



PROYEK AKHIR - VE180626

RANCANG BANGUN REM MAGNETIK PADA MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN ARDUINO

Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP 10311500010033

Dosen Pembimbing
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO OTOMASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



PROYEK AKHIR - VE180626

**RANCANG BANGUN REM MAGNETIK PADA MOTOR
BRUSHLESS DC DENGAN ARDUINO**

Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP 10311500010033

Dosen Pembimbing
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO OTOMASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT- VE180626

***CONSTRUCTION OF MAGNETIC BRAKE ON THE
BRUSHLESS DC MOTOR WITH ARDUINO***

Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP 10311500010033

Supervisor
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

*DEPARTEMENT OF ELECTRICAL AUTOMATION ENGINEERING
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019*



FINAL PROJECT- TE180626

***CONSTRUCTION OF MAGNETIC BRAKE ON THE
BRUSHLESS DC MOTOR WITH ARDUINO***

Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP 10311500010033

Supervisor
Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.

***DEPARTEMENT OF ELECTRICAL AUTOMATION ENGINEERING
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019***

PERNYATAAN KEASLIAN PROYEK AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Proyek Akhir saya dengan judul “**Rancang Bangun Rem Magnetik pada Motor *Brushless* DC dengan Arduino**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Januari 2019

Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP 10311500010033

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

**RANCANG BANGUN REM MAGNETIK PADA MOTOR
BRUSHLESS DC DENGAN ARDUINO**

PROYEK AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Pada

Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing



Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.
NIP. 19621005 199003 1 003

SURABAYA
JANUARI, 2019

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

RANCANG BANGUN REM MAGNETIK PADA MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN ARDUINO

Nama Mahasiswa : Moh. Abiy Faruq Al Haidar
NRP : 10311500010033
Dosen Pembimbing : Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.
NIP : 19621005 199003 1 003

ABSTRAK

Motor *brushless* DC memiliki kecepatan yang tinggi dan kecepatan dari motor *brushless* DC dipengaruhi oleh *input* tegangan dari ESC. Dalam proses pembelajaran, untuk mengetahui karakteristik dari motor *brushless* DC diperlukan beban berupa rem magnetik. Untuk mengontrol rem magnetik pada motor *brushless* DC diperlukan pula sebuah *driver*.

Rem magnetik yang dibuat dari piringan logam *non-feromagnetik*, piringan tersebut diapit oleh kumparan yang dialiri arus listrik, arus dalam kumparan dikontrol melalui *driver* rem magnetik yang disambungkan arduino dan dikendalikan melalui program.

Hasil proyek akhir berupa pengaturan beban rem magnetik pada modul motor *brushless* DC ketika motor bekerja pada kecepatan maksimal 3000 RPM, dan rem magnetik yang diberikan pada motor maksimal 3 Ampere.

Kata Kunci : Motor *Brushless* DC, dan Rem Magnetik.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

CONSTRUCTION OF MAGNETIC BRAKE ON THE BRUSHLESS DC MOTOR WITH ARDUINO

Student's Name : Moh. Abiy Faruq Al Haidar
Registration Number : 10311500010033
Supervisor : Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng.
ID : 19621005 199003 1 003

ABSTRACT

Brushless DC motors have high speed and speed from DC brushless motors affected by input voltage from ESC. In the learning process, to find out the characteristics of a DC brushless motor, we need a load of magnetic brakes. To control the magnetic brake on a DC brushless motor a driver is also needed.

Magnetic brakes are made from non-ferromagnetic metal plates, these plates are flanked by coils which are electrified, the current in the coil is controlled through a magnetic brake driver that is connected to the Arduino and controlled through the program.

The final project results in the form of magnetic brake load regulation on brushless DC motor modules when the motor is working at a maximum speed of 3000 RPM, and magnetic brakes are given to a maximum motor of 3 Amperes.

Keywords : ***Brushless DC Motor, and Magnetic Brake.***

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini dengan judul :

“RANCANG BANGUN REM MAGNETIK PADA MOTOR *BRUSHLESS* DC DENGAN ARDUINO”

Proyek Akhir ini merupakan sebagian syarat untuk menyelesaikan mata kuliah dan memperoleh nilai pada Proyek Akhir.

Dengan selesainya Proyek Akhir ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang Tua atas limpahan doa, kasih sayang, dukungan dan dorongan baik berupa moril atau materil bagi penulis.
2. Bapak Ir. Joko Susila, MT. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Otomasi , FV-ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng selaku Dosen Pembimbing.
4. Bapak Ir. Arif Mustofa, M.T., bapak Fauzi Imaduddin Adhim, S.ST., M.T., ibu Fivitria Istiqomah, S.ST., M.T., M.Sc., dan ibu Enny Indasyah, S.ST., M.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji.
5. Seluruh staf pengajar dan administrasi Departemen Teknik Elektro Otomasi , FV-ITS.
6. Seluruh Mahasiswa Departemen Teknik Elektro Otomasi khususnya angkatan 2015.
7. Semua pihak yang telah banyak membantu untuk menyelesaikan Proyek Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Proyek Akhir ini. Kritik dan saran untuk perbaikan tugas ini sangat diperlukan. Akhir kata semoga tugas ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 20 Januari 2019

Penulis

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Sistematika Penulisan	2
1.5 Relevansi	2
BAB II TEORI PENUNJANG	3
2.1 Motor <i>Brushless</i> DC	3
2.1.1 Cara Kerja Motor <i>Brushless</i> DC	4
2.1.2 ESC (<i>Electronic Speed Controller</i>)	5
2.2 Sensor <i>Rotary Encoder</i>	6
2.3 Pengereman Magnetik	7
2.4 Mikrokontroler Arduino UNO	8
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	11
3.1 Blok Fungsional Sistem	11
3.2 Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	12
3.2.1 Perancangan Mekanik	12
3.2.1.1 Desain Alat Secara Keseluruhan	12
3.2.1.2 Motor <i>Brushless</i> DC	13
3.2.1.3 Rem Magnetik	13
3.3.2 Perancangan Elektrik	14
3.3.2.1 Rangkaian Sensor <i>Rotary Encoder</i>	14
3.3.2.2 Sensor <i>ACS712</i>	15
3.3.2.3 <i>Driver</i> Rem Magnetik	16
3.4 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	17
3.4.1 Pemrograman <i>Software</i> Arduino	17

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	19
4.1 Analisa Program Arduino	19
4.2 Pengujian Sensor Arus ACS712	22
4.3 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 1000 RPM	24
4.4 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 1500 RPM	25
4.5 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 2000 RPM	26
4.6 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 2500 RPM	27
4.7 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 3000 RPM	29
 BAB V PENUTUP	 31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
 DAFTAR PUSTAKA.....	 33
LAMPIRAN A LISTING PROGRAM.....	A-1
LAMPIRAN B DATASHEET	B-1
LAMPIRAN C DOKUMENTASI.....	C-1
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Salah Satu Contoh BLDC.....	3
Gambar 2.2	Skema Kerja Motor BLDC.....	4
Gambar 2.3	ESC.....	5
Gambar 2.4	Sinyal <i>Output</i> ESC Ketika <i>Duty Cycle</i> 50%.....	5
Gambar 2.5	Sinyal <i>Output</i> ESC Ketika <i>Duty Cycle</i> 75%.....	6
Gambar 2.6	Sinyal <i>Output</i> ESC Ketika <i>Duty Cycle</i> 99%.....	6
Gambar 2.7	<i>Rotary Encoder</i>	7
Gambar 2.8	Garis Medan Magnet Di Dalam <i>Solenoida</i>	8
Gambar 2.9	Gaya Pengereman Yang Dihasilkan Oleh Arus Melingkar Eddy.....	8
Gambar 2.10	Arduino Uno R3.....	9
Gambar 2.11	<i>Setting Serial Port</i>	10
Gambar 3.1	Blok Diagram Perancangan.....	12
Gambar 3.2	Desain Pengaturan Beban Rem Magnetik Pada Modul Motor <i>Brushless</i> DC.....	12
Gambar 3.3	Konfigurasi Rem Magnetik.....	13
Gambar 3.4	Sensor <i>Rotary Encoder</i>	15
Gambar 3.5	Sensor Arus <i>ACS712</i>	16
Gambar 3.6	Skematik <i>Driver</i> Rem Magnetik.....	16
Gambar 3.7	<i>Flowchart</i> Arduino UNO.....	18
Gambar 4.1	Realisasi Plant Rem Magnetik.....	19
Gambar 4.2	Potongan Program Inisialisasi.....	20
Gambar 4.3	Potongan Program Sensor Kecepatan.....	21
Gambar 4.4	Potongan Program Sensor Arus.....	21
Gambar 4.5	Potongan Program Rem Magnetik.....	21
Gambar 4.6	Pengujian Sensor.....	22
Gambar 4.6	Perbandingan Sensor <i>ACS712</i> dan <i>Amperemeter</i>	23

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Motor <i>Brushless</i> DC Tipe <i>Outrunner</i> RCTimer BL2830-11 1000KV	4
Tabel 2.2	Deskripsi Arduino UNO R3	8
Tabel 4.1	Kalibrasi Rem Magnetik dan Sensor Arus	23
Tabel 4.2	Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 1000 RPM	24
Tabel 4.3	Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 1500 RPM	25
Tabel 4.4	Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 2000 RPM	27
Tabel 4.5	Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 2500 RPM	28
Tabel 4.6	Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 3000 RPM	29

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan motor listrik dalam aplikasi sehari-hari semakin meningkat. Motor listrik banyak digunakan dalam berbagai peralatan seperti: *air conditioning*, *vacum cleaner*, *conveyor*, lemari pendingin, dan lain sebagainya. Dan motor listrik ini juga dipakai pada aplikasi mobil listrik. Motor *universal* dan motor DC banyak digunakan dalam aplikasi tersebut. Akan tetapi penggunaan motor DC konvensional menimbulkan masalah diakibatkan oleh penggunaan sikat. Penggantian sikat secara periodik untuk menjaga kinerja serta busur api adalah masalah yang umum disoroti pada motor DC. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dipilihlah *plant* motor *brushless* DC dimana motor tersebut memiliki kecepatan tinggi.

