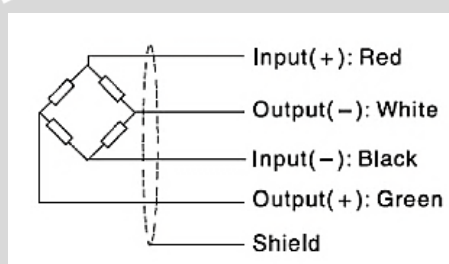


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sensor *Load cell*

Load cell adalah transduser yang mengkonversikan berat atau gaya kedalam bentuk sinyal elektrik melalui perubahan resistansi yang terjadi pada bagian *strain gauge*. *Load cell* terdiri dari empat susun *strain gauge* dalam konfigurasi jembatan *wheatstone*. Sensor ini bersifat resistif dan besarnya sinyal keluaran berbanding lurus dengan gaya/beban yang diterima. Konfigurasi kabel pada *load cell* ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Konfigurasi Kabel pada *Load cell*

Sumber: Xiamen Loadcell Technology (2011)

Dalam keadaan tanpa beban, nilai resistansi pada 4 resistor jembatan *wheatstone* bernilai sama. Ketika sensor diberi beban, nilai resistansi pada keempat resistor berubah sehingga mengakibatkan jembatan *wheatstone* tidak seimbang. Jika dimisalkan kondisi awal masing-masing resistor sebesar 300Ω , saat diberi beban nilainya akan berubah sekitar $\pm 5\%$ dari nilai awalnya, kondisi ketidakseimbangan inilah yang dimanfaatkan untuk mengukur berat pada suatu benda.

Dalam penelitian ini menggunakan sensor *load cell* bertipe LAB-B-B dengan kapasitas beban maksimal 10kg dan kapasitas *overload* sebesar 150%. Sinyal keluaran sensor berupa tegangan dalam kisaran milivolt, karena itu keluaran sensor memerlukan penguatan dari rangkaian penguat instrumentasi agar dapat diproses oleh mikrokontroler. Tegangan masukan sensor berkisar antara 5 – 12 volt dan keluaran sensor sebesar $2\pm 0,2\text{mV/V}$. Spesifikasi kerja pada sensor dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi Sensor *Load cell* LAB-B-B

Spesifikasi	Keterangan
Rated Capacity	0 – 10 Kg
Excitation Voltage	5 – 12VDC
Rated Output	2±0,2 mV/V
Zero Balance	±5% R.O.
Input Resistance	405±10Ω
Output Resistance	350±3Ω
Operating Temperature	-20 to 60 °C
Overload	150%
Insulation Resistance	2000MΩ/50VDC

Sumber: Xiamen Loadcell Techology (2011)

Ketika sensor diberi beban maksimal (10kg) dengan tegangan masukan 10V, besar tegangan keluaran pada sensor sebesar 20mV. Hal ini didapat dari persamaan:

$$V_{out} = RO \times V_{in} \quad (2-1)$$

dengan:

V_{out} = Tegangan keluaran sensor (mV)

RO = *Rated output* (mV/V)

V_{in} = Tegangan masukan sensor (V)

Sedangkan saat sensor tidak diberi beban besar tegangan keluaran sebesar 0,1mV, hal ini didapat dari persamaan:

$$V_{oz} = ZB \times RO \quad (2-2)$$

Dengan:

V_{oz} = Tegangan keluaran ketika sensor tanpa beban (mV)

ZB = *Zero balance* (mV/V)

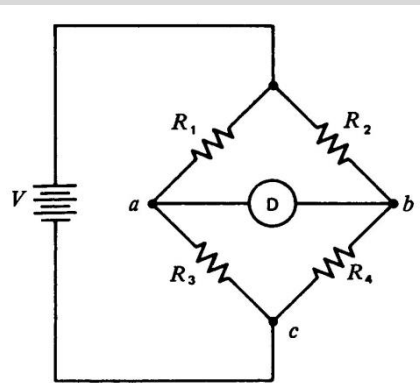
RO = *Rated output* (mV)

Dengan demikian dari persamaan dapat diketahui perubahan tegangan terhadap beban per kilonya sebesar 2mV/kg dan besarnya tegangan ketika sensor tidak diberi beban sebesar 0,1mV.

2.2. Teori Dasar Jembatan *Wheatstone*

Load cell menginisialisasikan perubahan hambatan yang sangat kecil, karena itu pengukuran *load cell* menggunakan prinsip dari jembatan *wheatstone*. Rangkaian jembatan ini digunakan untuk mengkonversi perubahan impedansi menjadi perubahan tegangan, terutama untuk fraksi perubahan yang kecil.

