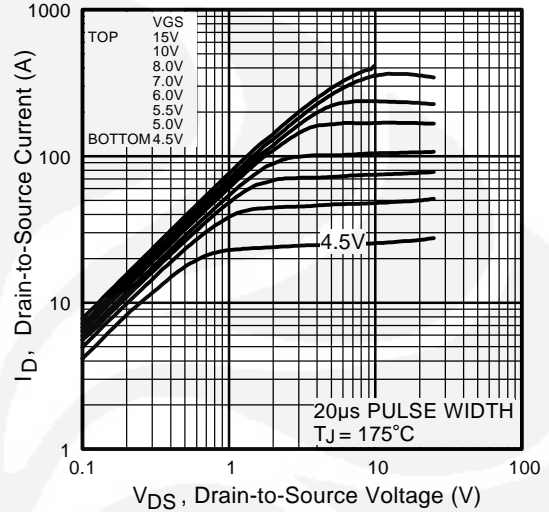


Fig 2. Typical Output Characteristics

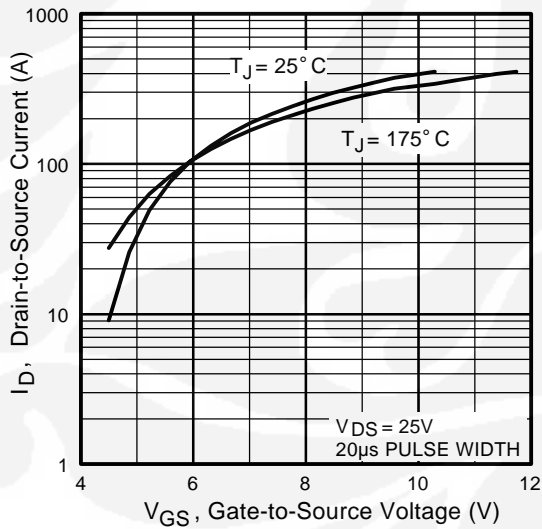


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

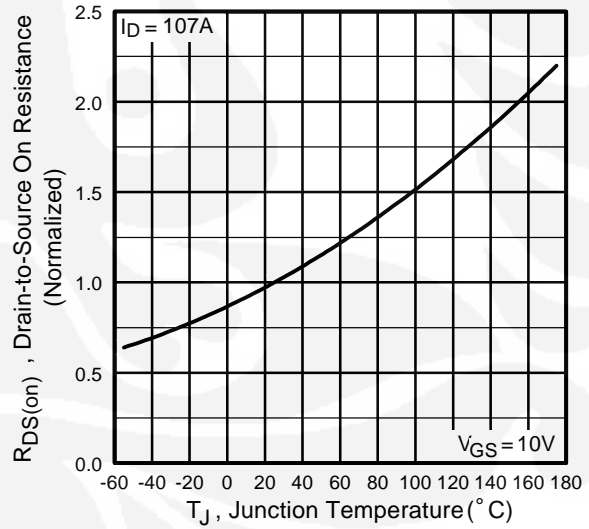
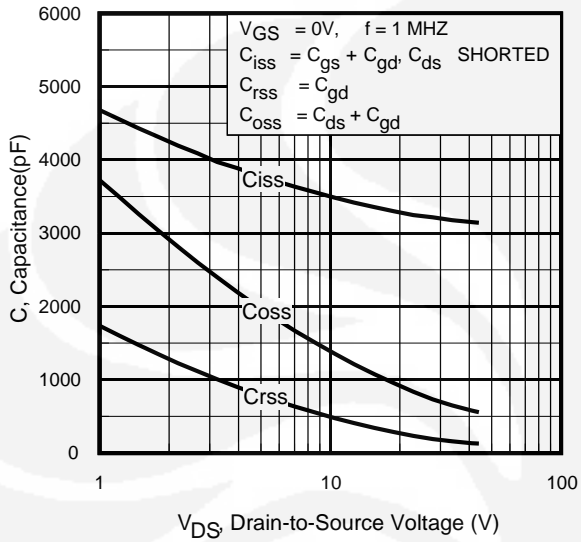
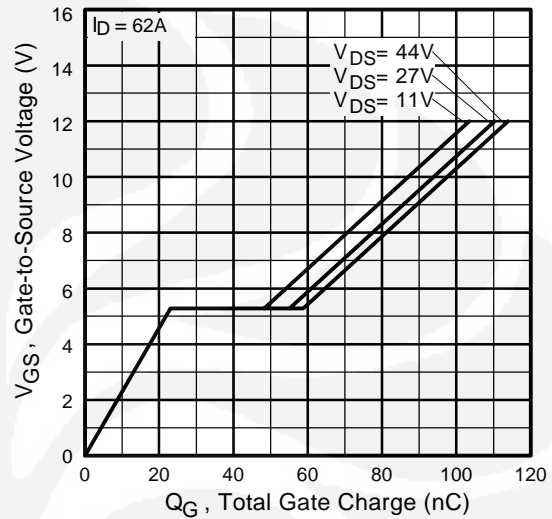