Untuk menguji karakteristik kecepatan motor biasanya digunakan beban yang mewakili kebutuhan aplikasi di industri. Agar beban tersebut dapat diatur sesuai yang diinginkan maka digunakanlah rem magnetik yang bisa dikendalikan. Penggunaan *arduino* memungkinkan untuk melakukan pengendalian ini.

Salah satu cara yang paling memungkinkan untuk melakukan kontrol beban (rem magnetik) yaitu dengan menggunakan *arduino* yang dikontrol dengan menggunakan suatu metode kontrol. Data yang dihasilkan kemudian ditampilkan pada perangkat komputer atau laptop. Hal ini bertujuan mempermudah pengguna mengetahui hasil pengamatan yang telah mereka lakukan.

1.2 Batasan Masalah

Batasan pada Proyek Akhir ini adalah tidak diperhatikannya arah putaran pada motor *brushless* DC.

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Merancang kontrol rem magnetik pada modul kontrol kecepatan motor *brushless* DC.
2. Dapat mengendalikan kekuatan rem magnetik pada modul kontrol kecepatan motor *brushless* DC

1.4 Sistematika Penulisan

Dari proses pembuatan alat proyek akhir ini dimulai dari studi literatur, menentukan gambar desain alat, membuat alat, membuat program, menguji alat secara keseluruhan, analisa data, serta dapat menyusun laporan akhir dengan sistematika penulisan yaitu pendahuluan, teori penunjang, perancangan alat, pengukuran dan analisa serta penutup.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang pembuatan alat, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan serta manfaat proyek akhir.

BAB II TEORI PENUNJANG

Meliputi pembahasan dan teori-teori penunjang yang digunakan dalam mendukung terselesaikannya proyek akhir. teori-teori yang dipakai dalam pembuatan proyek akhir ini antara lain : motor *brushless* DC, sensor *rotary encoder*, sensor *ACS712*, pengereman magnetik, arduino UNO, serta teori penunjang lainnya.

BAB III PERANCANGAN ALAT

Membahas tentang tahap-tahap perancangan mekanik dan perancangan sistem kontrolernya.

BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA

Membahas tentang pengukuran dan pengujian alat atau rangkaian yang digunakan pada proyek akhir ini.

BAB V PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan atas hasil yang diperoleh serta saran-saran atas kekurangan dan kelemahan proyek akhir ini.

1.5 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Rancang Bangun Rem Magnetik pada Motor *Brushless* DC dengan Arduino akan digunakan untuk kontrol rem magnetik pada modul kontrol kecepatan motor *brushless* DC.

BAB II

TEORI PENUNJANG

Sistem kendali atau sistem kontrol adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Banyak contoh dalam bidang industri/instrumentasi dan dalam kehidupan kita sehari-hari di mana sistem ini dipakai, salah satunya adalah sistem kendali/kontrol rem magnetik pada motor *brushless* DC.

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan peralatan yang akan dirancang. Teori yang mendukung penyelesaian proyek akhir ini diantaranya adalah mengenai : motor *brushless* DC, sensor *rotary encoder*, pengereman magnetik, dan Arduino Uno.

2.1 Motor *Brushless* DC [1]

Salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan akhir-akhir ini adalah motor *brushless* DC dimana motor DC ini tidak menggunakan *brush* (sikat) untuk proses komutasi. Motor *brushless* DC sangat cocok untuk diaplikasikan pada produk yang menuntut reliabilitas dan efisiensi yang tinggi. Secara umum, dapat dikatakan bahwa motor *brushless* DC dapat menghasilkan torsi yang besar dan mempunyai *range* RPM yang tinggi. Motor *brushless* DC merupakan salah satu jenis motor sinkron dimana medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Untuk lebih jelasnya mengenai motor ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.

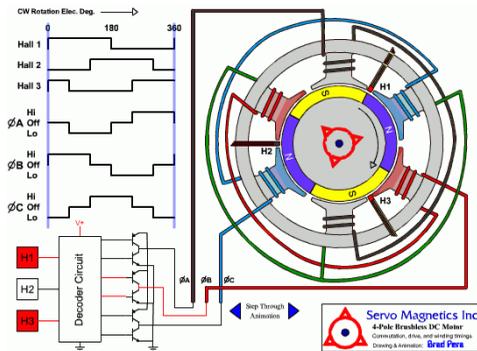


Gambar 2.1 Salah Satu Contoh BLDC [1]

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor *Brushless* DC Tipe *Outrunner* RCTimer BL2830-11 1000KV [2]

No.	Parameter	Nilai	
1.	Berat Motor	52 gram	
2.	KV	1000 rpm/Volt	
3.	Tegangan	Tegangan Minimal	7 Volt
		Tegangan Maksimal	15 Volt
4.	Input Arus	Arus Nominal	4 Ampere
		Arus Maksimal	14.5 Ampere
5.	<i>Maximal Power</i>	210 Watt	
6.	<i>Input Baterai</i>	Lithium Polimer 2S-4S	

2.1.1 Cara Kerja Motor *Brushless* DC [2]



Gambar 2.2 Skema Kerja Motor *Brushless* DC [2]

Cara kerja pada motor *brushless* DC cukup sederhana, yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh *Electronic Speed Controller* (ESC). Hal ini yang membedakan motor *bushless* DC dengan motor DC dimana motor DC menggunakan sikat mekanis yang berada pada komutator untuk mengatur waktu dan memberikan medan magnet pada lilitan. Motor *brushless* DC ini juga berbeda dengan motor AC yang pada umumnya menggunakan siklus tenaga sendiri untuk mengatur waktu dan memberi daya pada lilitan. Motor *brushless* DC dapat memberikan rasio daya dan beban yang lebih tinggi secara signifikan dan memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan motor tanpa sikat tradisional.

2.1.2 ESC (*Electronic Speed Controller*) [1]

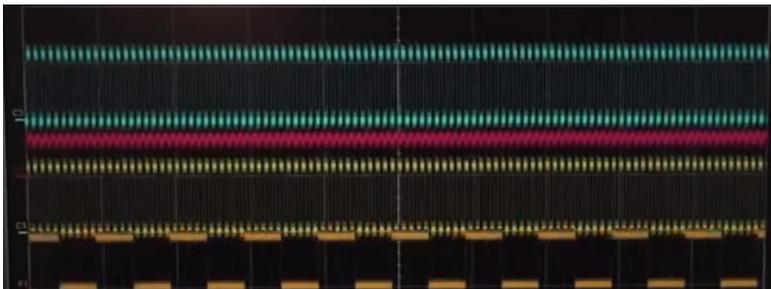


Gambar 2.3 ESC [1]

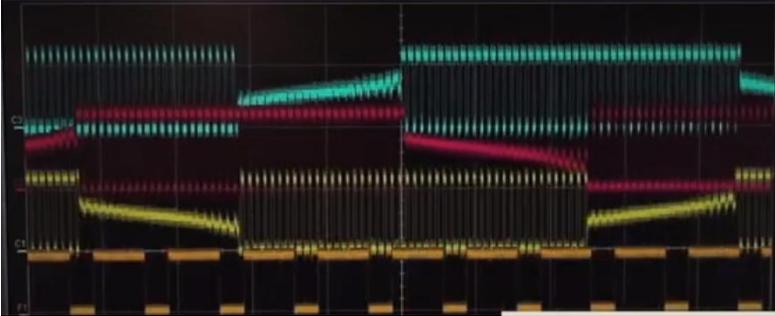
ESC merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran motor pada motor RC, cara kerjanya yaitu dengan cara menterjemahkan sinyal yang diterima *receiver* dari *transmitter*. Di pasaran terdapat berbagai merk ESC dengan kekuatan arus (*current rating*) dan kekuatan Voltase (*voltage rating*) serta *feature* yang ditawarkan.

Penjelasan yang cepat mengenai ESC adalah ESC harus secara akurat menghubungkan dan memutuskan koneksi antara 3 masukan *input* dan 3 belitan pada stator agar rotor dapat berputar.

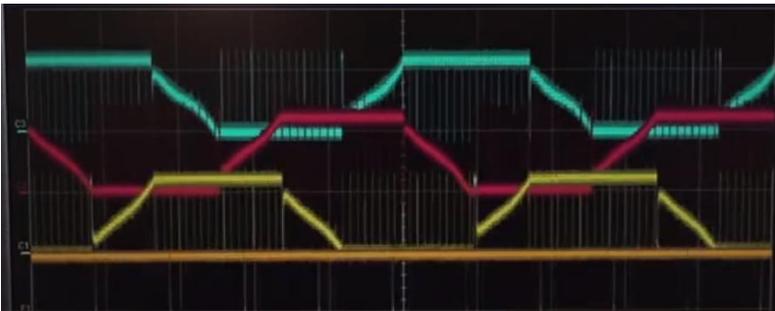
Untuk menentukan ESC yang akan kita gunakan sangatlah penting untuk mengetahui kekuatan (*peak current*) dari motor. Pilihlah ESC yang kekuatannya melebihi kekuatan motor. Misalnya, dari data kita dapatkan kekuatan motor adalah 12A (sesuai dengan *datasheet* motor) pada saat *throttle* terbuka penuh. Sebaiknya ESC yang akan kita gunakan adalah ESC yang berkekuatan 18A atau 20A. Jika kita paksakan menggunakan ESC 10A kemungkinan pada saat *throttle* dibuka penuh, ESC akan panas bahkan terbakar.