Keluaran pada jembatan *wheatstone* dapat dibuat berubah disekitar nol, sehingga dibutuhkan penguatan untuk memperbesar level sinyal. Rangkaian jembatan *wheatstone* ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambsr 2.2. Jembatan *Wheatstone*

Sumber: Johnson (2006)

$$\Delta V = V_a - V_b \quad (2-3)$$

Dengan:

V_a = potensial titik a terhadap titik c

V_b = potensial titik b terhadap titik c

$$V_a = \frac{VR_3}{R_1 + R_3} \quad (2-4)$$

$$V_b = \frac{VR_4}{R_2 + R_4} \quad (2-5)$$

$$\Delta V = \frac{VR_3}{R_1 + R_3} - \frac{VR_4}{R_2 + R_4} = V \frac{R_3 R_2 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \quad (2-6)$$

ΔV akan sama dengan nol (setimbang) bila $R_3 R_2 = R_1 R_4$.

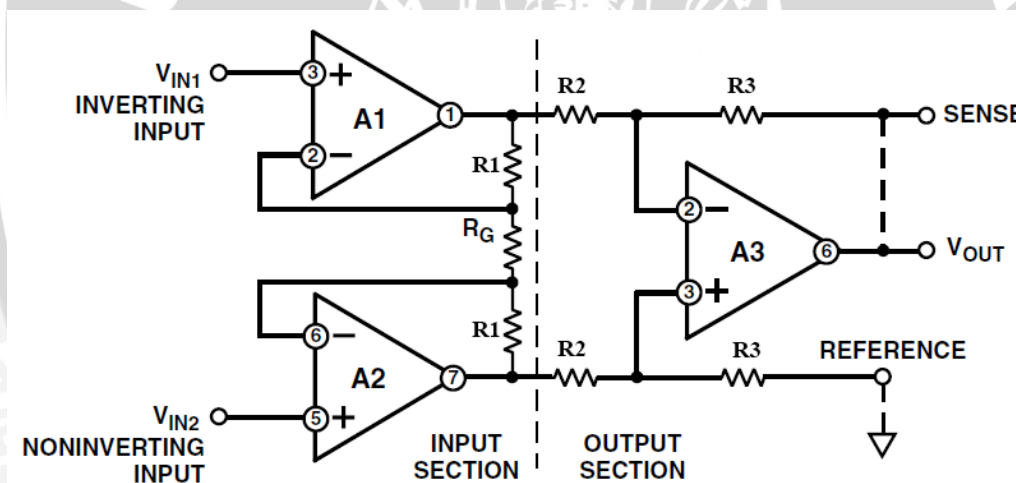
2.3. Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi adalah penguat yang disusun dari tiga buah *op-amp* yang terdiri dari dua buah *buffer* dan satu buah penguat *differential* yang dirangkai menjadi satu. Penguat ini mampu memproses dan menguatkan sinyal keluaran dari sensor sehingga dapat diproses dan diolah oleh mikrokontroler. Penguat instrumentasi yang bagus mempunyai karakteristik:

- Impedansi masukan sangat tinggi
- CMRR tinggi
- Penguatan sangat besar dan presisi

Rangkaian penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Persamaan yang digunakan untuk penguat instrumentasi adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) \left(\frac{R_3}{R_2}\right) (V_2 - V_1) \quad (2-7)$$



Gambar 2.3. Penguat Instrumentasi

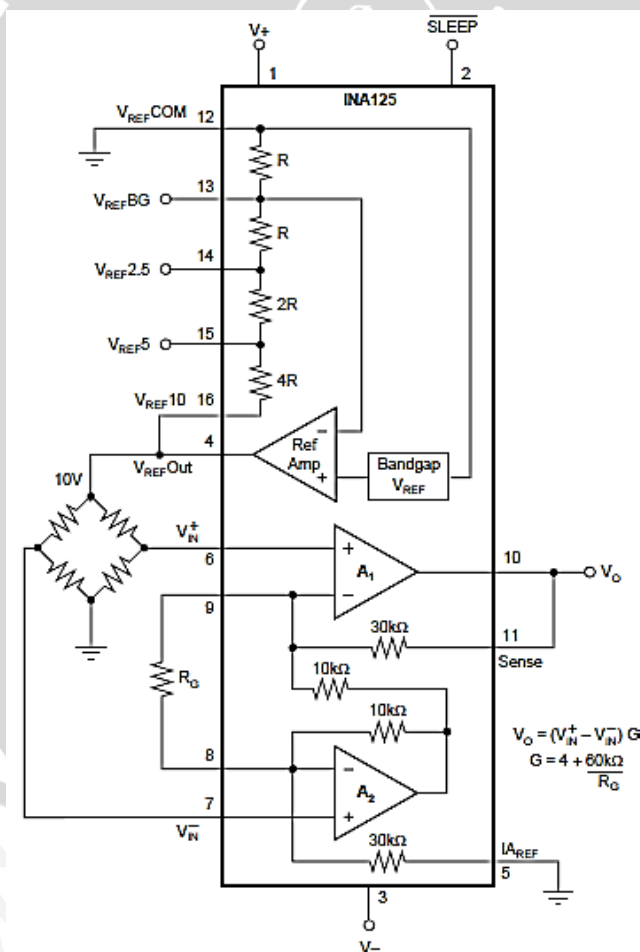
Sumber: Kitchin & Counts (2006)

Pada penelitian ini penguat instrumentasi yang digunakan yaitu penguat INA125. Instrumen penguat ini mengkonsumsi daya yang rendah dan mempunyai tingkat ketelitian tinggi. Penguat menyediakan tegangan referensi yang dapat digunakan sebagai tegangan input sensor dan masukan op-amp differensial yang presisi untuk menguatkan keluaran sensor. Tegangan referensi yang tersedia antara lain 1,25V, 2,5V, 5V dan 10V dengan tingkat akurasi sebesar $\pm 0,5\%$.

