

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Prinsip Kerja Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah alat elektromagnetik yang dapat mengubah energi elektrik menjadi energi mekanik. Motor listrik bekerja berdasarkan gaya Lorentz.

Apabila arus listrik  $I$  dialirkan dalam suatu medan magnet dengan kerapatan fluksi  $B$ , akan timbul gaya Lorentz.

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (2-1)$$

Dalam persamaan  $F = B \cdot I \cdot L$  terjadi proses perubahan energi listrik ( $I$ ) menjadi energi mekanik ( $F$ ).

Bila jari-jari rotor adalah  $r$ , timbullah kopel :

$$T = F \cdot r = B \cdot I \cdot L \cdot r \quad (2-2)$$

Dengan berputarnya konduktor di dalam medan magnet, maka didalam konduktor tersebut akan timbul pula ggl yang merupakan reaksi (lawan) terhadap penyebabnya ggl ini dinamakan ggl lawan.

Agar proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik dapat berlangsung, maka tegangan sumber harus lebih besar dari ggl lawan. (Soemarwanto.2006)

#### 2.2 Prinsip Kerja Pengukur Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusan dari torsi adalah sebagai berikut. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar  $F$ , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar  $d$ , dengan data tersebut torsinya adalah:

$$T = F \times d \quad (2-3)$$

dimana:

$T$  = torsi benda berputar (Nm)

$F$  = gaya sentrifugal dari benda berputar (N)

$d$  = jarak benda ke pusat rotasi (m)

Karena adanya torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan.

Pengukuran torsi pada poros motor bisa menggunakan alat yang dinamakan Dinamometer. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai putaran mendekati 0 rpm, Beban ini nilainya adalah sama dengan torsi poros. Pengukuran torsi pada poros (rotor) dengan prinsip pengereman dengan stator yang dikenai beban sebesar  $w$ . Mesin dinyalakan kemudian pada poros disambungkan dengan dinamometer. Untuk mengukur torsi mesin pada poros mesin diberi rem yang disambungkan dengan  $w$  pengereman atau pembebanan. Pembebanan diteruskan sampai poros mesin hampir berputar. Beban maksimum yang terbaca sama dengan gaya putar mesin  $F$ . Dari definisi disebutkan bahwa perkalian antara gaya dengan jaraknya adalah sebuah torsi. Dengan defibisi tersebut torsi pada poros dapat diketahui dengan rumus:

$$T = w \times d \quad (2-4)$$

$w$  = beban (N)

$d$  = jarak pembebanan dengan pusat putaran (m)

Pada mesin  $w$  merupakan gaya gesekan mesin atau berat komponen mesin itu sendiri,

Dari rumus persamaan 1-3 maka dapat diketahui besar daya suatu motor. Besarnya daya motor adalah:

$$P = T \times \omega$$

$$P = T \times 2\pi \frac{n}{60} \quad (2-5)$$

Dimana :

$n$  = putaran (rpm)

### 2.3 *Magnetic Powder Brake*

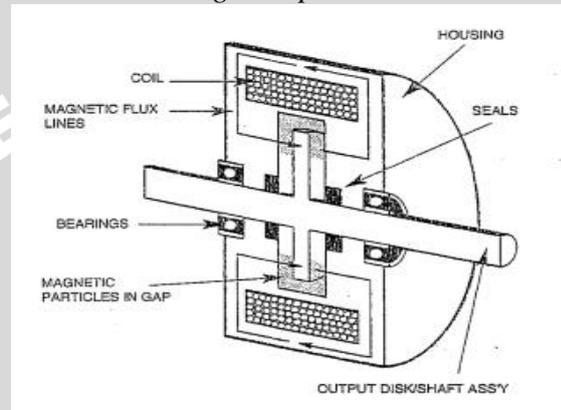
Prinsip dari *magnetic powder brake* adalah pengereman yang disebabkan oleh serbuk magnet, serbuk magnet terletak ruang partikel magnet. Efek pengereman dapat disesuaikan dengan mengubah nilai dari medan magnet.