Gambar 2.4 Sinyal *Output* ESC Ketika *Duty Cycle* 50% [3]



Gambar 2.5 Sinyal *Output* ESC Ketika *Duty Cycle* 75% [3]



Gambar 2.6 Sinyal *Output* ESC Ketika *Duty Cycle* 99% [3]

Pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, dan Gambar 2.6 adalah gambar sinyal dari ESC. Sinyal warna biru, merah, dan kuning adalah sinyal *output* ESC. Sinyal warna oranye adalah sinyal *input* ESC. Terlihat perbedaan dari *Input* 50%, 75%, dan 99%, yaitu ketika input PWM dinaikkan maka sinyal *output* ESC semakin rapat, dan sebaliknya.

2.2 Sensor *Rotary Encoder* [1]

Rotary encoder adalah suatu komponen elektro mekanis yang memiliki fungsi untuk memonitoring posisi angular pada suatu poros yang berputar. Dari perputaran benda tersebut data yang termonitoring akan diubah ke dalam bentuk data digital oleh *rotary encoder* berupa lebar pulsa kemudian akan dihubungkan ke mikrokontroler.



Gambar 2.7 *Rotary Encoder* [1]

Konstruksi *rotary encoder* berupa piringan tipis yang biasanya di kopel dengan poros yang berputar. Piringan tipis tersebut terdapat lubang di sepanjang pinggir lingkarannya. Di bagian sisi-sisi piringan terdapat sebuah led dan *phototransistor* di bagian bersebrangan. Fungsi dari lubang-lubang yang berada di sepanjang pinggir lingkaran tersebut akan menghantarkan cahaya led ke *phototransistor*, sebaliknya jika cahaya led tidak menembus lubang piringan maka cahaya akan tertahan. Piringan tersebut akan berputar sesuai dengan kecepatan putaran motor sehingga *phototransistor* akan saturasi ketika cahaya led menembus lubang-lubangnya.

Pada saat saturasi *phototransistor* akan menghasilkan pulsa dengan *range* +0,5 V s/d +5 V. Semakin banyak lubang yang berada pada piringan tentu saja semakin banyak pulsa yang dihasilkan selama satu putaran, hal tersebut berbanding lurus dengan tingkat akurasi yang dihasilkan oleh *rotary encoder*.

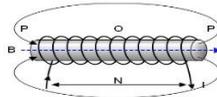
2.3 Pengereman Magnetik [2]

Rem adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan aksi deselerasi yang akan menurunkan kecepatan dalam selang waktu yang ditentukan. tipe rem yang umumnya digunakan adalah rem yang menggunakan gaya gesek untuk memberikan gaya lawan terhadap gaya gerak. Ada juga tipe rem lain yang tidak memanfaatkan gesekan dua permukaan untuk menghasilkan gaya lawan terhadap gaya penyebab gerak, yaitu rem yang menggunakan gaya magnet untuk menimbulkan gaya lawan. Rem ini disebut Rem Arus Eddy (Rem Magnetik).

Prinsip dasar rem magnetik ini menggunakan hukum Faraday dan hukum Lenz yang sudah terkenal di dunia elektromagnetik. Kedua hukum ini menimbulkan arus eddy yang melingkar dan menginduksi medan magnet yang melawan medan magnet penyebabnya. Hukum-hukum ini berlaku bila ada permukaan yang memotong medan magnet, dengan artian gaya lawan hanya dihasilkan apabila permukaan tersebut memiliki kecepatan. Semakin tinggi kecepatan maka gaya lawan yang

dihasilkan juga semakin besar. Namun semakin rendah kecepatan maka gaya lawan akan semakin kecil.

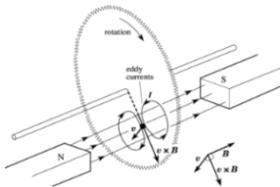
Komponen dasar rem magnetik adalah sumber magnet yang diposisikan diam dan konduktor diamagnetik (tidak memiliki sifat magnet tetapi memiliki sifat penghantar listrik) yang bergerak dan tergabung dengan sumbu (*shaft*). Penggunaan elektromagnet dapat memanfaatkan kawat yang dililitkan pada inti besi sehingga menghasilkan kutub utara dan kutub selatan magnet. Kumparan ini sering disebut *solenoida*. Garis medan magnet didalam *solenoida* ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Garis Medan Magnet Di Dalam Solenoida [2]

Dua buah *solenoida* yang berbeda kutub dipasangkan sehingga membentuk medan magnet. Konduktor disisipkan diantara kedua *solenoida* tersebut. Karena konduktor terhubung dengan shaft yang bergerak dengan kata lain memiliki kecepatan sehingga konduktor ini akan memotong medan magnet yang dihasilkan oleh kedua *solenoida* tersebut. Dapat disimpulkan bahwa, gaya gerak listrik (GGL) dapat ditimbulkan oleh adanya perubahan fluks magnet tiap detik.

Tanda negatif menunjukkan arah E yang selalu melawan penyebabnya.



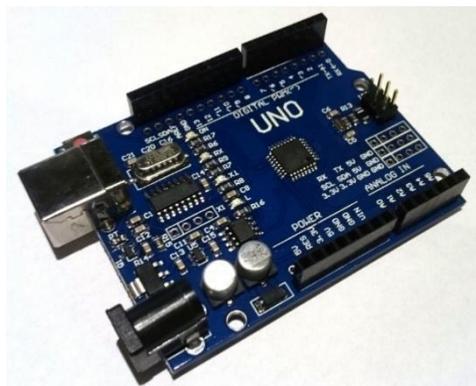
Gambar 2.9 Gaya Pengereman Yang Dihasilkan Oleh Arus Melingkar Eddy [2]

2.4 Mikrokontroler Arduino UNO R3 [2]

Arduino UNO R3 adalah *board* arduino yang merupakan perbaikan dari *board* arduino Uno sebelumnya. Arduino Uno memakai *chip* ATmega 328 Tabel 2.2 merupakan spesifikasi arduino UNO R3

Tabel 2.2 Deskripsi Arduino UNO R3 [2]

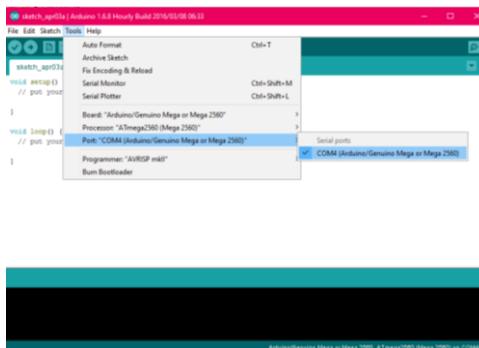
Mikrokontroler	ATmega 328
<i>Operating Voltage</i>	5 V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7 – 12 V
<i>Input Voltage (limit)</i>	6 – 20 V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (6 diantaranya <i>input</i> PWM)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3,3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>USB Host Chip</i>	MAX3421E
<i>Length</i>	101,52 mm
<i>Width</i>	53,3 mm
<i>Weight</i>	37 g



Gambar 2.10 Arduino Uno R3 [2]

Untuk memprogram arduino juga harus dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut :

1. **Setting Board Arduino.** Dalam pemrograman *software* arduino harus di *setting* terlebih dahulu *board* arduino agar penggunaan arduino cocok. Dalam purwarupa kali ini arduino menggunakan arduino Uno R3. Untuk *setting board* arduino bisa masuk ke *tools – board –* setelah itu pilihlah *board* arduino yang sesuai.
2. **Setting Serial.** *Serial* ini merupakan kabel arduino yang dihubungkan kepada komputer atau laptop. *Serial* ini mempunyai dua fungsi yang bisa digunakan. Pertama *serial port* digunakan untuk mendownload program dari arduino yang kedua *serial* digunakan sebagai komunikasi *serial* pada arduino dengan komputer. *Setting serial* bisa masuk *tools – serial -* lalu pilih COM yang sesuai dengan arduino yang terpasang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Setting Serial Port [2]

3. Apabila *program* tidak dapat di *download* karena *serial port*, maka cek terlebih dahulu *serial* yang benar pada *device manager*. Lalu dalam *software* arduino untuk memilih *serial port*nya samakan dengan *serial port* untuk arduino dalam *device manager* tersebut. Untuk masuk ke *device manager* dapat masuk start windows – lalu ketika *device manager* klik dua kali dan masuk ke dan COM.

BAB III

PERANCANGAN ALAT

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan alat yang meliputi perencanaan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Hal tersebut guna mewujudkan proyek akhir yang berjudul “Rancang Bangun Rem Magnetik pada Motor *Brushless* DC dengan Arduino”. Perancangan alat akan dibahas perbagian yang disertai dengan gambar skematik.

Untuk memudahkan dalam pembahasan bab ini akan dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Blok fungsional sistem
2. Perancangan perangkat keras yang terdiri dari perancangan mekanik dan elektrik, yaitu:
 - a. Perancangan mekanik meliputi :
 1. Desain Alat Secara Keseluruhan
 2. Motor *Brushless* DC
 3. Rem Magnetik
 - b. Perancangan elektrik meliputi :
 1. Sensor *Rotary Encoder*
 2. Sensor Arus *ACS712*
 3. *Driver* Rem Magnetik
3. Perancangan perangkat lunak yang terdiri dari :
 - a. Perancangan perangkat lunak dengan *software* Arduino yang menggunakan bahasa C sebagai bahasa pemrogramannya.