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

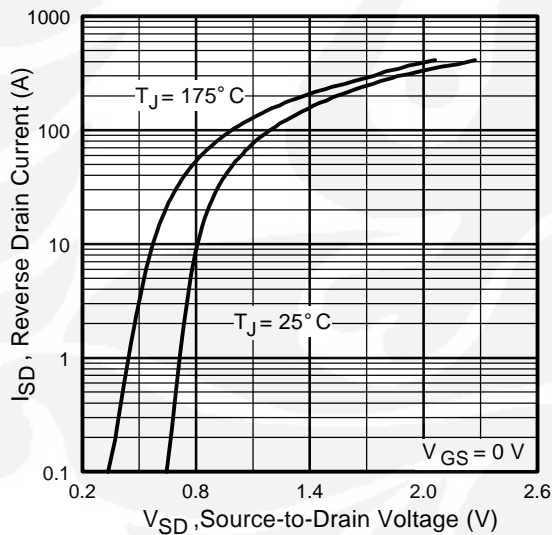




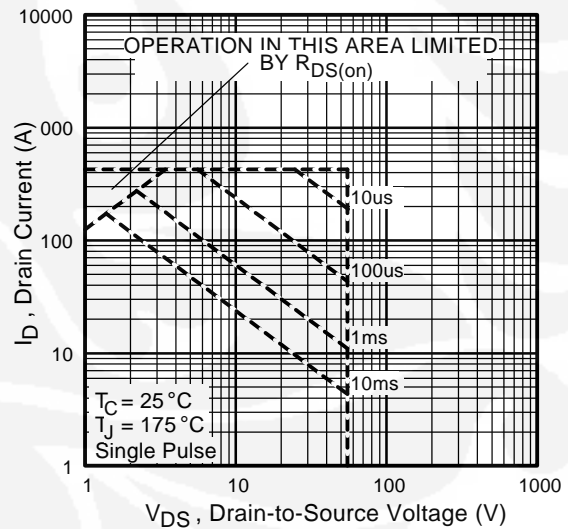
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



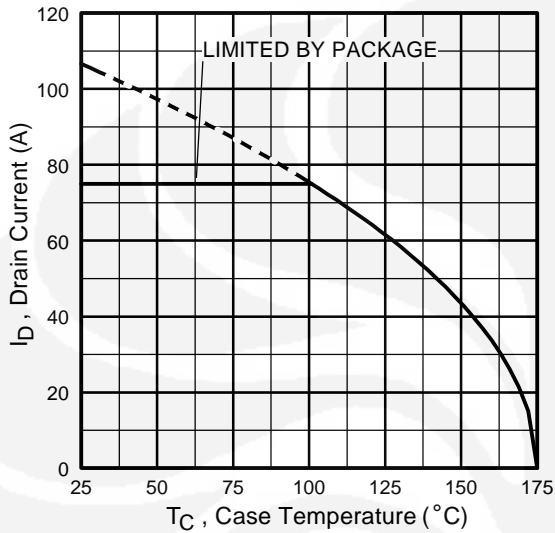
**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



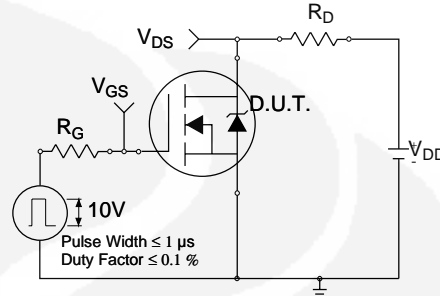
**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



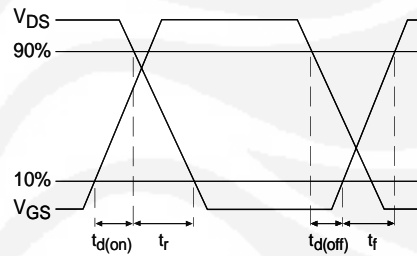
**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area



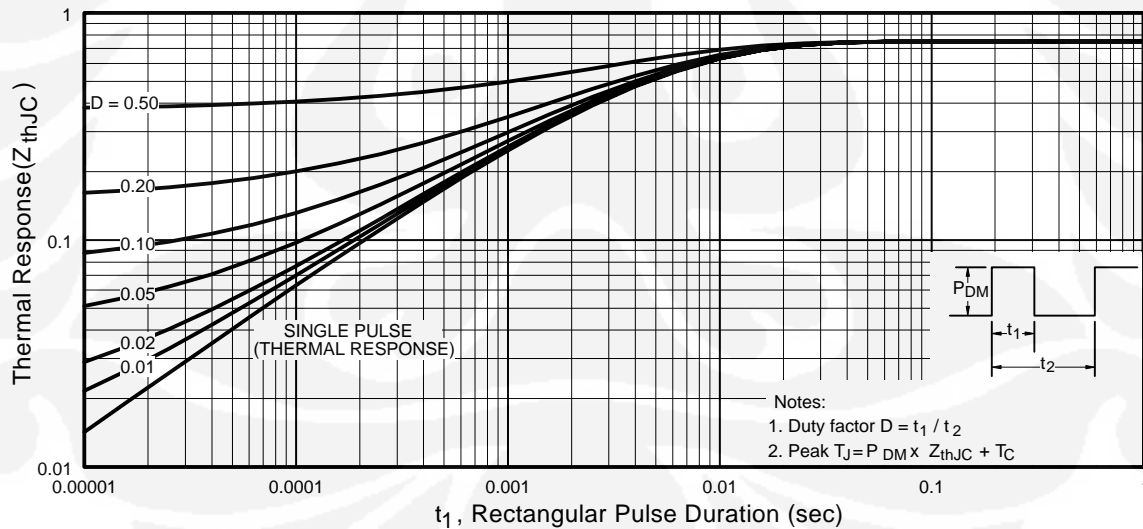
**Fig 9.** Maximum Drain Current Vs. Case Temperature



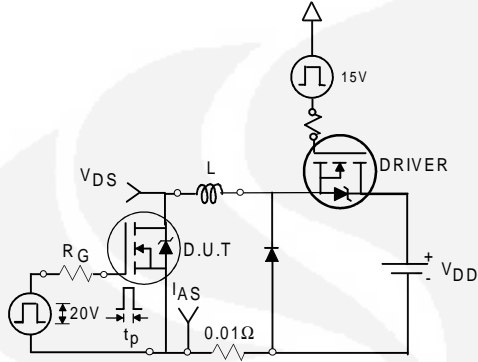
**Fig 10a.** Switching Time Test Circuit