Penguat juga dilengkapi dengan kondisi *sleep mode* yang berfungsi untuk menghemat daya saat rangkaian tidak digunakan.

Penguatan dapat diset antara 4 sampai 10.000 kali yang diatur melalui resistor eksternal. Penguat dilengkapi dengan proteksi tegangan internal yang mampu menahan tegangan masukan hingga $\pm 40\text{V}$ tanpa menimbulkan kerusakan. Penguat dibuat dengan teknologi laser-trimmed sehingga menghasilkan tegangan *offset* yang rendah. Penguat dapat dioperasikan menggunakan tegangan masukan tunggal ($+2,7\text{V}$ s.d. $+36\text{V}$) maupun tegangan masukan ganda ($\pm 1,35\text{V}$ s.d. $\pm 18\text{V}$).

Penguat terdiri dari 16 pin dan dispesifikasikan untuk bekerja pada temperatur -40°C s.d. $+85^\circ\text{C}$. Dapat diaplikasikan sebagai penguat sensor suhu, sensor berat, akuisisi data dan proses kontrol industri. Rangkaian internal pada INA125 ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Rangkaian Internal pada Penguat Instrumentasi INA125

Sumber: Texas Instrument (1997)

Keluaran pada penguat ini dihitung menggunakan persamaan:

$$V_O = (V_{IN+} - V_{IN-})G \quad (2-8)$$

dengan:

V_O = Tegangan keluaran penguat (V)

V_{IN+} = Tegangan masukan pada kutub *noninverting*

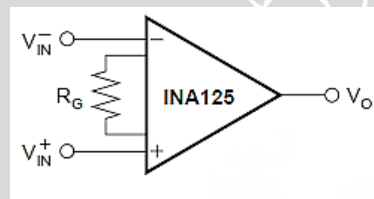
V_{IN-} = Tegangan masukan pada kutub *inverting*

G = Besar penguatan

Resistor yang dapat dipasang pada R_G berkisar antara 6Ω s.d. $60k\Omega$. Perhitungan *Gain* (penguatan) terhadap nilai R_G dihitung menggunakan persamaan:

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G} \quad (2-9)$$

Gain berbanding terbalik terhadap R_G sehingga semakin besar nilai R_G maka penguatan yang dihasilkan semakin kecil dan sebaliknya. Untuk lebih jelasnya tentang nilai R_G dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



DESIRED GAIN (V/V)	R_G (Ω)	NEAREST 1% R_G VALUE (Ω)
4	NC	NC
5	60k	60.4k
10	10k	10k
20	3750	3740
50	1304	1300
100	625	619
200	306	309
500	121	121
1000	60	60.4
2000	30	30.1
10000	6	6.04

Gambar 2.5. Perbandingan Antara Penguatan (*Gain*) dan R_G

Sumber: Texas Instrument (1997)

2.4. Potensiometer *Multi-turn* 10k Ω

Potensiometer *multi-turn* merupakan potensiometer berdaya rendah yang mampu diaplikasikan sebagai sensor pendeteksi rotasi suatu benda. Potensiometer mampu berotasi sampai dengan 3600° dengan output linier terhadap rotasi putaran. Komponen mampu beroperasi pada suhu -55°C s.d. 125°C . Tegangan

maksimal yang mampu melewati lilitan komponen sebesar 141V. Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi komponen dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Spesifikasi Potensiometer *Multi-turn* 10k Ω

Spesifikasi	Keterangan
Resistance	0 to 10k Ω
Linearity(independent)	$\pm 0,25$ %
Electrical Angle	3600 $^{\circ}$
Power Rating	2 W at 70 $^{\circ}$ C
Maximum Voltage	141V
Operating Temperature	-55 to 125 $^{\circ}$ C
Resolution	0,017 %