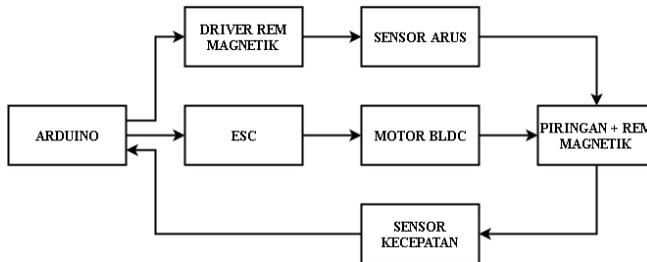
3.1 Blok Fungsional Sistem

Perancangan sistem dalam pembuatan alat ini secara garis besar disertai urutan dan cara kerja alat ini di ilustrasikan pada Gambar 3.1.

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa sistem tersebut terdiri dari beberapa blok fungsional yaitu;

1. Arduino Uno, merupakan mikrokontroler yang berfungsi sebagai *interface* dari perangkat elektronik dan dapat menyimpan program didalamnya.
2. *Driver*, berfungsi sebagai penggerak motor, rem dan sensor.
3. Motor *brushless* DC, digunakan sebagai objek yang akan dikontrol kecepatannya.
4. Rem magnetik, digunakan sebagai media pengereman dan juga sebagai rem bagi motor *brushless* DC.

5. Sensor kecepatan (*rotary encoder*), digunakan untuk mengetahui sampai seberapa kecepatan motor yang terjadi.
6. Sensor arus (*ACS712*), digunakan untuk mengetahui berapa arus yang digunakan pada rem magnetik.



Gambar 3.1 Blok Fungsional Perancangan

3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

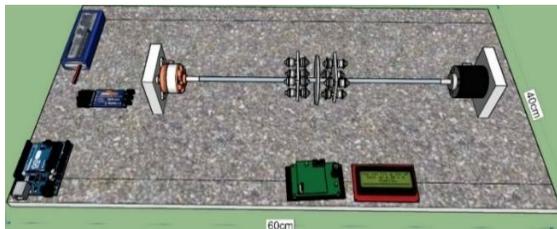
Pada perancangan perangkat keras ini, prosesnya dibagi menjadi 2 bagian, yaitu perancangan mekanik dan elektrik. Masing-masing perancangan tersebut selanjutnya akan dibahas lebih mendalam pada sub bab berikutnya.

3.2.1 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik ini terdiri dari desain alat secara keseluruhan, motor *brushless* DC, rem magnetik, *rotary encoder*, dan *driver* rem magnetik.

3.2.1.1 Desain Alat Secara Keseluruhan

Gambar 3.2 akan menyatakan bagaimana desain pengaturan beban rem magnetik pada modul motor *brushless* DC secara keseluruhan.

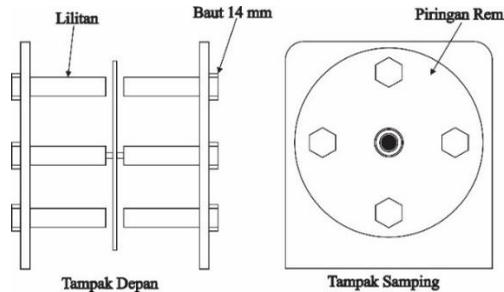


Gambar 3.2 Desain Pengaturan Beban Rem Magnetik Pada Modul Motor *Brushless* DC

3.2.1.2 Motor *Brushless* DC [1]

Salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan akhir-akhir ini adalah motor *brushless* DC dimana motor DC ini tidak menggunakan *brush* (sikat) untuk proses komutasi. Motor *brushless* DC sangat cocok untuk diaplikasikan pada produk yang menuntut reliabilitas dan efisiensi yang tinggi. Secara umum, dapat dikatakan bahwa motor *brushless* DC dapat menghasilkan torsi yang besar dan mempunyai *range* RPM yang tinggi. Motor *brushless* DC merupakan salah satu jenis motor sinkron dimana medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Untuk lebih jelasnya mengenai motor ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.

3.2.1.3 Rem Magnetik [2]



Gambar 3.3 Konfigurasi Rem Magnetik

Piringan aluminium dihubungkan dengan poros utama. Piringan ini diapit oleh dua penghasil medan magnet. Sisi penghasil medan magnet utara dan sisi penghasil medan magnet selatan. Saat poros utama berputar maka piringan aluminium akan ikut berputar. Pada saat kecepatan putar tinggi, medan magnet diberikan, sehingga akan menimbulkan arus eddy yang menimbulkan gaya lawan yang melawan arah putar piringan aluminium. Gaya lawan ini yang disebut sebagai beban, yang harus ditanggung motor *brushless* DC.

Pada Gambar 3.3 terdapat dua sisi penghasil medan magnet, pada sisi utara digunakan 4 buah kumparan yang bila dialiri arus listrik akan menimbulkan medan magnet. Begitu juga pada sisi penghasil medan magnet selatan yang menggunakan 4 buah kumparan. Jumlah lilitan tiap kumparan dihitung berdasarkan Persamaan 3.1.

$$N = \frac{44}{d} \times V = \frac{44}{1,4} \times 36 = 1131 \dots\dots\dots (3.1)$$

di mana :

- N : jumlah lilitan tiap sisi
- d : diameter kumparan (cm)
- V : tegangan *input* (Volt)

Karena tiap sisi rem terdapat 4 kumparan maka setiap kumparan memiliki 283 lilitan. Kemudian semua kumparan dihubungkan seri. Sumber tenaga yang digunakan untuk rem magnetik ini sudah terkonfigurasi sama dengan sumber yang digunakan pada motor *brushless* DC. Besar pengaturan tegangan yang masuk pada rangkaian rem magnet akan mempengaruhi banyak arus yang mengalir dan mempengaruhi besar medan magnet yang dihasilkan, yang berarti juga mempengaruhi gaya lawan yang dihasilkan.

3.3.2 Perancangan Elektrik

Perancangan elektronik ini meliputi desain layout PCB serta pengkabelan. Rangkaian elektrik pada *plant* ini meliputi rangkaian sensor *rotary encoder*, sensor arus *ACS712*, *driver* rem magnetik, dan Arduino Uno.

3.3.2.1 Sensor *Rotary Encoder*

Rotary encoder pada proyek akhir ini akan digunakan untuk menentukan banyaknya putaran poros tiap menit (RPM) yang kemudian akan menghasilkan gelombang kotak yang frekuensinya akan bertambah bila kecepatan putar poros bertambah. *Rotary encoder* ini diletakkan pada poros yang sudah dikopel dengan motor *brushless* DC.

Rotary encoder ini tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang yang terdapat pada piringan tersebut. Setelah itu akan ditempatkan LED pada salah satu sisi piringan. Hal ini akan membuat cahaya masuk menuju piringan.

Kemudian disisi lain dari piringan ini diletakkan *phototransistor* yang bertujuan untuk mendeteksi cahaya LED yang berseberangan. Piringan tipis ini yang nantinya akan dikopel dengan poros motor ataupun perangkat berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, hal ini akan membuat piringan berputar keika motor tersebut berputar. Apabila cahaya yang berasal dari LED mencapai *phototransistor*, maka *phototransistor* itu akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang pesergi.



Gambar 3.4 Sensor *Rotary Encoder* [7]

Pada Gambar 3.4 LED Inframerah kita gunakan untuk menembakkan cahaya sedangkan disisi kanan *light receive* dapat kita gunakan sensor cahaya seperti *photodiode* atau *phototransistor*.

Pada *transmitter* terdapat sebuah LED inframerah (IR LED) yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal kepada *receiver*. Cahaya yang dipancarkan oleh LED inframerah tidak terlihat oleh mata telanjang. Sedangkan pada *receiver* terdapat *phototransistor* (transistor yang peka terhadap perubahan cahaya). Untuk memicu *optocoupler* maka digunakan piringan hitam yang diberi celah di ujungnya dan di-*couple* dengan poros *generator*. Prinsip kerjanya ketika generator berputar maka piringan akan ikut berputar, kemudian *optocoupler* menyensor ujung piringan. Ketika ada celah melewati *optocoupler*, maka cahaya dipancarkan *transmitter* menuju *receiver*, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang nilainya mendekati VCC, begitu juga sebaliknya, jika tidak ada benda diantara celah sensornya maka akan menghasilkan tegangan keluaran yang nilainya mendekati 0 Volt. Tujuannya adalah mendapatkan frekuensi putaran dari *generator*.

3.3.2.2 Sensor Arus ACS712

ACS712 adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall effect allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan proteksi beban berlebih, bentuk fisik dari sensor arus *ACS712* dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.

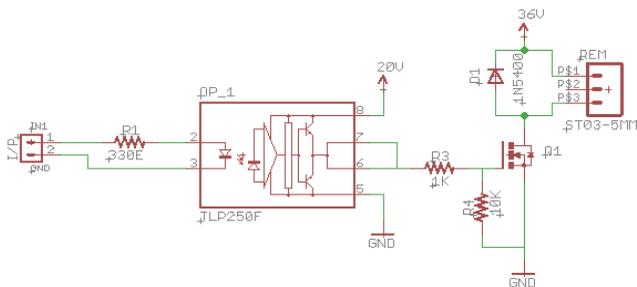


Gambar 3.5 Sensor Arus ACS712 [7]

Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset linear Hall* dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan *Bi CMOS Hall IC* didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.