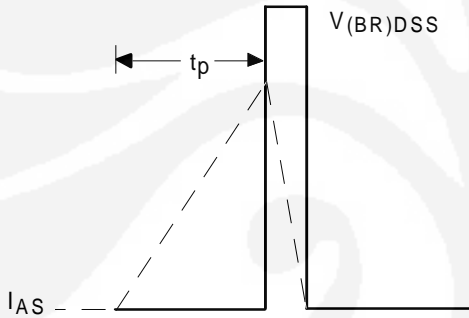
**Fig 10b.** Switching Time Waveforms



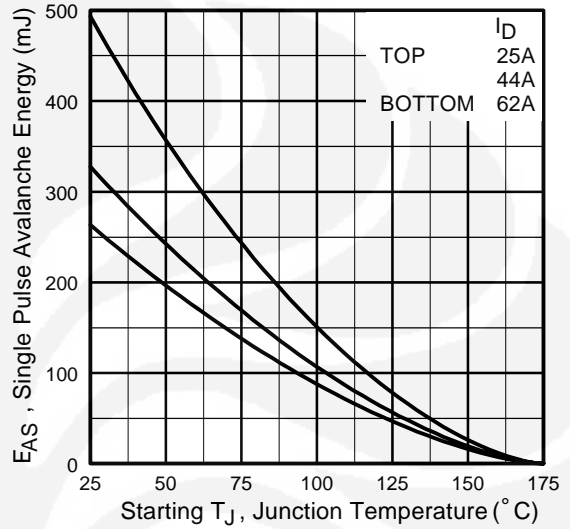
**Fig 11.** Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case



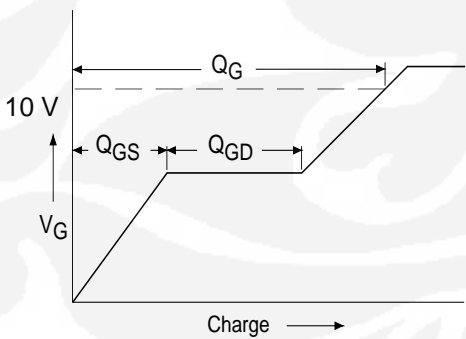
**Fig 12a.** Unclamped Inductive Test Circuit



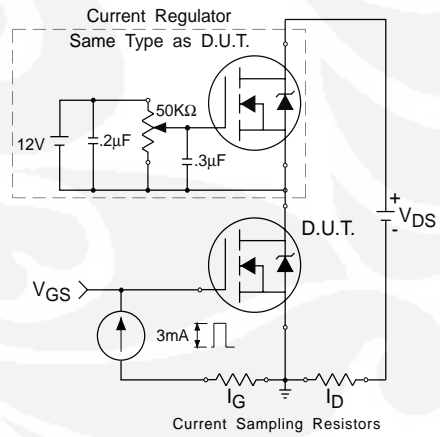
**Fig 12b.** Unclamped Inductive Waveforms



**Fig 12c.** Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

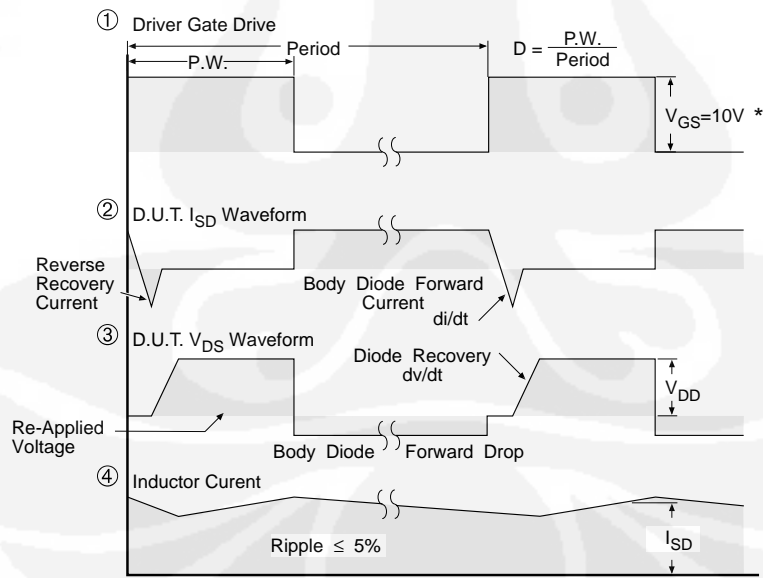
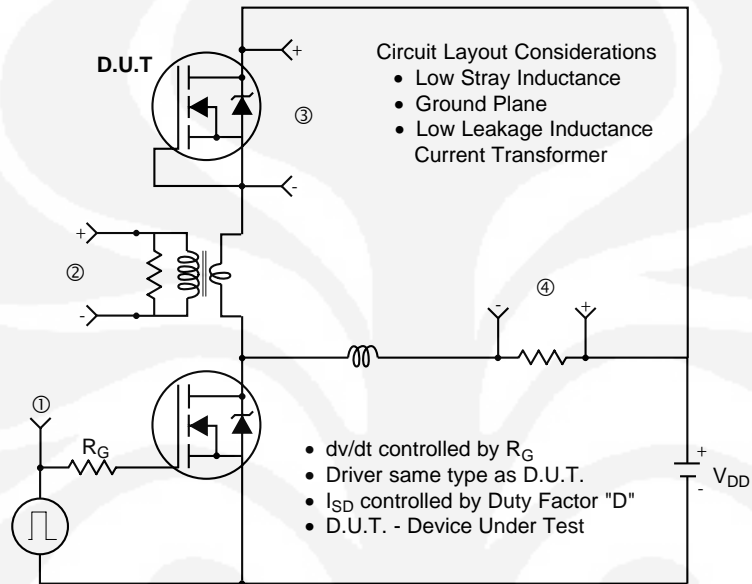


**Fig 13a.** Basic Gate Charge Waveform



**Fig 13b.** Gate Charge Test Circuit

**Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit**



\*  $V_{GS} = 5V$  for Logic Level Devices

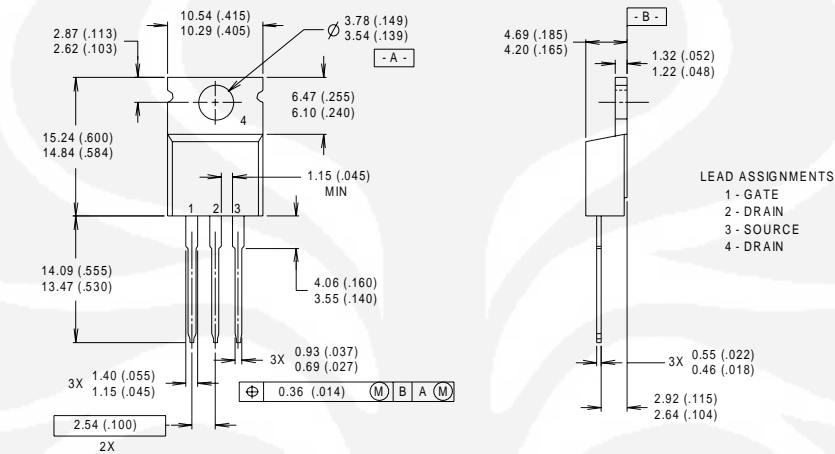
**Fig 14.** For N-Channel HEXFETS

# IRF3205

## Package Outline

### TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

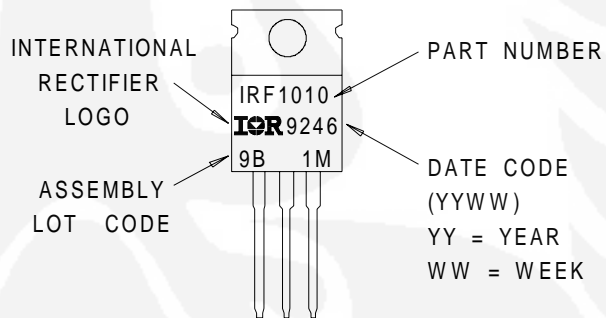


- NOTES:  
 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSII Y14.5M, 1982.  
 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH  
 3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.  
 4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

## Part Marking Information

### TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010  
 WITH ASSEMBLY  
 LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.  
 This product has been designed and qualified for the automotive [Q101] market.  
 Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International  
**IOR** Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
 TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.01/01

This datasheet has been download from:

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

Datasheets for electronics components.