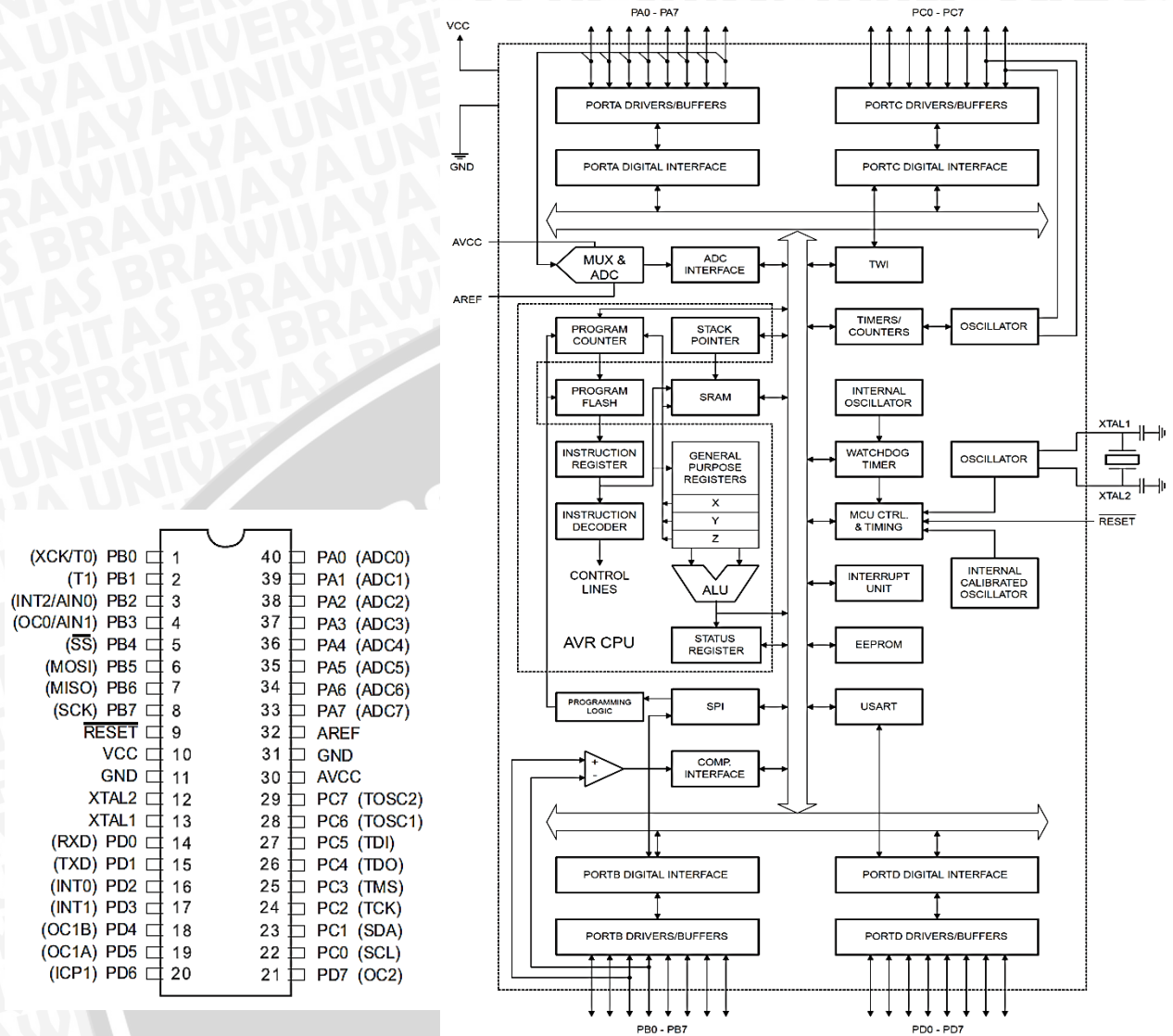
Sumber: Vishay Spectrol (2012)

2.5. Mikrokontroler ATmega16

ATmega16 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit dengan daya rendah berdasarkan pada arsitektur RISC (*reduce instruction set compute*), mampu mengeksekusi sebagian besar instruksi dalam satu kali siklus clock. mikrokontroler mampu mencapai kecepatan 1 MIPS per MHz yang memberikan kemudahan bagi programmer untuk mengoptimalkan kecepatan proses instruksi dan menghemat konsumsi daya.

Mikrokontroler AVR mengkombinasikan berbagai macam set instruksi yang disertai dengan 32 register. Semua register terhubung langsung dengan ALU (*Arithmetic Logic Unit*) dan menyediakan 2 register tersendiri yang bisa diakses pada satu eksekusi instruksi dalam satu siklus clock. Hasil arsitektur ini lebih efisien untuk mengoptimalkan kecepatan hingga 10 kali lebih cepat daripada mikrokontroler CISC (*complex instruction set compute*).

Mikrokontroler AVR diproduksi menggunakan teknologi memori *non-volatile*, memberikan kemampuan terhadap memori yang bisa diprogram ulang sampai dengan 10.000 kali menggunakan antarmuka serial SPI ataupun menggunakan modul program chip. Dengan mengkombinasikan CPU 8 bit RISC dengan rangkaian pengisian program, mikrokontroler ini adalah mikrokontroler yang fleksibel untuk diaplikasikan dalam berbagai sistem kontrol. Gambar 2.6 menunjukkan Diagram blok dan konfigurasi pin pada mikrokontroler.



(a) (b)
 Gambar 2.6. (a) Konfigurasi Pin Mikrokontroler, (b) Diagram Blok Mikrokontroler
 Sumber: Atmel (2010)

Mikrokontroler ini kompatibel dengan berbagai macam program dan sistem peralatan pengembang seperti: *C compiler*, *macro assembler*, program *debugger/simulator* dan program pengembangan lainnya.

2.5.1. ADC pada Mikrokontroler

ADC merupakan suatu fitur pada mikrokontroler yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan analog menjadi nilai digital dengan resolusi 10 bit. Input ADC langsung terhubung pada multiplekser analog 8 saluran yang mampu memproses 8 tegangan masukan dari pin pada PORT A. Perangkat juga

didukung dengan kombinasi 16 tegangan masukan diferensial. Dua dari masukan diferensial (ADC1, ADC0 dan ADC3, ADC2) dilengkapi dengan program tingkat penguatan, menyediakan langkah penguatan dari 0 dB (1x), 20 dB (10x) atau 46 dB (200x). ADC pada mikrokontroler mempunyai fitur sebagai berikut:

- Resolusi 10 bit
- 0,5 LSB integral non-linier
- Ketepatan absolut berkisar ± 2 LSB
- Waktu konversi sekitar 13 μ s- 260 μ s
- Resolusi maksimal sampai dengan 15kSPS
- 8 saluran masukan multiplekser
- 7 saluran masukan diferensial
- 2 saluran masukan diferensial dengan pilihan *gain* 10x dan 200x
- Tegangan masukan ADC berkisar antara 0 – V_{cc}
- Tegangan pilihan untuk referensi ADC sebesar 2,56V
- Konversi ADC bisa dimulai dengan men-*trigger* otomatis pada sumber interupsi
- Dilengkapi dengan interupsi ketika proses konversi ADC selesai

Perhitungan teori terhadap konversi ADC dihitung menggunakan persamaan:

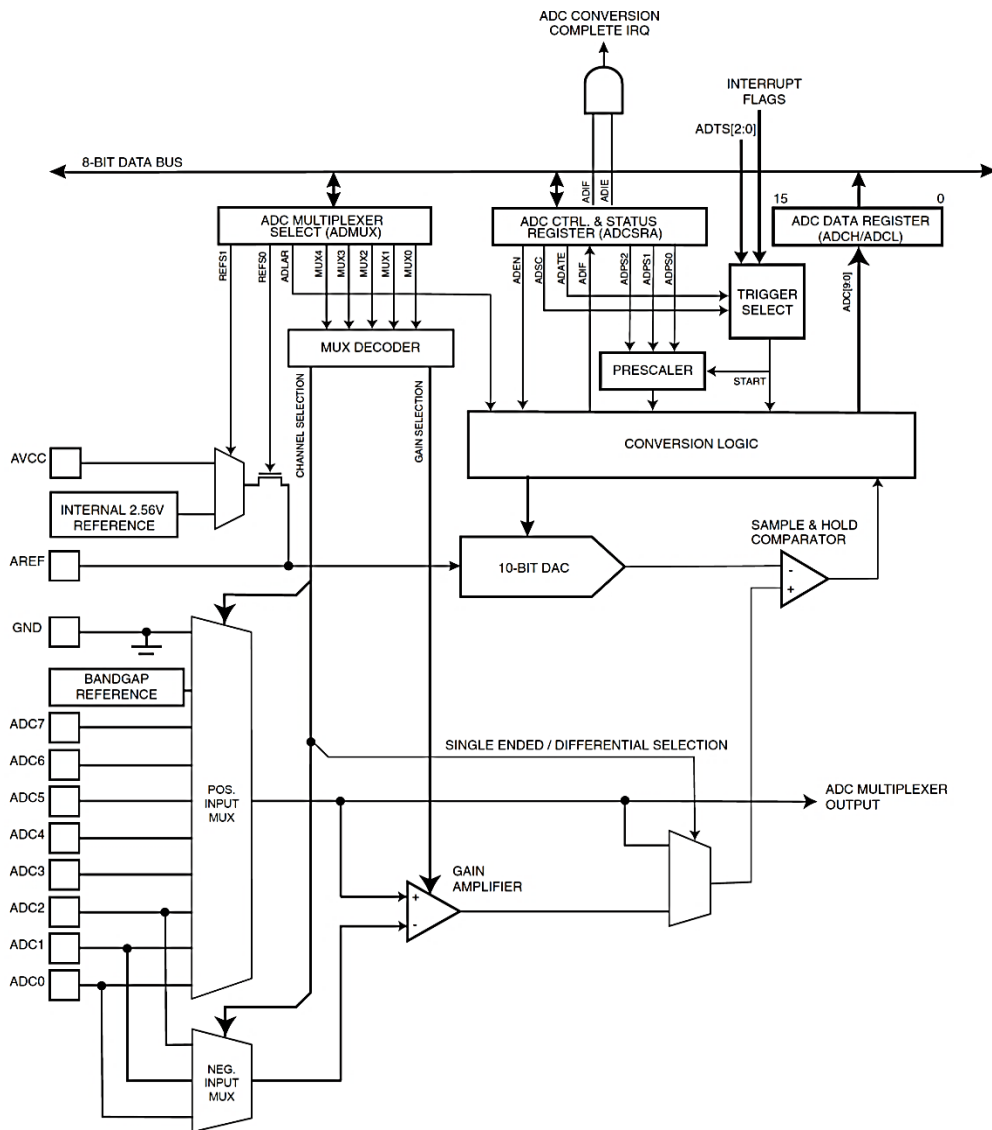
$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (2-10)$$

Dengan:

V_{IN} = Tegangan masukan pada pin ADC (V)

V_{REF} = Tegangan referensi yang digunakan (V)

Gambar 2.7 menunjukkan Diagram blok ADC pada ATmega16.



Gambar 2.7. Diagram Blok ADC pada Mikrokontroler

Sumber: Atmel (2010)

2.5.2. Mode *Fast PWM* pada Mikrokontroler

Mode *fast PWM* adalah mode pada mikrokontroler yang mampu membangkitkan bentuk gelombang PWM berfrekuensi tinggi. Mode *fast PWM* berbeda dari mode PWM lainnya karena dioperasikan berdasarkan operasi *single-slope*, perbedaannya terletak pada perhitungan *counter* didalam PWM tersebut. Pada mode ini *counter* dihitung dari *BOTTOM* menuju *TOP* kemudian kembali lagi dari *BOTTOM*. Terdapat 2 mode keluaran pada mode *fast PWM*, yaitu mode *non-inverting* dan mode *inverting*. Pada mode keluaran *non-inverting*, OC1x akan dihapus ketika nilai *counter* antara TCNT1 dan OCR1x bernilai sama, kemudian nilai *counter* akan dimulai kembali pada *BOTTOM*, sedangkan pada mode

inverting, nilai *counter* dimulai ketika TCNT1 dan OCR1x bernilai sama dan akan dihapus ketika nilai mencapai *BOTTOM*.

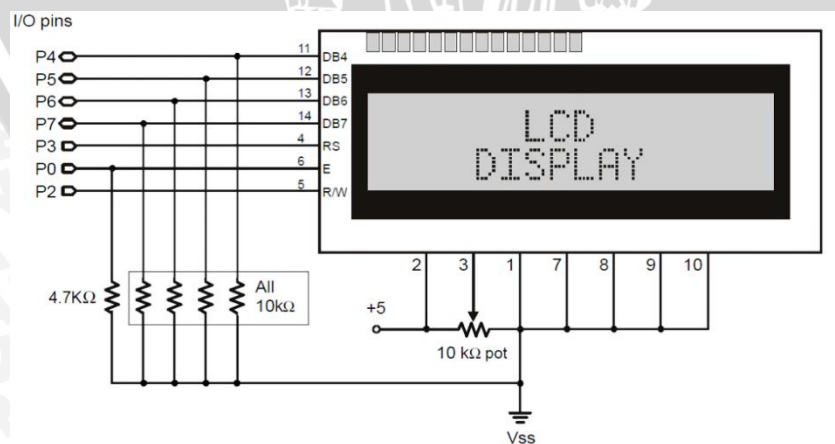
Ketika beroperasi pada *single-slope*, Frekuensi pada mode *fast PWM* dua kali lebih besar daripada *phase correct* dan *phase and frequency correct PWM* yang beroperasi pada *dual-slope*. Frekuensi tinggi ini membuat mode *fast PWM* lebih cocok digunakan untuk mengatur daya, memperbaiki bentuk sinyal dan sebagai aplikasi DAC.

Resolusi PWM pada mode *fast PWM* dapat ditetapkan sehingga bernilai 8 bit, 9 bit, 10 bit dan dapat didefinisikan berdasarkan nilai ICR1 atau OCR1A. Resolusi minimal pada mode *fast PWM* bernilai 2 bit (ICR1 atau OCR1A diatur dengan nilai 0x0003), dan resolusi maksimalnya bernilai 16 bit (ICR1 atau OCR1A diatur pada nilai maksimal). Resolusi PWM dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R_{FPWM} = \frac{\log(TOP+1)}{\log(2)} \quad (2-11)$$

2.6. LCD

LCD merupakan komponen yang digunakan sebagai penampil karakter yang dikirimkan oleh mikrokontroler. Karakter yang ditampilkan dapat berupa teks, data numerik atau karakter yang dibuat khusus. LCD yang digunakan pada penelitian ini yaitu LCD 2x16 yang terhubung dengan antarmuka mikrokontroler dengan jalur pengiriman data sebesar 4 bit. Konfigurasi pin pada LCD dapat dilihat dalam Gambar 2.8 dan fungsi tiap pin ditunjukkan dalam Tabel 2.3.



Gambar 2.8. Konfigurasi pin LCD 2x16

Sumber: Parallax (2005)

Tabel 2.3. Fungsi Pin LCD

Nama Pin	Fungsi
DB0-DB7	Jalur pengiriman data
E	Sinyal untuk mengaktifkan LCD
R/W	Sinyal pengendali tulis atau baca 0 : tulis, 1 : baca
RS	Sinyal pemilih register
Vo	Tegangan Masukan untuk kecerahan LCD
Vdd	Tegangan masukan +5 volt.
Vss	Terminal ground.

Sumber: Parallax (2005)

LCD dirancang hanya untuk menampilkan karakter saja, sehingga pengguna tidak bisa mengirimkan tipe data *integer*, *float*, *long* dan lainnya menuju ke LCD. 8 jalur pengiriman data hanya membawa karakter dari kode ASCII 8-bit yang dikirimkan dari mikrokontroler menuju LCD. Data yang dikirim menuju LCD dapat menggunakan mode pengiriman 8 bit atau mode pengiriman 4 bit. Jika mode 4 bit digunakan, maka data dibagi menjadi 2 bagian (data pertama terdiri dari 4 bit data tertinggi dan data kedua terdiri dari 4 bit data terendah) dan dikirimkan secara bergantian. Mode 8 bit digunakan ketika pengiriman data memerlukan kecepatan tinggi. Pada mode 4 bit, jalur data yang dibutuhkan minimal 7 pin jalur I/O sedangkan mode 8 bit, jalur data yang dibutuhkan minimal 11 pin jalur I/O.

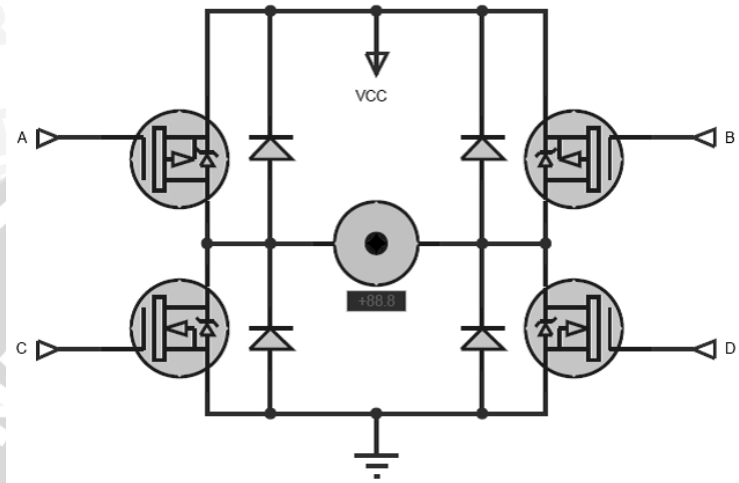
2.7. Driver MOSFET

Rangkaian *driver* MOSFET terdiri dari komponen MOSFET IRF9540, IRF540 dan Optocoupler PC817. Driver dirancang membentuk *H-bridge* sehingga aktuator berupa Motor DC dapat bekerja dengan membuka atau menutup katup saluran. Berikut penjelasan mengenai komponen penyusun rangkaian *driver* MOSFET.

2.7.1. Teori Dasar *H-Bridge*

H-Bridge adalah rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor yang konfigurasi atau susunan komponen utamanya membentuk huruf H.

Rangkaian ini terdiri dari 2 buah MOSFET *channel* P dan 2 buah MOSFET *channel* N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur keempat MOSFET tersebut bekerja secara berpasangan, sehingga motor mampu berputar searah jarum jam ataupun sebaliknya. Rangkaian dasar *H-Bridge* ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



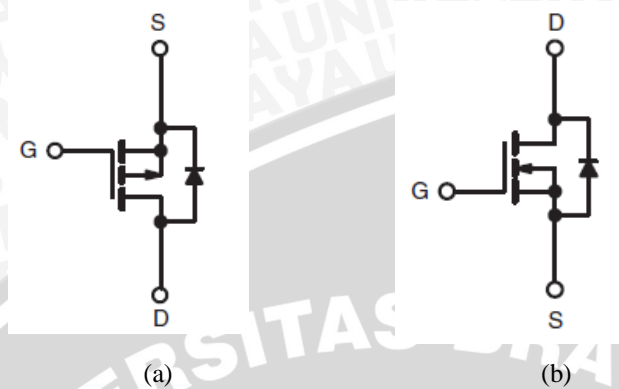
Gambar 2.9. Rangkaian Dasar *H-Bridge*

Pada Gambar 2.9 dapat dilihat pada bagian tengah adalah motor yang akan dikontrol oleh rangkaian *H-Bridge*. Pada saat MOSFET A dan MOSFET D bekerja, maka MOSFET B dan MOSFET C dalam keadaan mati. Dalam keadaan ini MOSFET A menghubungkan motor DC menuju V_{CC} dan MOSFET D menghubungkan motor DC menuju *ground* sehingga motor DC berputar searah jarum jam. Sebaliknya jika MOSFET B dan MOSFET C bekerja, maka MOSFET A dan MOSFET D dalam keadaan mati sehingga motor DC berputar melawan arah jarum jam.

2.7.2. MOSFET

MOSFET merupakan komponen yang dapat difungsikan sebagai saklar otomatis yang sangat cepat didalam rangkaian. Pada penelitian ini MOSFET yang digunakan yaitu MOSFET bertipe IRF9540 dan IRF540. IRF9540 merupakan jenis MOSFET *channel* P dan IRF540 merupakan jenis MOSFET *channel* N yang sama-sama memiliki kelebihan dapat beroperasi pada suhu maksimal 175°C , dapat melakukan *switch* dengan cepat dan dapat digunakan secara paralel. MOSFET didesain untuk penggunaan daya maksimum sebesar 150 W dan mampu

diaplikasikan pada perangkat industri komersial. Simbol MOSFET *channel P* dan *channel N* ditunjukkan dalam Gambar 2.10, sedangkan spesifikasi kedua mosfet yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 2.4.



Gambar 2.10. (a) MOSFET *channel P*, (b) MOSFET *channel N*

Sumber: Vishay Siliconix (2011)

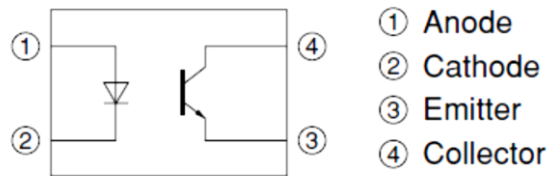
Tabel 2.4. Spesifikasi MOSFET IRF9540 dan IRF540

Spesifikasi	Tipe MOSFET	
	IRF9540	IRF540
Operating Temperature	-55 to +175°C	-55 to +175°C
Drain-Source Voltage	-100V	100V
Continuous Drain Current	-19A	28A
Maximum Power Dissipation	150W	150W
Turn-On Delay Time	16ns	11ns
Turn-Off Delay Time	34ns	53ns

Sumber: Vishay Siliconix (2011)

2.7.3. Optocoupler

Optocoupler merupakan komponen yang didalamnya terdapat optik *infrared* yang dipasangkan dengan *phototransistor*. Prinsip kerja optocoupler yaitu jika *infrared* mendapat tegangan maka secara otomatis akan membuat *phototransistor* bekerja dengan menghubungkan kolektor dan emitor. Optocoupler yang digunakan dalam penelitian ini bertipe PC817. Komponen ini Mampu mengisolasi tegangan pada *input-output* hingga 5 kV dan mampu melewati tegangan pada kolektor-emitor hingga 80V. Rangkaian internal PC817 dapat dilihat dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Rangkaian Internal PC817

Sumber: SHARP Corporation (2005)

Fitur Optocoupler PC817 antara lain:

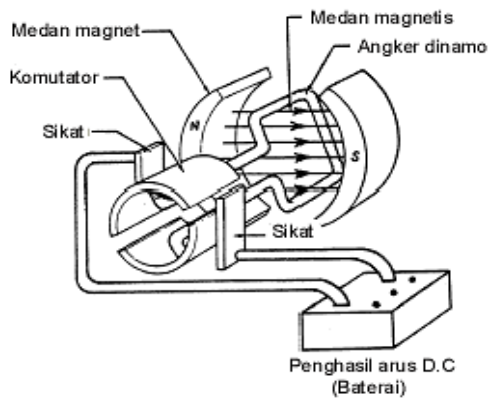
- Mampu melewati tegangan hingga 80V ($V_{CE} = 80V$)
- Rasio transfer arus (Min : 50% pada $I_F = 5mA$ dan $V_{CE} = 5V$)
- Isolasi tegangan tinggi antara input dan output ($V_{ISO(rms)} = 50kV$)
- penekanan noise didalam rangkaian *switching*
- Mampu diterapkan sebagai isolasi I/O pada mikrokontroler

2.8. Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Dengan memberikan beda tegangan pada kedua terminal maka motor akan berputar searah jarum jam, dan bila polaritas dari tegangan tersebut dibalik maka arah putaran motor akan terbalik. Motor DC memiliki 2 bagian dasar yaitu:

- 1) Bagian yg tetap/stasioner yg disebut stator. Stator ini menghasilkan medan magnet, baik yg dibangkitkan dari sebuah koil (elektro magnet) ataupun magnet permanen.
- 2) Bagian yg berputar disebut rotor. Rotor ini berupa sebuah koil dimana arus listrik mengalir.

Gaya elektromagnet pada motor DC timbul saat ada arus yang mengalir pada penghantar yang berada dalam medan magnet. Medan magnet itu sendiri ditimbulkan oleh magnet permanen. Garis – garis gaya magnet mengalir diantara dua kutub magnet dari kutub utara ke kutub selatan.



Gambar 2.12. Konstruksi Motor DC

Sumber: Hudaya (2012)