3.3.2.3 Driver Rem Magnetik

Rangkaian *driver rem* pada alat ini menggunakan IRFP-460 *Power MOSFET*. IRFP-460 adalah transistor efek medan semikonduktor logam-oksida / MOSFET (*Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor*) tipe nMOS (*N-Channel*, kanal-N pada substrat-P) dengan *voltage rating* $V_{(BR)DSS} = 500$ Volt, resistansi statis yang rendah ($R_{DS(on)} < 0,27\Omega$), dan *drain current rating* sebesar $I_D = 18,4A$.



Gambar 3.6 Skematik *Driver Rem Magnetik*

3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Agar rem elektromagnetik dapat dikontrol dan hasil putaran dapat dilihat di LCD maka perlu dirancang di sebuah *software* yang mampu mengelola dan mengontrol data terhadap kinerja peralatan rem elektromagnetik. *Software* merupakan program berisi perintah-perintah yang dieksekusi oleh Arduino Uno sehingga sistem dapat bekerja sesuai dengan alur.

3.4.1 Pemrograman *Software* Arduino

Dalam perancangan program pada *software* arduino dengan fungsi terkait yang dibutuhkan diperlukan beberapa tahapan yang harus dilakukan terlebih dahulu. Tahapan tersebut adalah membuat algoritma dari alat yang sudah kita jalankan.

Pembuatan algoritma ini dilakukan setelah membuat *flowchart*, dari algoritma kita ini maka diharapkan alat yang akan dibuat ini dapat terlebih lebih sederhana. Setelah tahapan tersebut terselesaikan barulah kita memprogram fungsi terkait yang dikodingkan dalam bahasa C. Berikut ini algoritma program utama dari rem elektromagnetik:

1. Modul dapat dioperasikan setelah sistem terpasang dengan benar seperti motor *brushless* DC beserta rem magnetik, *driver* motor *brushless* DC, *driver* rem magnetik, catu daya dan *potensiometer*.
2. Modul dapat bekerja jika rangkaian kontrol sudah dijalankan dan sudah terpasang.
3. *Potensiometer* digunakan untuk mengatur *range* yang akan di suplai ke *driver* rem elektromagnetik yang berupa tegangan dan akan di ubah menjadi digital melalui ADC Arduino.
4. *Driver* rem elektromagnetik akan mengatur tegangan yang masuk ke rem magnetik yang berfungsi untuk memperlambat putaran motor

Pada Proyek Akhir ini *software* yang digunakan adalah program Arduino untuk membuat dan merencanakan program dalam bahasa C. Pemrograman *software* arduino dirancang dengan menggunakan *software* yang bernama Arduino IDE dengan menggunakan bahasa pemrograman C.

Arduino sangatlah berbeda sekali dengan mikrokontroler. Arduino merupakan sebuah *kit* mikrokontroler AVR yang dibuat dalam sebuah *board* (papan PCB). Dikembangkan di Italia sejak tahun 2005. Dalam 1 *board* sudah terdapat mikrokontroler lengkap dengan *pin/port* untuk koneksi serta sudah dilengkapi dengan *downloader*. Dalam segi

bahasa pemrograman, arduino memiliki bahasa pemrograman yang lebih mudah dan sederhana terutama bagi pemula.

Alasan bahasa pemrograman arduino lebih mudah dan sederhana adalah karena didalam arduino sudah terdapat beberapa *library* yang dapat digunakan untuk merancang pemrograman yang diinginkan. Pada Gambar 3.8 berikut menunjukkan *flowchart* yang digunakan pada Arduino Uno pada proyek akhir ini.



Gambar 3.8 *Flowchart* Arduino UNO

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Pada bab ini membahas tentang pengujian alat dan analisa data dari hasil rancangan alat yang telah dibuat. Pengujian alat ini ditujukan untuk memastikan agar peralatan dapat berfungsi dengan baik.

Pengujian dan analisa dari alat ini meliputi analisa program arduino, pengujian sensor ACS712, pengujian rem magnetik untuk pengereman motor *brushless* DC. Setelah melakukan beberapa pengujian tersebut, data yang diperoleh akan dianalisa untuk mengetahui proses kerja dari seluruh sistem alat yang dibuat.



Gambar 4.1 Realisasi Plant Rem Magnetik

4.1 Analisa Program Arduino

Program Arduino hanya berfungsi sebagai pengirim data dan penerima data dari komputer. Program Arduino yang dibuat kali ini memiliki memiliki 2 sistem utama yaitu inialisasi dan program utama. Gambar 4.1 merupakan program inialisasi yang dibuat.

Pada inialisasi terdapat beberapa hal yang dilakukan yaitu menyebutkan jenis-jenis *library* yang dipakai, menyebutkan variabel-variabel yang dipakai, menyebutkan nilai *baudrate*, dan yang terakhir menyebutkan *pin-pin* yang dipakai pada Arduino.

Pada Gambar 4.1 bahwa dibutuhkan *library* PWM *servo* dan *library* PWM untuk implementasi, *library* PWM *servo* ini berfungsi

untuk menjalankan motor sehingga motor hanya perlu dimasukkan nilai-nilai tertentu dan motor dapat langsung berputar sedangkan *library TimerOne* berfungsi sebagai *counter* untuk mengetahui berapa banyak pulsa yang dihasilkan dalam sekian waktu yang telah ditentukan.

```

void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  esc.attach(9);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(encoder_pin, INPUT);
  attachInterrupt(0, counter, FALLING);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pulses = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0;
}
#include <PWMServo.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <PWM.h>

int setpoint;
int incomingByte;
int val;           //(25% = 64; 50% = 127; 75% = 191; 100% = 255)
signed int motor1Speed;
int encoder_pin = 2;
unsigned int rpm;
volatile byte pulses;
volatile int rpmcount = 0;
unsigned long timeold;
unsigned int pulsesperturn = 1;
unsigned long duration;
unsigned long rpm2;
char disp2[1];
char disp3[1];

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,2,1,0,4,5,6,7);
PWMServo esc;

void counter()
{
  pulses++;
}

```

Gambar 4.2 Potongan Program Inisialisasi

Kemudian terdapat beberapa jenis variabel yang dipakai diantaranya *integer*, *float*, *unsigned long*, dan *unsigned int*. Dengan *baudrate* yang dipakai adalah bernilai 9600. Pada program utama Arduino akan terjadi program yang terus menerus dilakukan selama Arduino dalam kondisi menyala. Pada program utama terbagi menjadi 2 buah sistem, yang pertama merupakan program untuk membaca nilai kecepatan motor dalam satuan RPM, dan yang kedua adalah merupakan program untuk *driver* pada rem magnetik.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan program untuk membaca kecepatan motor *brushless* DC dalam satuan RPM. Kemudian pada Gambar 4.3 adalah program untuk membaca arus rem magnetik.

```
duration=pulseIn(encoder_pin, HIGH, 100000);
rpm2=(79550000/3)/duration;
if(rpm2>10000){
    rpm2=0;}

```

Gambar 4.3 Potongan Program Sensor Kecepatan

```
float average = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++) {
    average = average + (.0264 * analogRead(A2) -13.42);
    delay(1);
}

```

Gambar 4.4 Potongan Program Sensor Arus

Pada program sensor kecepatan, program akan membaca berapa banyak jumlah pulsa yang dihasilkan dalam suatu waktu tertentu yang telah ditentukan. Kemudian jumlah pulsa ini akan dihitung dan hasilnya akan dikonversi menjadi dalam satuan RPM. Pada program sensor arus program akan membaca tegangan pada output sensor kemudian dikonversi dalam satuan Ampere. Setelah itu program akan menuliskan nilai kecepatan motor dan nilai arus pada tampilan LCD.

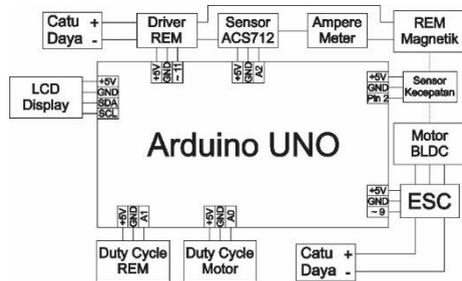
```
int sensorValue=analogRead(A1);
int rem=map(sensorValue,0,1023,0,255);
analogWrite(11,rem);
int percentrem=map(sensorValue,0,1023,0,100);

```

Gambar 4.5 Potongan Program Rem Magnetik

Kemudian pada Gambar 4.4 merupakan program untuk *driver* rem magnetik. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya rem magnetik ini dikendalikan kekuatannya dengan menggunakan sinyal PWM.

4.2 Pengujian Sensor Arus ACS712



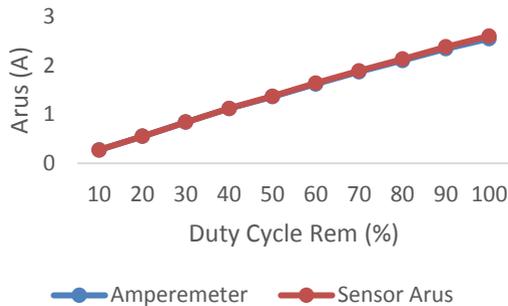
Gambar 4.6 Pengujian Sensor

Terdapat 2 pengujian. Yang pertama adalah linierisasi sensor dan yang kedua adalah kalibrasi sensor. Linierisasi sensor dilakukan untuk mengetahui kondisi sensor, apakah sensor dalam kondisi yang masih bagus atau sudah rusak. Sedangkan kalibrasi sensor dilakukan agar pembacaan arus dari sensor ACS712 akurat. Untuk pengujian linierisasi sensor, caranya yaitu menjalankan rem magnetik dengan mengatur *duty cycle* arduino, dari 0-5 Volt yang dikonversikan menjadi 0-100 persen dan ditampilkan pada LCD. Sensor ACS712 disambungkan secara seri dengan *Ampere meter* dan rem yang sudah terpasang. Kemudian hasil dari pembacaan sensor arus ACS712 dibandingkan dengan *Ampere meter*. Hal ini untuk mengetahui respon dan hasil pembacaan arus yang terbaca sensor ACS712 yang dipakai.