Ketika tegangan dicatukan ke *magnetic powder brake*, medan magnet di bagian dalam belitan berubah sesuai dengan tegangan atau arus yang diinjeksikan. Perubahan medan magnet mengubah kerapatan posisi serbuk pada ruangan partikel magnet. Saat tegangan dicatukan dalam kumparan, partikel yang sejajar di sepanjang garis gaya medan magnet, menghasilkan ikatan tarik menarik, sehingga menghasilkan efek pengereman. Saat arus terputus, serbuk magnet terdorong melawan medan stator melalui gaya sentrifugal, hingga melepaskan ikatan rotor sehingga dapat berputar. Konstruksi *magnetic powder*

*brake* yang terdapat di laboratorium mesin elektrik ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2. Bagian-bagian penyusun dari *magnetic powder brake* dapat dilihat pada gambar 2.2.



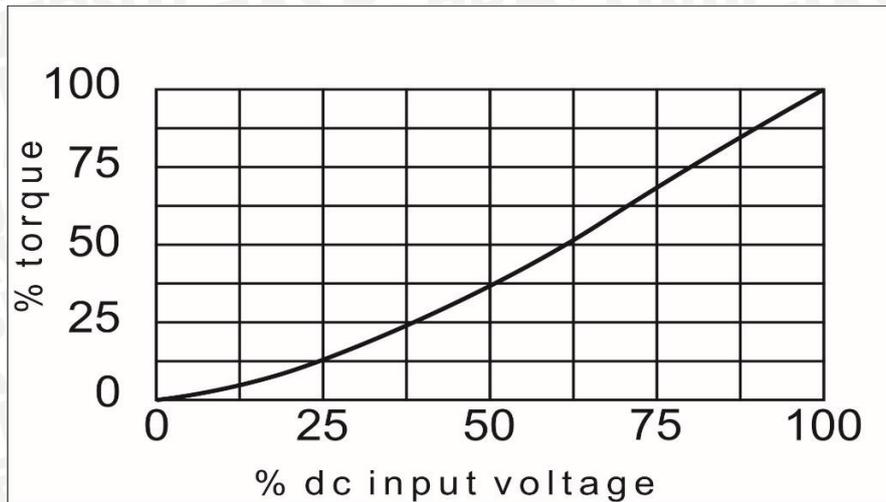
Gambar 2.1 *Magnetic powder brake*



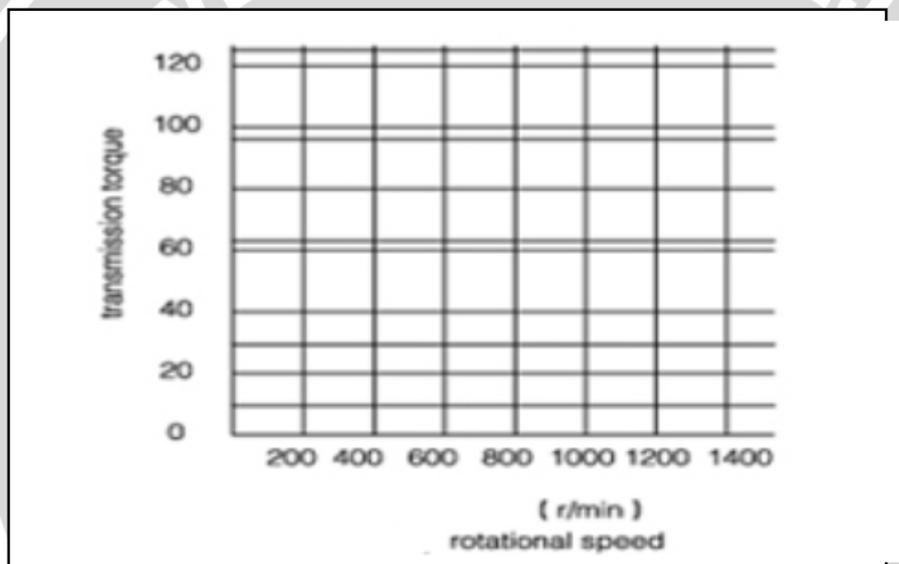
Gambar 2.2 Bagian-bagian dari *magnetic powder brake*  
Sumber : [www.placidindustries.com](http://www.placidindustries.com). Diakses pada tanggal 29 april 2016

*Magnetic powder brake* mempunyai rentang torsi yang luas. Hubungan torsi terhadap tegangan hampir linier. Pada *magnetic powder brake*, torsi dapat dikontrol secara akurat dengan rentang kecepatan operasi unitnya. Karena responnya yang cepat, maka dapat digunakan pada aplikasi siklus yang tinggi. Dalam penggunaannya, *magnetic powder brake* akan dipakai bersamaan dengan control unitnya.

Pada *magnetic powder brake*, torsi beban tidak bergantung dengan kecepatan. Torsi beban hanya dipengaruhi tegangan *brake* / arus yang dicatukan ke dalam *magnetic powder brake*. Grafik hubungan antara torsi beban dari *magnetic powder brake* dan tegangan *brake* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik hubungan torsi beban dan tegangan *brake*  
 Sumber : placidindustries.com. diakses pada tanggal 20 april 2016



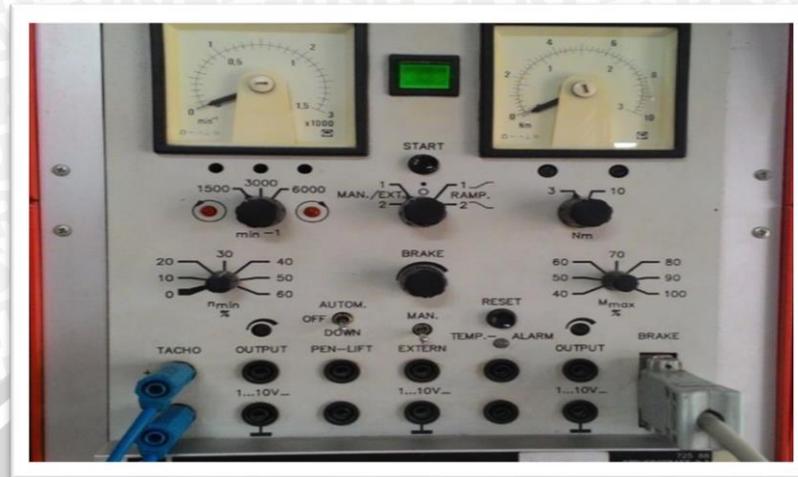
Gambar 2.4 Grafik hubungan torsi beban dan kecepatan  
 Sumber : lanmec.com. diakses pada tanggal 20 april 2016

Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa kecepatan tidak mempengaruhi torsi beban pada *magnetic powder brake*. Kecepatan berubah, torsinya tetap selama dalam rentang kecepatan yang diijinkan. Pada saat kecepatan 200 sampai 1400 rpm, torsi bebannya tidak berubah ketika arus yang diinjeksikan tetap.

#### 2.4 Control Unit Magnetic Powder Brake

*Control unit* adalah suatu instrumen elektronik yang digunakan untuk mengukur karakteristik dari suatu mesin elektrik. *Control unit* digunakan bersama dengan *Magnetic Powder Brake* dan *Tachogenerator* untuk pencatatan karakteristik mesin elektrik baik secara manual maupun otomatis. Terdapat tiga jenis *Control unit* yang diklasifikasikan

berdasarkan *rating* dayanya, yaitu *Control unit* 0,1 kW, 0,3 kW dan 1 kW. (Leybold, 1996:1)

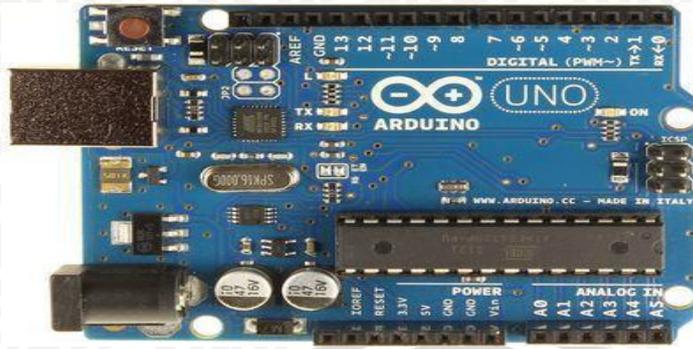


Gambar 2.5 *Control Unit* 0,3 kW yang ada di Laboratorium Elektronika Daya

*Control Unit* menyuplai daya yang diperlukan oleh *Magnetic Powder Brake* baik dalam *control loop* terbuka maupun *loop* tertutup. Untuk *loop* terbuka, kecepatan dan torsi dari mesin yang akan diuji ditentukan pada instrumen dan pencatat. Berdasarkan metode ini, koordinat torsi dan kecepatan dapat dicatat sampai ke titik kritis untuk mesin induksi. Untuk *loop* tertutup, kecepatan dicatat sebagai nilai yang sebenarnya dibandingkan dengan variabel referensi yang juga dapat menjadi fungsi *ramp*, dan dari variabel kontrol arus pengereman terbentuk. Dalam proses ini, koordinat torsi dan kecepatan mesin dapat ditetapkan untuk berhenti pada suatu titik, tetapi harus tetap mempertimbangkan temperatur mesin agar tidak terjadi kerusakan pada mesin. Saklar termal akan terpicu untuk aktif jika mesin mengalami pemanasan yang berlebih. Saklar termal yang terpasang pada mesin dan rem akan memutus proses pengereman ketika suhu operasi telah melewati batas yang diperbolehkan sehingga temperatur mesin dengan cepat dapat dikembalikan ke kisaran suhu operasi normal. Rem secara otomatis akan dipaksa untuk berventilasi. (Leybold, 1996:2)

## 2.5 Mikrokontroler Arduino Uno R3

Arduino atau Genuino adalah papan mikrokontroler yang menggunakan IC ATmega328P yang mempunyai 14 digital pin input atau output (yang mana 6 pin bisa digunakan sebagai PWM outputs), 6 analog input, 16 MHz quartz crystal (clock), fasilitas USB connection, sebuah power jack (DC), sebuah ICSP header dan tombol reset. Arduino



Gambar 2.6 Arduino UNO R3  
(Sumber: Arduino, 2009:1)

Uno R3 berisi segala hal yang dibutuhkan sebagai mikrokontroler, contoh menghubungkan board dengan computer dengan kabel USB atau mencatunya dengan AC ke DC adapter atau baterai untuk menghidupkannya.

Arduino function		Pin	Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6	1	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	2	27 PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	3	26 PC3 (ADC3/PCINT11)
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	4	25 PC2 (ADC2/PCINT10)
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24 PC1 (ADC1/PCINT9)
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23 PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	VCC	7	22 GND
GND	GND	8	21 AREF
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20 AVCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19 PB5 (SCK/PCINT5)
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18 PB4 (MISO/PCINT4)
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17 PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	13	16 PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15 PB1 (OC1A/PCINT1)
			digital pin 5
			analog input 4
			analog input 3
			analog input 2
			analog input 1
			analog input 0
			GND
			analog reference
			VCC
			digital pin 13
			digital pin 12
			digital pin 11 (PWM)
			digital pin 10 (PWM)
			digital pin 9 (PWM)

Gambar 2.7 Pemetaan pin atmega328 pada Arduino  
(sumber: Arduino.cc, 2009:1)

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Chip mikrokontroller	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan

	PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

Sumber tegangan Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan daya eksternal. Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari adaptor maupun baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat positif ukuran 2.1 mm konektor power. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor power. Arduino dapat beroperasi dengan catu daya eksternal 6 V sampai 20 V. Namun jika menggunakan lebih dari 12 V, regulator tegangan bisa panas dan merusak papan. Kisaran yang disarankan adalah 7 V sampai 12 V.

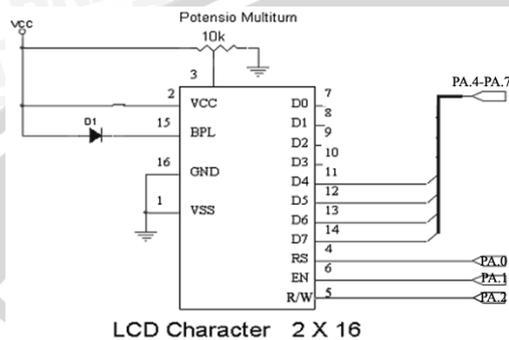
Arduino UNO R3 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. Arduino UNO R3 menyediakan 4 UART TTL (5V) untuk komunikasi serial. Sebuah Arduino UNO R3 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang diperlukan. Namun pada Windows diperlukan sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari papan Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial Library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada board Arduino UNO R3. Arduino UNO R3 juga

mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C.

## 2.6 LCD (Liquid Crystal Display)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan Kristal cair sebagai penampil utama. LCD telah digunakan dalam berbagai bidang diantaranya alat-alat elektronik, seperti televisi, kalkulator ataupun layar computer.



Gambar 2. 8 Rangkaian *Interface* ke LCD Karakter 2X16.

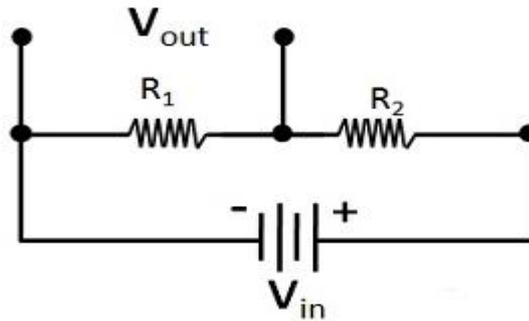
Sumber : Manual book LCD 2x16

Tabel 2.2 Daftar pin pada LCD 16x2

No.Pin	Nama	Keterangan
1	GND	Ground
2	VCC	+5V
3	VEE	Contras
4	RS	Register Select
5	RW	Read/write
6	E	Enable
7-14	D0-D7	Data bit 0-7
15	A	Anoda (back light)
16	K	Katoda (back light)

## 2.7 Sensor Tegangan

*Voltage divider* adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi rangkaian pembagi tegangan ini adalah untuk membagi tegangan masukan menjadi satu atau beberapa tegangan keluaran yang diperlukan oleh komponen lainnya di dalam rangkaian.



Gambar 2.9 Rangkaian pembagi tegangan  
 Sumber : [www.teknikelektronika.com](http://www.teknikelektronika.com) . Diakses pada 20 april 2016

Rumus pembagi tegangan :

$$V_{out} = V_{in} \times \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2-6)$$

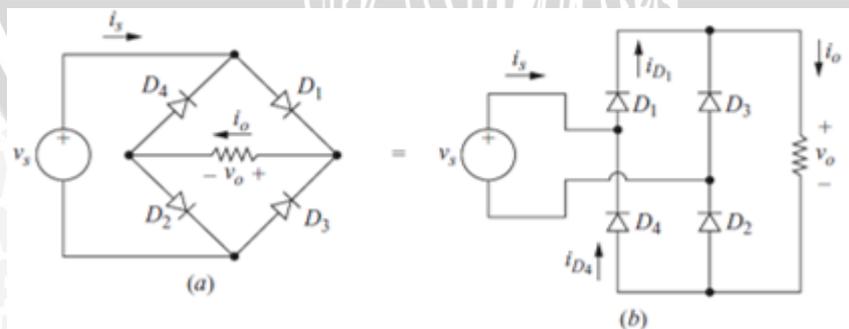
Pada perancangan sistem ini menggunakan *voltage divider* yang nantinya akan mengirim sinyal masukan ke dalam mikrokontroler arduino. Rangkaian *voltage divider* ini dibuat berdasarkan prinsip desain *voltage divider* (pembagi tegangan), dapat dibaca secara analog 5 kali lebih kecil dari tegangan yang terdeteksi. Input tegangan analog pada arduino mencapai 5 V.

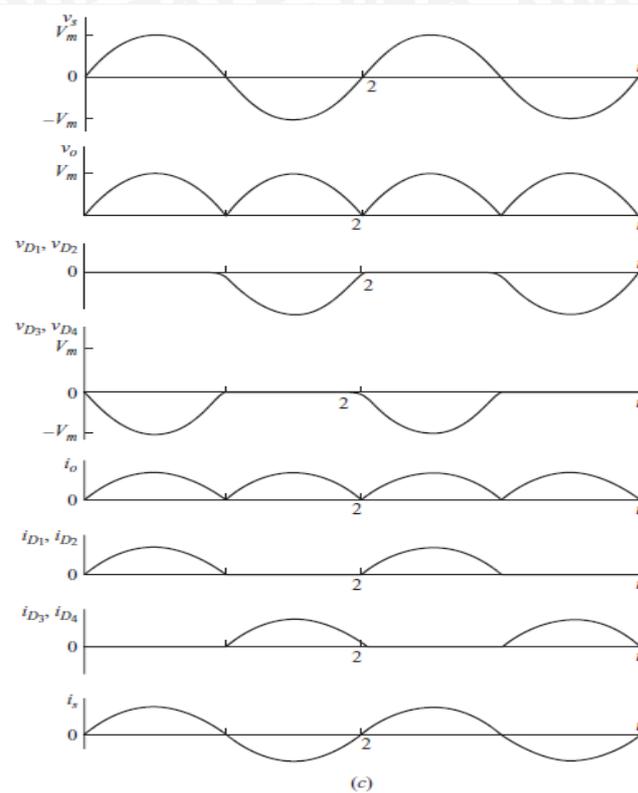
### 2.8 Rangkaian Penyearah (AC – DC CONVERTER)

Rangkaian untuk mengubah dari arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) membutuhkan *rectifier*. Rangkaian *rectifier* terdiri dari beberapa buah dioda.

Salah satu fungsi dioda adalah sebagai penyearah arus. Dioda melewatkan arus listrik satu arah saja. (P.C.Sen,1996)

- Rangkaian jembatan penyearah gelombang penuh





Gambar 2.10 Jembatan Penyearah Gelombang penuh. (a) *Circuit diagram*. (b) Rangkaian Pengganti. (c) Gelombang Arus dan Tegangan.  
Sumber: Daniel W. Hart (2011: 112)

Dari rangkaian jembatan gelombang penuh diatas dapat dijelaskan bahwa dioda  $D_1$  dan  $D_2$  konduksi saat siklus positif, dan  $D_3$  dan  $D_4$  konduksi saat siklus negatif. Hukum Kirchhoff tegangan disekitar loop yang mengandung sumber,  $D_1$  dan  $D_3$  terlihat tidak bias konduksi secara bersamaan.  $D_2$  dan  $D_4$  juga tidak dapat konduksi bersamaan. Arus yang diterima beban hanya bisa positif dan nol tidak bisa negatif. Tegangan disisi beban bernilai  $V_{s+}$  ketika  $D_1$  dan  $D_2$  aktif dan bernilai  $V_{s-}$  ketika  $D_3$  dan  $D_4$  aktif. Tegangan maksimum dioda pada saat bias balik adalah nilai puncak dari sumber. Hal ini dapat ditunjukkan oleh hukum *Kirchhoff* disekitar loop mengandung sumber,  $D_1$  dan  $D_3$ . Ketika  $D_1$  aktif tegangan  $D_3$  sama dengan  $V_s$ . Arus yang masuk adalah  $i_{D1}$  dan  $i_{D4}$ , yang mana hasilnya adalah 0, oleh karena itu, sumber arus rata-ratanya adalah 0. Sumber Arus (rms) adalah sama dengan arus beban (rms). Arus pada sumber ini adalah sama dengan arus beban untuk setengah periode dan arus sumber pada beban bernilai negatif. Kuadran beban dan arus sumber adalah sama, sehingga arus (rms) sama.

Untuk beban Resistif (R) keluaran rata-rata (dc) dapat dihitung dengan persamaan 2-7.

$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (2-7)$$

Dari persamaan 2.7 disederhanakan menjadi :

$$V_o = \frac{1}{\pi} V_m \int_0^{\pi} \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$V_o = \frac{1}{\pi} V_m [-\cos \omega t]_0^{\pi}$$

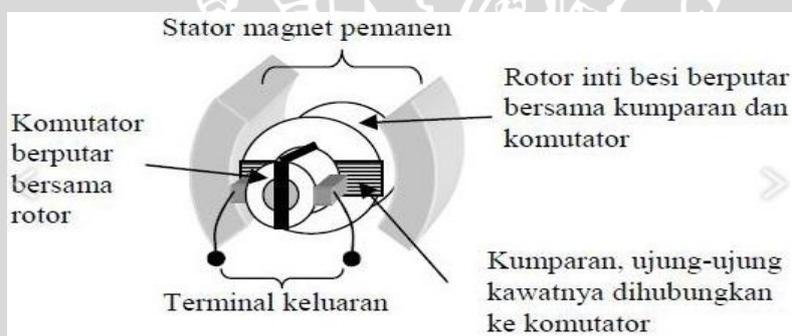
$$V_o = \frac{1}{\pi} V_m [-\cos \pi - (-\cos 0)]$$

$$V_o = \frac{1}{\pi} V_m [1 + 1]$$

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2-8)$$

## 2.9 Tachogenerator

Sensor yang sering digunakan untuk sensor kecepatan adalah tachogenerator. Tachogenerator adalah sebuah generator kecil yang membangkitkan tegangan DC ataupun tegangan AC. Dari segi eksitasi tachogenerator dapat dibangkitkan dengan eksitasi dari luar atau imbas elektromagnet dari magnet permanen. Tachogenerator DC dapat membangkitkan tegangan DC yang langsung dapat menghasilkan informasi kecepatan, sensitivitas tachogenerator DC cukup baik terutama pada daerah kecepatan tinggi.



Gambar 2. 11 Bagian-bagian pada tachogenerator DC

Sumber : [www.elektronika-dasar.web.id](http://www.elektronika-dasar.web.id). Diakses pada tanggal 20 april 2016

Tachogenerator DC yang bermutu tinggi memiliki kutub-kutub magnet yang banyak sehingga dapat menghasilkan tegangan DC dengan riak gelombang yang berfrekuensi tinggi sehingga mudah diratakan. Keuntungan utama dari tachogenerator ini adalah diperolehnya informasi dari arah putaran. Sedangkan kelemahannya adalah sikat komutator mudah habis. Jika digunakan pada daerah bertemperatur tinggi, maka magnet permanen akan mengalami kelelahan, untuk kasus ini, tachogenerator sering dikalibrasi.

Pada penelitian ini, jenis tachogenerator yang digunakan adalah tachogenerator DC yang dibuat oleh pabrikan Jerman yaitu LH Didactic dengan eksitasi imbas

elektromagnetik dari magnet permanen. Bentuk fisik tachogenerator LH Didactic yang ada di laboratorium mesin elektrik dapat dilihat pada gambar 2.12. Tachogenerator LH didactic ini mempunyai tegangan keluaran dengan perbandingan 1 volt/1000 rpm. (Leybold, 1996:1)



Gambar 2.12 Tachogenerator yang ada di Laboratorium Mesin Elektrik  
Sumber : ld-didactic.de. Diakses tanggal 20 april 2016

### 2.10 Analisis Regresi

Pengertian regresi secara umum adalah sebuah alat statistik yang memberikan penjelasan tentang pola hubungan (model) antara dua variabel atau lebih.. Dalam analisis regresi dikenal 2 jenis variabel yaitu:

1. Variabel respon disebut juga variabel dependen yaitu variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan variabel Y.
2. Variabel prediktor disebut juga dengan variabel independen yaitu variabel yang bebas (tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya) dan dinotasikan dengan X.

Untuk mempelajari hubungan – hubungan antara variabel bebas maka regresi linier terdiri dari dua bentuk, yaitu:

1. Analisis regresi sederhana
2. Analisis regresi berganda

Analisis regresi sederhana merupakan hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas (variable independen) dan variabel tak bebas (variabel dependen).

Sedangkan analisis regresi berganda merupakan hubungan antara 3 variabel atau lebih, yaitu sekurang-kurangnya dua variabel bebas dengan satu variabel tak bebas. Tujuan

utama regresi adalah untuk membuat perkiraan nilai suatu variabel (variabel terikat) jika nilai variabel yang lain yang berhubungan dengannya (variabel lainnya) sudah ditentukan.

Regresi linier sederhana digunakan untuk mendapatkan hubungan matematis dalam bentuk suatu persamaan antara variabel tak bebas tunggal dengan variabel bebas tunggal. Regresi linier sederhana hanya memiliki satu peubah X yang dihubungkan dengan satu peubah tidak bebas Y. Bentuk umum dari persamaan regresi linier untuk populasi adalah :

$$Y = a + bx \quad (2-9)$$

Di mana:

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a = Parameter *intercept*

b = Parameter koefisien regresi variabel bebas

Menentukan koefisien persamaan a dan b dapat dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, yaitu cara yang dipakai untuk menentukan koefisien persamaan a dan b dari jumlah pangkat dua (kuadrat) antara titik-titik dengan garis regresi yang dicari yang terkecil. Dengan demikian, dapat ditentukan:

$$a = \frac{(\sum Yi)(\sum Xi^2) - (Xi)(\sum XiYi)}{n\sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \quad (2-10)$$

$$b = \frac{n\sum XiYi - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n\sum Xi - (\sum Xi)^2} \quad (2-11)$$