Tabel 4.1 menunjukkan perbedaan pembacaan arus dari *Ampere meter* dan sensor ACS712. Hal ini dilakukan untuk kalibrasi sensor ACS712. Caranya yaitu dengan mengatur rem magnetik dan disambungkan dengan sensor ACS712. Program dari pengujian ini menggunakan Arduino. Gambar pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6. Sedangkan hasil pengkalibrasian sensor ACS712 ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kalibrasi Rem Magnetik dan Sensor Arus

No	Duty Cycle Rem (%)	Amperemeter (A)	Tampilan Sensor ACS712 pada LCD
1	10	0,27	0,27
2	20	0,55	0,55
3	30	0,84	0,84
4	40	1,12	1,12
5	50	1,36	1,37
6	60	1,62	1,64
7	70	1,87	1,89
8	80	2,10	2,13
9	90	2,34	2,38
10	100	2,55	2,60
KORELASI			0,999968536



Gambar 4.7 Perbandingan Sensor ACS712 dan Amperemeter

Dari data Tabel 4.1 juga bisa dapat diperoleh nilai korelasi dari perhitungan antara Amperemeter dan sensor ACS712. Koefisien korelasi akan selalu berada dalam *range* -1 sampai dengan +1. Korelasi nilai negatif (-) adalah jika variabel X mengalami kenaikan dan variabel Y mengalami penurunan atau sebaliknya. Sedangkan korelasi nilai positif (+) adalah jika variabel X mengalami kenaikan maka variabel Y mengalami kenaikan atau jika variabel X mengalami penurunan maka variabel Y mengalami penurunan. Nilai koefisien yang diperoleh dari data Tabel 4.1 adalah 0,999968536, maka dapat disimpulkan bahwa sensor arus memiliki hubungan positif yang erat dengan arus yang ditampilkan pada Amperemeter.

Pada pengujian yang tertera pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa hasil pembacaan pada sensor ACS712 dan *Amperemeter* memiliki perbedaan hingga mencapai 0,9 A. Perbedaan arus ini semakin besar pada saat kecepatan tinggi. Hal ini disebabkan karena sensitivitas dari sensor ACS712 yang masih kurang sensitif.

4.3 Pengujian Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 1000 RPM

Pada Tabel 4.2 Pengujian rem magnetik diatur oleh *driver* rem magnetik dengan menggunakan potensiometer yang telah tersambung dengan arduino. Pengukuran rem magnetik dikonfigurasi dengan motor BLDC. Pengujian ini dilakukan ketika motor berada dalam kecepatan 1000 RPM. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *input* dari *potensiometer* rem yang nilainya di *mapping* dari 0% sampai 100% sesuai dengan Tabel 4.2. Maksud dari *mapping* 0% sampai 100% merupakan sinyal tegangan yang masuk pada pengatur *potensiometer* rem.

Dari Gambar 4.6 cara pengujiannya yaitu, *Duty cycle* motor BLDC yang telah tersambung dengan arduino dan diatur hingga motor BLDC berputar sehingga kecepatan dari motor BLDC 1000 RPM. *Duty cycle* rem diatur dari 10% - 100%. Kemudian catat arus dan kecepatan yang ditampilkan pada LCD setiap 10% menaikkan *duty cycle* rem magnetik.

Tabel 4.2 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 1000 RPM

No	Duty Cycle Rem (%)	Arus (Ampere)	Kecepatan (RPM)
1	10	0,51	965
2	20	0,83	911
3	30	1,12	840
4	40	1,43	804
5	50	1,71	711
6	60	1,97	686
7	70	2,23	671
8	80	2,49	661
9	90	2,70	591
10	100	2,93	578

Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 1000 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC. Terlihat perbedaan pada Tabel 4.1 bahwa nilai arus meningkat, ini disebabkan karena putaran pada piringan, sehingga medan magnet yang ada pada rem magnetik terpotong, dan rem magnetik berusaha mengembalikan medannya dengan kebutuhan arus yang lebih tinggi.

Terlihat pada Tabel 4.2, saat *duty cycle* rem 50 % kecepatan pada motor *brushless* DC berkurang dari 1000 RPM menjadi 711 RPM, dan ketika *duty cycle* rem 90% kecepatan motor *brushless* DC berkurang dari 1000 RPM menjadi 591 RPM ini menunjukkan bahwa pengeraman dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada rem magnetik.

4.4 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 1500 RPM

Pada Tabel 4.3 Pengujian rem magnetik diatur oleh *driver* rem magnetik dengan menggunakan *potensiometer* yang telah tersambung dengan arduino. Pengukuran rem magnetik dikonfigurasi dengan motor BLDC. Pengujian ini dilakukan ketika motor berada dalam kecepatan 1500 RPM. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *input* dari *potensiometer* rem yang nilainya di *mapping* dari 0% sampai 100% sesuai dengan Tabel 4.3. Maksud dari *mapping* 0% sampai 100% merupakan sinyal tegangan yang masuk pada pengatur *potensiometer* rem.

Tabel 4.3 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 1500 RPM

No	Duty Cycle Rem (%)	Arus (Ampere)	Kecepatan (RPM)
1	10	0,50	1478
2	20	0,79	1435
3	30	1,09	1405
4	40	1,38	1396
5	50	1,66	1361
6	60	1,94	1356
7	70	2,18	1339
8	80	2,44	1298
9	90	2,67	1279
10	100	2,91	1254

Dari Gambar 4.6 cara pengujiannya yaitu, *Duty cycle* motor BLDC yang telah tersambung dengan arduino dan diatur hingga motor BLDC berputar sehingga kecepatan dari motor BLDC 1500 RPM. *Duty cycle* rem diatur dari 10% - 100%. Kemudian catat arus dan kecepatan yang ditampilkan pada LCD setiap 10% menaikkan *duty cycle* rem magnetik.

Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 1500 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC. Terlihat perbedaan pada Tabel 4.2 dengan Tabel 4.3 bahwa nilai arus menurun, ini disebabkan karena putaran pada piringan semakin cepat, sehingga medan magnet yang ada pada rem magnetik terpotong, dan rem magnetik berusaha mengembalikan medannya, tetapi kekuatan medan telah melewati batas sehingga rem mulai panas.

Terlihat pada Tabel 4.3, saat *duty cycle* rem 50 % kecepatan pada motor *brushless* DC berkurang dari 1500 RPM menjadi 1361 RPM, dan ketika *duty cycle* rem 90% kecepatan motor *brushless* DC berkurang dari 1500 RPM menjadi 1279 RPM ini menunjukkan bahwa pengeraman dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada rem magnetik.

4.5 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 2000 RPM

Pada Tabel 4.4 Pengujian rem magnetik diatur oleh *driver* rem magnetik dengan menggunakan *potensiometer* yang telah tersambung dengan arduino. Pengukuran rem magnetik dikonfigurasi dengan motor BLDC. Pengujian ini dilakukan ketika motor berada dalam kecepatan 2000 RPM. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *input* dari *potensiometer* rem yang nilainya di *mapping* dari 0% sampai 100% sesuai dengan Tabel 4.4. Maksud dari *mapping* 0% sampai 100% merupakan sinyal tegangan yang masuk pada pengatur *potensiometer* rem.

Dari Gambar 4.6 cara pengujiannya yaitu, *Duty cycle* motor BLDC yang telah tersambung dengan arduino dan diatur hingga motor BLDC berputar sehingga kecepatan dari motor BLDC 2000 RPM. *Duty cycle* rem diatur dari 10% - 100%. Kemudian catat arus dan kecepatan yang ditampilkan pada LCD setiap 10% menaikkan *duty cycle* rem magnetik.

Tabel 4.4 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Awal Motor 2000 RPM

No	Duty Cycle Rem (%)	Arus (Ampere)	Kecepatan (RPM)
1	10	0,47	1979
2	20	0,78	1949
3	30	1,08	1915
4	40	1,35	1862
5	50	1,64	1856
6	60	1,90	1765
7	70	2,15	1728
8	80	2,40	1687
9	90	2,60	1670
10	100	2,81	1659

Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 2000 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC. Terlihat perbedaan pada Tabel 4.3 dengan Tabel 4.4 bahwa nilai arus menurun, ini disebabkan karena putaran pada piringan semakin cepat, sehingga medan magnet yang ada pada rem magnetik terpotong, dan rem magnetik berusaha mengembalikan medannya, tetapi kekuatan medan telah melewati batas sehingga rem panas.

Terlihat pada Tabel 4.4, saat *duty cycle* rem 50 % kecepatan pada motor *brushless* DC berkurang dari 2000 RPM menjadi 1856 RPM, dan ketika *duty cycle* rem 90% kecepatan motor *brushless* DC berkurang dari 2000 RPM menjadi 1670 RPM ini menunjukkan bahwa pengeraman dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada rem magnetik.

4.6 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 2500 RPM

Pada Tabel 4.5 Pengujian rem magnetik diatur oleh *driver* rem magnetik dengan menggunakan *potensiometer* yang telah tersambung dengan arduino. Pengukuran rem magnetik dikonfigurasi dengan motor BLDC. Pengujian ini dilakukan ketika motor berada dalam kecepatan 2500 RPM. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *input* dari *potensiometer* rem yang nilainya di *mapping* dari 0% sampai 100% sesuai dengan Tabel 4.5.

Maksud dari *mapping* 0% sampai 100% merupakan sinyal tegangan yang masuk pada pengatur *potensiometer* rem.

Dari Gambar 4.6 cara pengujiannya yaitu, *Duty cycle* motor BLDC yang telah tersambung dengan arduino dan diatur hingga motor BLDC berputar sehingga kecepatan dari motor BLDC 2500 RPM. *Duty cycle* rem diatur dari 10% - 100%. Kemudian catat arus dan kecepatan yang ditampilkan pada LCD setiap 10% menaikkan *duty cycle* rem magnetik.

Tabel 4.5 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 2500 RPM

No	Duty Cycle Rem (%)	Arus (Ampere)	Kecepatan (RPM)
1	10	0,45	2496
2	20	0,74	2487
3	30	1,05	2482
4	40	1,31	2476
5	50	1,60	2467
6	60	1,87	2453
7	70	2,11	2446
8	80	2,37	2435
9	90	2,56	2427
10	100	2,75	2415

Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 2500 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC. Terlihat perbedaan pada Tabel 4.4 dengan Tabel 4.5 bahwa nilai arus menurun, ini disebabkan karena putaran pada piringan semakin cepat, sehingga medan magnet yang ada pada rem magnetik terpotong, dan rem magnetik berusaha mengembalikan medannya, tetapi kekuatan medan telah melewati batas sehingga rem bertambah panas.

Terlihat pada Tabel 4.5, saat *duty cycle* rem 50 % kecepatan pada motor *brushless* DC berkurang dari 2500 RPM menjadi 2467 RPM, dan ketika *duty cycle* rem 90% kecepatan motor *brushless* DC berkurang dari 2500 RPM menjadi 2427 RPM ini menunjukkan bahwa pengeraman dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada rem magnetik.

4.7 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 3000 RPM

Pada Tabel 4.6 Pengujian rem magnetik diatur oleh *driver* rem magnetik dengan menggunakan *potensiometer* yang telah tersambung dengan arduino. Pengukuran rem magnetik dikonfigurasi dengan motor BLDC. Pengujian ini dilakukan ketika motor berada dalam kecepatan 3000 RPM. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *input* dari *potensiometer* rem yang nilainya di *mapping* dari 0% sampai 100% sesuai dengan Tabel 4.6. Maksud dari *mapping* 0% sampai 100% merupakan sinyal tegangan yang masuk pada pengatur *potensiometer* rem.

Dari Gambar 4.6 cara pengujiannya yaitu, *Duty cycle* motor BLDC yang telah tersambung dengan arduino dan diatur hingga motor BLDC berputar sehingga kecepatan dari motor BLDC 3000 RPM. *Duty cycle* rem diatur dari 10% - 100%. Kemudian catat arus dan kecepatan yang ditampilkan pada LCD setiap 10% menaikkan *duty cycle* rem magnetik.

Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 3000 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC. Pengujian rem magnetik dengan kecepatan awal motor BLDC 3000 RPM dilakukan untuk menentukan kemampuan arus eddy pada rem magnetik untuk mengurangi kecepatan motor BLDC.

Tabel 4.6 Rem Magnetik dan Sensor Arus Saat Kecepatan Motor 3000 RPM

No	Duty Cycle Rem (%)	Arus (Ampere)	Kecepatan (RPM)
1	10	0,44	2968
2	20	0,71	2953
3	30	1,00	2891
4	40	1,28	2879
5	50	1,56	2874
6	60	1,84	2870
7	70	2,08	2866
8	80	2,35	2859
9	90	2,51	2852
10	100	2,68	2843

Terlihat perbedaan pada Tabel 4.6 dengan Tabel 4.5 bahwa nilai arus menurun, ini disebabkan karena putaran pada piringan semakin cepat, sehingga medan magnet yang ada pada rem magnetik terpotong, dan rem magnetik berusaha mengembalikan medannya, tetapi kekuatan medan telah melewati batas sehingga rem semakin panas.

Terlihat pada Tabel 4.6, saat *duty cycle* rem 50 % kecepatan pada motor *brushless* DC berkurang dari 3000 RPM menjadi 2874 RPM, dan ketika *duty cycle* rem 90% kecepatan motor *brushless* DC berkurang dari 3000 RPM menjadi 2852 RPM ini menunjukkan bahwa pengeraman dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada rem magnetik.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh selama proses pembuatan pengaturan beban rem magnetik pada modul kontrol kecepatan motor *brushless* DC, kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa data, serta saran untuk pengaturan beban rem magnetik pada modul kontrol kecepatan motor *brushless* DC ini kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Hasil dari perancangan alat serta pengukuran Rancang Bangun Rem Magnetik pada Motor *Brushless* DC dengan Arduino dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kecepatan 1000 RPM, rem magnetik dapat melakukan pengereman lebih besar dari pada saat pengereman pada kecepatan 2000 RPM, 2500 RPM, dan 3000 RPM.
2. Ketika motor diam rem magnetik menghasilkan arus yang lebih lebih besar.
3. Arus semakin menurun saat kecepatan motor di naikkan, dikarenakan rem semakin panas.
4. Jika lilitan panas, maka kekuatan rem akan menurun.

5.1 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan Rancang Bangun Rem Magnetik pada Motor *Brushless* DC dengan Arduino, maka diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Ketegangan *belt* yang menghubungkan poros motor dan piringan rem, dan daya dari baterai perlu diperhatikan karena dapat berpengaruh pada kecepatan dari motor BLDC.
2. Ketika menggunakan rem magnetik, sebaiknya menggunakan sensor suhu, karena apabila rem sudah terlalu panas, akan mempengaruhi kuat medan yang dihasilkan, dan menyebabkan kerusakan pada kumparan.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hudaibiy Hibban. “*Desain Kontroler Fuzzy PID Gain Schedulling Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Tanpa Sikat*”, **Tugas Akhir**, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2015.
- [2] Bachtiar, Muhammad Fachri, Priyatna, Alif Gigah. “*Perancangan Rem Magnetik Pada Motor DC Dengan Menggunakan Arduino*”, **Tugas Akhir**, D3 Teknik Elektro, ITS Surabaya, 2015.
- [3] ..., **Allegro A4915 Demo Board**, <https://www.youtube.com/watch?v=Ak26nkEpO4I> (diakses pada tanggal 8 Februari 2019)
- [4] Mihura, Bruce. “**Learning LabView For The First Time**”, National Instruments, Washington, 2001.
- [5] Ogata, Katsuhiko. “**Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1**”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- [6] Pramudijanto, Jos. **Catatan Kuliah Penulisan Ilmiah**, <http://www.ee.its.ac.id/~jos>, Jurusan Teknik Elektro ITS, 10 Januari 2016.
- [7] Intan Nur Robi Annisa dan Zaka Perwira, "Pembuatan Modul Kontrol Kecepatan Motor *Brushless* DC dengan Mikrokontroler", **Proyek Akhir**, Program D3 Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2016.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

LAMPIRAN A ***LISTING PROGRAM***

LISTING PROGRAM ARDUINO UNO

```
#include <PWMServo.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <PWM.h>

int setpoint;
int incomingByte;
int val;    //(25% = 64; 50% = 127; 75% = 191; 100% = 255)
signed int motorSpeed;
int encoder_pin = 2;
unsigned int rpm;
volatile byte pulses;
volatile int rpmcount = 0;
unsigned long timeold;
unsigned int pulsesperturn = 1;
unsigned long duration;
unsigned long rpm2;
char disp2[1];
char disp3[1];

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,2,1,0,4,5,6,7);
PWMServo esc;

void counter()
{
  pulses++;
}

void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
```

```

esc.attach(9);
Serial.begin(9600);
pinMode(encoder_pin, INPUT);
attachInterrupt(0, counter, FALLING);
pinMode(11,OUTPUT);
pulses = 0;
rpm = 0;
timeold = 0;
}

void loop()
{
  if(Serial.available()){
    int a=Serial.parseInt();
    if(Serial.read()=='13') analogWrite(11,a);

    if (millis() - timeold >= 1000){ /*Uptade every one second, this will
be equal to reading frecuency (Hz).*/

      //Don't process interrupts during calculations
      detachInterrupt(0);
      //Note that this would be 60*1000/(millis() - timeold)*pulses if the
interrupt
      //happened once per revolution
      rpm = (20 * 1000 / pulsesperturn) / (millis() - timeold)* pulses;
      timeold = millis();
      pulses = 0;

      //Write it out to serial port
      //Serial.print("RPM = ");
      Serial.println(rpm,DEC);
      //Restart the interrupt processing
      attachInterrupt(0, counter, FALLING);

      int val;
      val= analogRead(A0);
      setpoint = map(val, 0, 1023, 0, 255);
      int percentsetpoint = map(val, 0, 1023, 0, 100);
      esc.write(setpoint);

```

```

Serial.print(setpoint);
duration=pulseIn(encoder_pin, HIGH, 100000);
rpm2=(79550000/3)/duration;
if(rpm2>10000){
  rpm2=0;}
  //Serial.print(" ");
  //sprintf(dis2, "%4d",rpm2);
  //Serial.print(dis2);

float average = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++) {
  average = average + (.0264 * analogRead(A2) -13.42);
  delay(1);
}

int sensorValue=analogRead(A1);
int rem=map(sensorValue,0,1023,0,255);
analogWrite(11,rem);
int percentrem=map(sensorValue,0,1023,0,100);
Serial.println(rem);

  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print ("RPM=");
  lcd.print (rpm,DEC);
  lcd.setCursor (9,0);
  lcd.print ("Duty=");
  lcd.print (percentsetpoint);
  lcd.print (" %");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print ("REM=");
  lcd.print (percentrem);
  lcd.print (" %");
  lcd.setCursor (9,1);
  lcd.print ("A=");
  lcd.print (average/1000);
  delay(10);
}
}
}

```

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

LAMPIRAN B

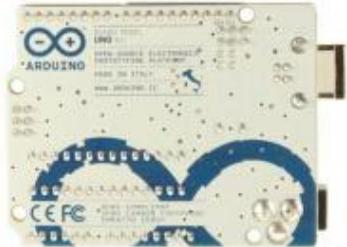
DATASHEET

1. Datasheet Arduino UNO

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the BU2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328. Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

2. Datasheet ACS712

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number:
URV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

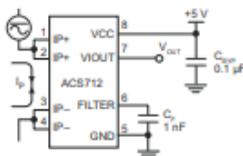
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{OUT}(0)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5 \times overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

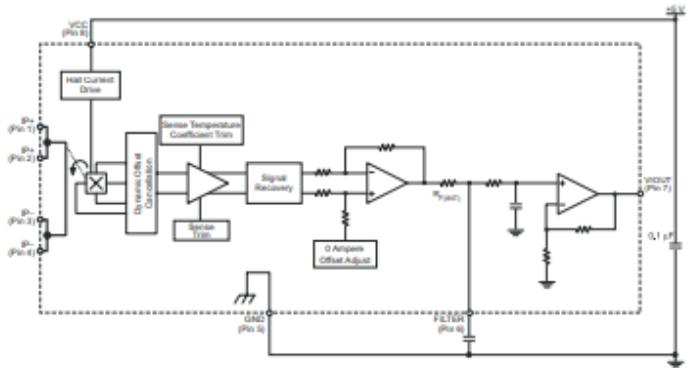
*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

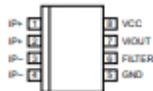
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RECC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{REOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	2100	V
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(BASIC)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	1500	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(MAX)}		165	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-65 to 170	°C

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_P = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{OUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{OUT} to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{SOLIMNEY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$, I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{I(OUT)}$	Bidirectional; $I_p = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{C(FILT)}$		–	1.7	–	kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

² $\Delta G = 0.1$ mT.

³ $R_{C(FILT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JK}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT}(Q)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p with $I_p = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT}(Q)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p with $I_p = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	64	66	68	mV/A
Noise	$V_{\text{Noise(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT}(Q)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p with $I_p = 30\text{ A}$. Output filtered.

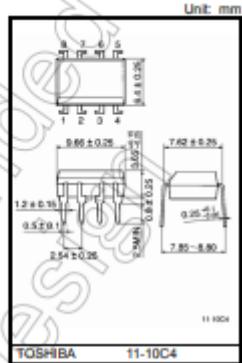
3. Datasheet TLP250

TLP250

Industrial Inverter
 Inverter For Air Conditioner
 IGBT Gate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

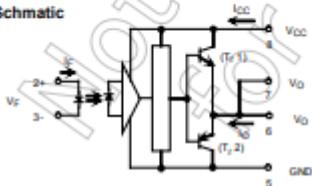
- Input threshold current: 5mA(max)
- Supply current : 11mA(max)
- Supply voltage : 10-35V
- Output current : $\pm 1.5A$ (max)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 0.5 μs (max)
- Isolation voltage: 2500Vrms(min)
- UL recognized: UL 1577, file No.E67349
- c-UL approved : CSA Component Acceptance Service
 No. 5A, File No.E67349
- Option(D4)
 VDE Approved : EN60747-5- 5
**Note: When a EN60747-5-5 approved type is needed,
 Please designate "Option(D4)"**



Truth Table

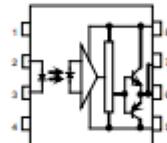
	Tr1		Tr2	
Input LED	On	On	Off	Off
	Off	Off	On	On

Schematic



A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5

Pin Configuration (top view)



- 1: N.C.
- 2: Anode
- 3: Cathode
- 4: N.C.
- 5: GND
- 6: V_{O1} (Output)
- 7: V_{O2}
- 8: V_{CC}

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.38	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_{R1}	5	V	
	Diode power dissipation	P_D	40	mW	
	Diode power dissipation derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta P_D / \Delta T_a$	-0.72	mW / °C	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current (Pw ≤ 2.5µs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current (Pw ≤ 2.5µs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Power dissipation	P_C	800	mW	
	Power dissipation derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta P_C / \Delta T_a$	-14.5	mW / °C	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T_{opr}	-20 to 85	°C		
Storage temperature range	T_{stg}	-85 to 125	°C		
Lead soldering temperature (10 s)	T_{sld}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 60 s, R.H. ≤ 60%) (Note 4)	BV_{is}	2500	Vrms		

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.

Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions," "Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc.).

Note 1: Pulse width $P_w \leq 1\mu s$, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$), $I_{OPL} \leq +1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$)

Note 4: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input current, on	$I_{F(OFF)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{I(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note: A ceramic capacitor(0.1µF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Note: Input signal rise time(fall time)=0.5µs.

Electrical Characteristics (Ta = -20 to 70°C, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min	Typ.*	Max	Unit	
Input forward voltage	V _F	—	I _F = 10 mA, T _a = 25°C	—	1.6	1.8	V	
Temperature coefficient of forward voltage	ΔV _F / ΔT _a	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C	
Input reverse current	I _R	—	V _R = 5V, T _a = 25°C	—	—	10	μA	
Input capacitance	C _T	—	V = 0 V, f = 1MHz, T _a = 25°C	—	45	250	pF	
Output current	"H" level	I _{OH}	1	V _{CC} = 30V (Note 1)	I _F = 10 μA V _{S-E} = 4V	-0.5	-1.5	A
	"L" level	I _{OL}	2		I _F = 0 mA V _{S-E} = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	3	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 2000, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 2000, V _F = 0.5V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{COH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA T _a = 25°C	—	7	—	mA
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA T _a = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{F(H)}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 2000, V _O = 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	V _{F(H)}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 2000, V _O = 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage	V _{CC}	—	—	10	—	35	V	
Capacitance (input-output)	C _s	—	V _S = 0 V, f = 1MHz T _a = 25°C	—	1.0	2.0	pF	
Resistance(input-output)	R _S	—	V _S = 500V, T _a = 25°C R _L = 4.60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω	

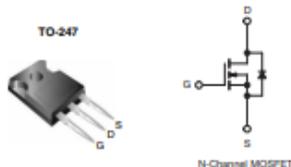
* All typical values are at T_a = 25°C

Note 1: Duration of IO time ≤ 50μs

4. Datasheet IRFP460

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V)	500	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.27
Q_g (Max.) (nC)	210	
Q_{gs} (nC)	29	
Q_{gd} (nC)	110	
Configuration	Single	



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available



DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP460PbF SHFP460-ES
SnPb	IRFP460 SHFP460

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	500	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	20
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	13
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}	80	A
Linear Derating Factor		2.2	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}	960	mJ
Repetitive Avalanche Current ^c	I_{AS}	20	A
Repetitive Avalanche Energy ^d	E_{AS}	28	mJ
Maximum Power Dissipation	P_D	280	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^e	dV/dt	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	$-55\text{ to }+150$	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature) for 10 s		300 ^f	
		10	mm-in
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	1.1	N·m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DS} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 4.3\text{ mH}$, $R_{\theta Jc} = 25\text{ }^\circ\text{C/W}$, $I_{AS} = 20\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{AS} < 20\text{ A}$, $dI/dt < 160\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DS} < V_{DS}$, $T_J < 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.8 mm from case.

^f Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	40	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.24	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	0.45	

SPECIFICATIONS $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	500	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.63	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{DS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 500\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 400\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 12\text{ A}^b$	-	-	0.27	Ω
Forward Transconductance	g_m	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 12\text{ A}^b$	13	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	4200	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	870	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	350	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 20\text{ A}, V_{DS} = 400\text{ V}$ see fig. 6 and 13 ^a	-	-	210	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	29	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	110	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DS} = 250\text{ V}, I_D = 20\text{ A}, R_{\theta} = 4.3\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}, R_{\theta} = 13\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$, see fig. 10 ^b	-	18	-	ns
Rise Time	t_r		-	59	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	110	-	
Fall Time	t_f		-	58	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	13	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 	-	-	20	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	80	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 20\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	1.8	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 20\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	570	860	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	5.7	8.6	
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width < 300 μs ; duty cycle $\leq 2\%$.

LAMPIRAN C DOKUMENTASI



-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Moh. Abiy Faruq Al Haidar
TTL : Kediri, 25 April 1997
Kelamin: Laki - laki
Agama : Islam
Alamat : Jl. Manggis No.4 Dsn. Santren,
Ds. Cerme Kec. Grogol, Kab.
Kediri
Telp/HP : 081234810053
E-mail : mohabiyfaruq@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SD Negeri 2 Cerme Kediri
2. 2007 – 2010 : MTs Negeri 1 Kota Kediri
3. 2010 – 2013 : MA Negeri 1 Kediri
4. 2013 – 2016 : Departemen Teknik Elektro Otomasi, FV-ITS

PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. PLN area Rungkut
2. Kerja Praktek di PT. Indocrane

PENGALAMAN ORGANISASI

1. Anggota Dewan Perwakilan Mahasiswa D3 Teknik Elektro ITS, 2015-2016
2. Ketua Dewan Perwakilan Mahasiswa D3 Teknik Elektro ITS, 2016-2017

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --