II. TINJAUAN PUSTAKA

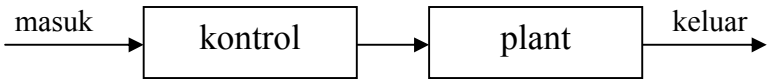
2.1. Pengertian Sistem Kendali

Sistem kendali adalah suatu sistem yang keluaran sistemnya dikendalikan pada suatu nilai tertentu atau untuk mengubah beberapa ketentuan yang telah ditetapkan oleh masukan ke sistem[4]. Sebagai contoh adalah sebuah kendali suhu pada sistem pusat pemanasan di sebuah rumah, mempunyai masukan dari thermostat atau panel kendali yang telah ditentukan suhunya dan menghasilkan keluaran berupa suhu aktual. Suhu ini diatur dengan sistem kendali sehingga sesuai dengan nilai yang ditentukan oleh masukan pada sistem. Secara umum sistem kendali dapat dibagi menjadi 2 jenis, seperti dijelaskan dibawah ini.

2.1.1. Sistem Kendali Kalang Terbuka *(Open Loop)*

Kalang terbuka atau *open loop* merupakan sebuah sistem yang tidak dapat mengubah dirinya sendiri terhadap perubahan situasi yang ada. Dengan kata lain, sistem kendali kalang terbuka tidak dapat digunakan sebagai perbandingan umpan balik dengan masukan. Hal ini disebabkan karena tidak adanya umpan balik (*feedback)* pada sebuah sistem kalang terbuka. Sistem ini masih membutuhkan manusia yang bekerja sebagai operator. (Sulistiyanti, Setiawan, 2006)

Dapat dilihat blog diagram kalang terbuka pada Gambar 2.1

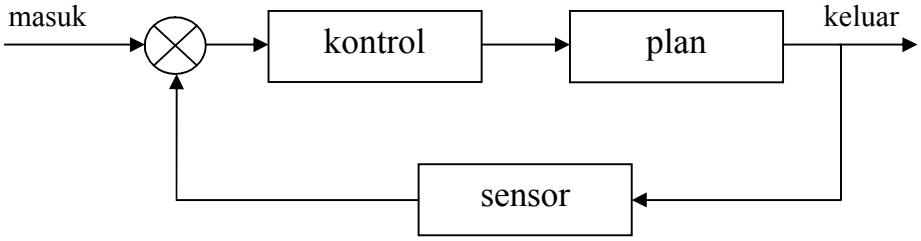


Gambar 2.1 Pengendali kalang terbuka

Pada sistem kalang terbuka masukan dikendalikan oleh manusia sebagai operator, dan perubahan kondisi lingkungan tidak akan langsung direspon oleh sistem, melainkan dikendalikan oleh manusia. Contoh dari sistem kendali kalang terbuka adalah kipas angin, dimana kuatnya putaran motor dikendalikan oleh manusia.

2.1.2. Sistem Kendali Kalang Tertutup *(Close Loop)*

Sistem kendali kalang tertutup merupakan sebuah sistem kontrol yang nilai keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Pada rangkaian *loop* tertutup sinyal *error* yang merupakan selisih antara sinyal masukan dengan sinyal umpanbalik *(feedback)*, lalu diumpankan pada komponen pengendali *(controller)*. Umpan balik ini dilakukan untuk memperbaiki nilai keluaran *(output)* sistem agar semakin mendekati nilai yang diinginkan dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pengendali Kalang Tertutup

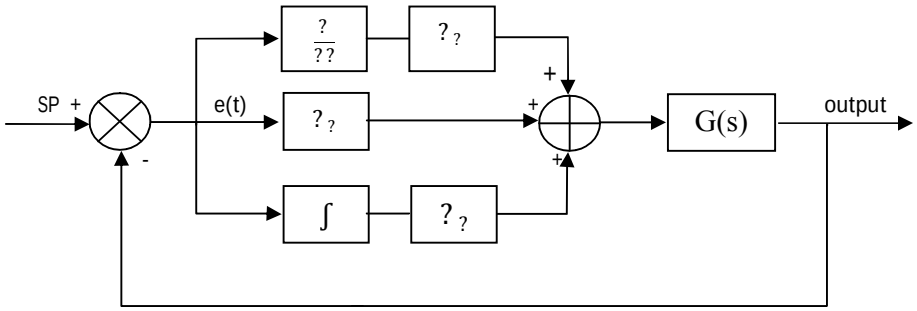
Keuntungan dari sistem kalang tertutup ini adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan *eksternal* dan perubahan *internal* pada parameter sistem. Contoh dari sistem kendali kalang tertutup adalah pengatur suhu ruangan menggunakan *Air Conditioning* (AC) dengan cara membandingkan suhu ruangan sebenarnya dengan nilai suhu yang dikehendaki, dan dengan cara meningkatkan kinerja AC suhu ruangan menjadi seperti yang diinginkan. Secara garis besar, sistem kendali jika ditinjau dari ketelitian dan kesetabilan sistem dapat dibagi atas dua bagian,yaitu :

a. Sistem kendali dengan menggunakan PID *Controller.*

b. Sistem kendali on - off.

2.2. Sistem Kontrol PID *(Proportional Integral Derivatif*)

Sistem Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tesebut (*Feed back*). Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), I (*Integral*) dan D (*Derivatif*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran system terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.



Gambar 2.3. Blok diagram kendali PID

2.2.1. Kontrol Proporsional

Kontrol P dapat dinyatakan sebagai P(s) = e • Kp, dengan Kp adalah Konstanta Proporsional. Kp berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time.

2.2.2. Kontrol Integral

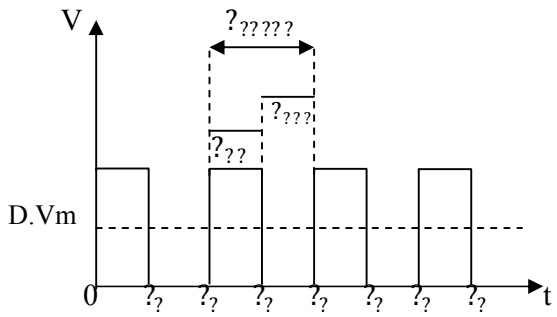
Kontrol I dapat dinyatakan sebagai I(s) = ∫e(t)dt • Ki dengan Ki adalah konstanta Integral. Jika e(t) mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan Ki yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan Ki yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem

2.2.3. Kontrol Derivatif

Kontrol D dapat dinyatakan sebagai D(s) = $\frac{??(?)}{??}$ • Kd. Dari persamaan di tersebut, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks "kecepatan" atau rate dari *error*. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi. Kontrol Derivatif digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi. Kontrol Derivatif hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat *error* statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivative tidak dapat dipakai sendiri

2.3. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (duty cylce) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa merupakan kondisi high kemudian berada di zona transisi ke kondisi low. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Duty Cycle merupakan representasi dari kondisi logika high dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%, sebagai contoh jika sinyal berada dalam kondisi high terus menerus artinya memiliki duty cycle sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan high sama dengan keadaan low maka sinyal mempunyai duty cycle sebesar 50%. PWM adalah suatu jalan atau cara yang efisien dalam menyediakan sejumlah tegangan listrik antara kondisi high dan kondisi low. Saklar tegangan sederhana dengan sumber tegangan yang tipikal hanya menyediakan tegangan penuh, ketika saklar dihidupkan.



Gambar 2.4. Tegangan searah setelah dipenggal

Apabila tegangan searah dipenggal secara teratur seperti tercantum pada gambar 2.4. diatas, yaitu pada waktu ?? dimatikan, ?? dihidupkan kembali, ?? dimatikan dan seterusnya, maka ada tegangan searah yang secara teratur terputus-putus, dimana besarnya tergantung pada ?? dan ???, yaitu :

$$V = D.Vm$$

Dimana :

$$? = \frac{??}{?? + ???} = \frac{??}{?????}$$

Keterangan :

D = duty cycle

Vm = Tegangan mutu

Untuk mengeset detak pencacah (counter) dan pewaktu (timer) untuk membangkitkan sinyal dan besarnya periode PWM.

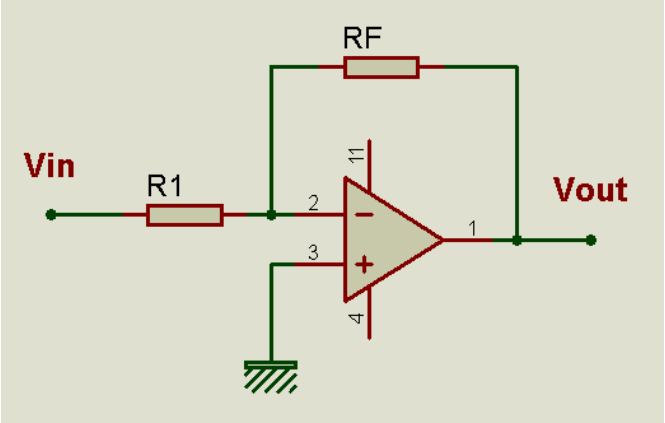
2.4. Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran PWM dari ATmega 8535 agar bisa diolah dengan baik oleh transistor - transistor penguat. Ada beberapa jenis pengkondisi sinyal, diantaranya adalah :

2.4.1. *Inverting Amplifier*

Inverting amplifier adalah penguat yang memiliki polaritas keluaran berlawanan dengan polaritas masukannya. Penguatan mutlak inverting amplifier dapat bernilai kurang dari atau lebih dari 1. Rangkaian penguat inverting amplifier dapat dilihat pada gambar 2.5 dan persamaannya dituliskan sebagai :

$$?_? = -\frac{?_?}{?_?}\,?_?$$

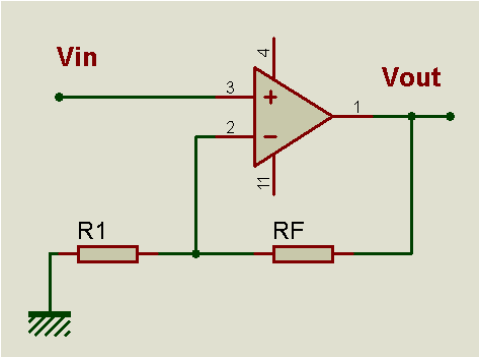


Gambar 2.5 Rangkaian Inverting Amplifier

2.4.2. *Non-inverting Amplifier*

Non-inverting amplifier memiliki polaritas keluaran sama dengan polaritas masukannya. Berbeda dengan inverting amplifier, pada penguat non-inverting amplifier, penguatannya selalu bernilai lebih dari 1. Rangkaian penguat non-inverting amplifier dapat dilihat pada gambar 2.6 dan persamaannya dituliskan sebagai berikut :

$$?_? = ?\frac{?_? + ?_?}{?_?}? ?_?$$



Gambar 2.6 Rangkaian Non-inverting Amplifier

2.5. Mikrokontroler ATmega 8535[1]

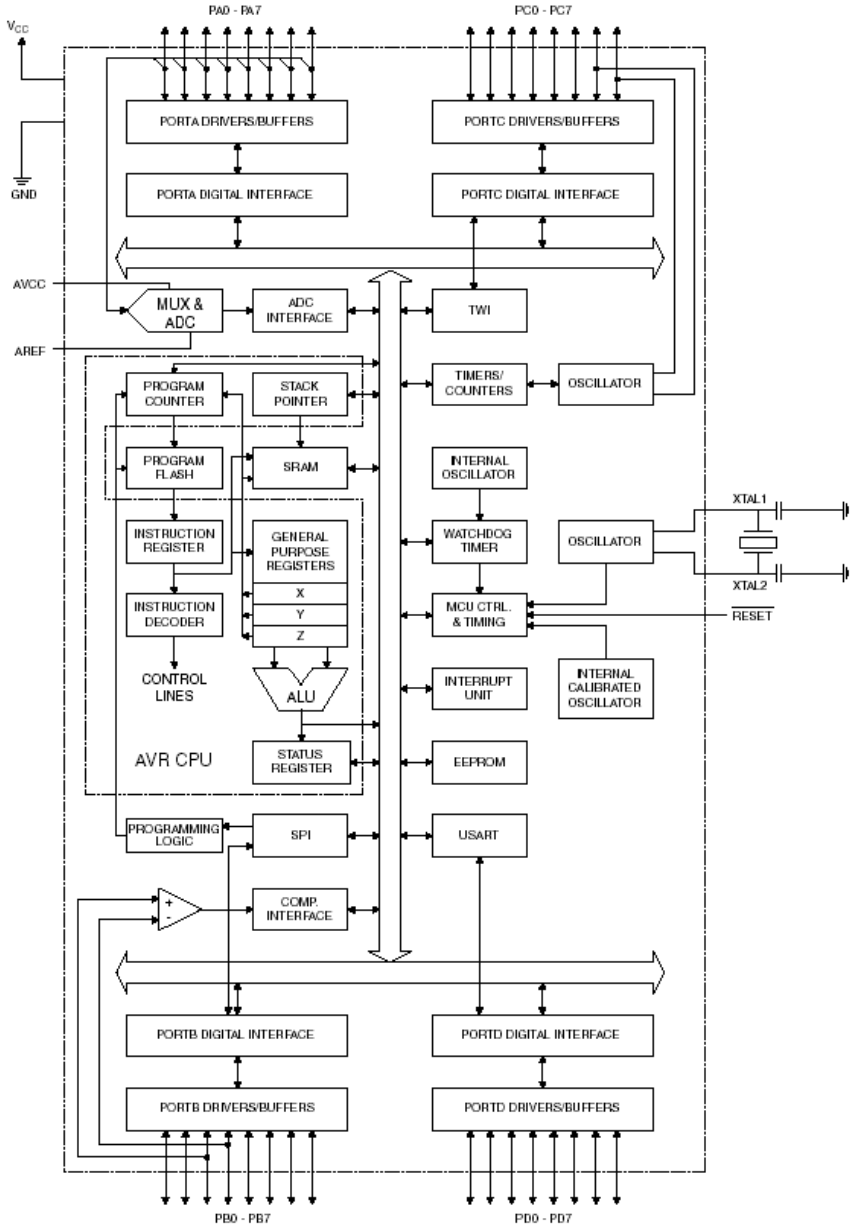
Mikrokontroler adalah prosesor mikro yang terdiri dari CPU ditambah dengan RAM, ROM, I/O ports, dan timer yang jumlahnya tetap dan dikemas dalam satu chip. Mikrokontroler merupakan salah satu bagian dasar dari suatu sistem komputer. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler adalah alat yang mengerjakan instruksi-instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang programer. Oleh karena bentuk mikrokontroler

yang berukuran kecil, pada umumnya ditujukan untuk melakukan tugas-tugas yang berorientasi kontrol pada rangkaian yang membutuhkan jumlah komponen minimum dan biaya rendah. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluaran AtTiny, keluaran AT90Sxx, keluaran ATMega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur yang digunakan, bisa dikatakan hampir sama.

Dalam penelitian ini digunakan salah satu AVR produk Atmel, yaitu ATmega 8535. Atmel AVR adalah jenis mikrokontroler yang sering dipakai dalam bidang elektronika dan instrumentasi. Mikrokontroler AVR ini memiliki arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computer) delapan bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16 bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock. ATmega 8535 dapat beroperasi pada kecepatan maksimal 16 MHz serta memiliki 6 pilihan mode sleep untuk menghemat penggunaan daya listrik.

2.5.1. Arsitektur ATmega 8535[1]

Berikut ini adalah gambaran arsitektur mikrokontroler ATmega 8535 :



Gambar 2.7 Arsitektur Mikrokontroler ATMega 8535

(http://e-belajarelektronika.com/arsitektur-mikrokontroler-avr-atmega-8535/)

Dari gambar 2.7. tersebut dapat dilihat bahwa ATMega8535 memiliki bagian sebagai berikut :

a. 32 saluran I/O (Port A, Port B, Port C, dan Port D)
b. 10 bit 8 Channel ADC (Analog to Digital Converter)
c. 4 channel PWM
d. 6 Sleep Modes : Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
e. 3 buah timer/counter
f. Analog comparator
g. Watchdog timer dengan osilator internal
h. 512 byte SRAM
i. 512 byte EEPROM
j. 8 kb Flash memory dengan kemampuan Read While Write
k. Unit interupsi (internal & eksternal)
l. Port antarmuka SPI8535 “memory map”
m. Port USART untuk komunikasi serial dengan kecepatan maksimal 2,5Mbps
n. 4.5 sampai 5.5V operation, 0 sampai 16MHz

2.5.2. Konfigurasi Pin ATmega8535

Konfigurasi pin ATmega8535 bisa dilihat pada Gambar 2.8 yang secara fungsional konfigurasi pin ATmega8535 sebagai berikut:

a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan daya.
b. GND merupakan pin *ground.*
c. *Port* A (PA0..PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.

d. *Port* B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer*/*Counter*, komparator analog, dan SPI.

e. *Port* C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *Timer Oscilator*.

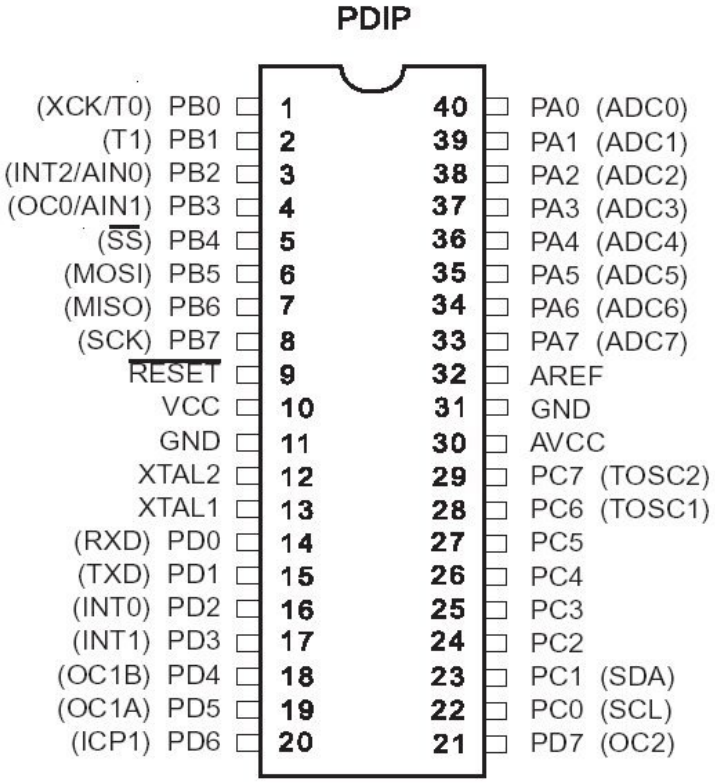
f. *Port* D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator analog, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.

g. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler.

h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.

i. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.

j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

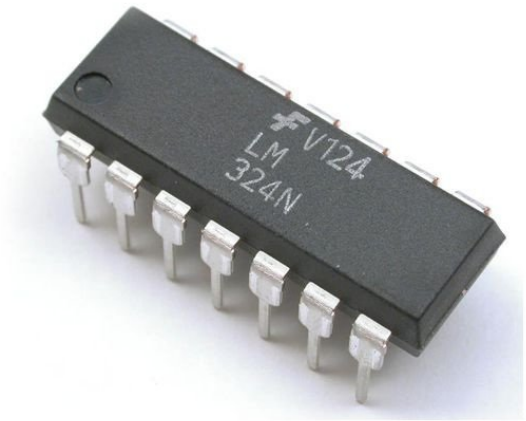


Gambar 2.8 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8535.

(atmel88.blogspot.co.id/2011/07/sistem-kontrol-tertutup-mikrokontroler.html)

2.6. IC LM324 (OP Amp)

IC LM324 atau yang biasa disebut operational amplifier (op amp) merupakan sebuah chip IC yang dapat digunakan sebagai penguat tegangan DC maupun tegangan AC, atau sebagai komparator.Dalam satu buah IC LM324 terdapat 4 buah operational amplifier. Berikut ini adalah penampakan fisik dari IC LM324:



Gambar 2.9 Bentuk Fisik IC LM324

(http://www.componentsindia.com/product.php?id_product=58)

Konfigurasi Pin IC LM324

Konfigurasi pin IC LM324 bisa dilihat pada Gambar 2.9 yang secara fungsional konfigurasi pin IC LM324 sebagai berikut:

a. Output 1, merupakan pin yang berfungsi sebagai pin keluaran hasil penguatan sinyal masukan pada pin input 1.
b. Input 1 (-), merupakan pin masukan inverting amplifier 1.
c. Input 1 (+), merupakan pin masukan inverting amplifier 1.
d. VCC, merupakan pin catu daya.
e. Input 2 (+), merupakan pin masukan inverting amplifier 2.

f. Input 2 (-), merupakan pin masukan inverting amplifier 2.

g. Output 2, merupakan pin yang berfungsi sebagai pin keluaran hasil penguatan sinyal masukan pada pin input 2.

h. Output 3, merupakan pin yang berfungsi sebagai pin keluaran hasil penguatan sinyal masukan pada pin input 3.

i. Input 3 (-), merupakan pin masukan inverting amplifier 3.

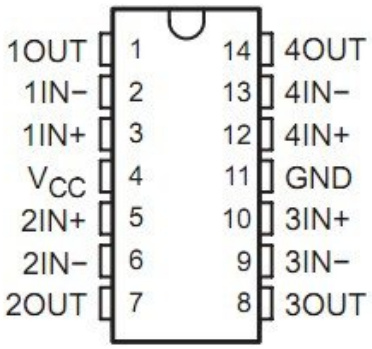
j. Input 3 (-), merupakan pin masukan inverting amplifier 3.

k. GND, merupakan pin ground.

l. Input 4 (+), merupakan pin masukan inverting amplifier 4.

m. Input 4 (-), merupakan pin masukan inverting amplifier 4.

n. Output 4, merupakan pin yang berfungsi sebagai pin keluaran hasil penguatan sinyal masukan pada pin input 4.



Gambar 2.10. Konfigurasi pin IC LM324.

(http://fajar-el-ridikc.blogspot.com/2014/08/fungsi-op-amp-operational-amplifier-ic.html#.VnYeofl97IU)

2.7. Transistor

Transistor adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 3 kaki elektroda, yaitu Basis (Dasar), Kolektor (Pengumpul) dan Emitor (Pemancar). Komponen ini berfungsi sebagai penguat, pemutus dan penyambung (*switching*),

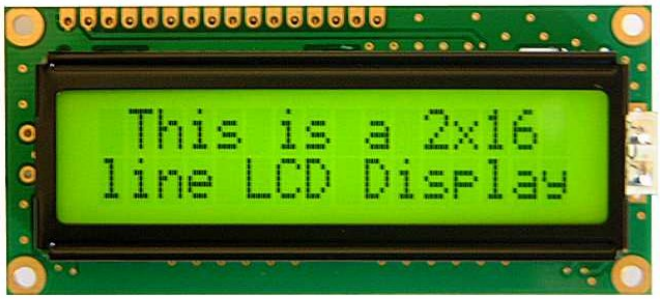
stabilitasi tegangan, modulasi sinyal dan masih banyak lagi fungsi lainnya. Selain itu, transistor juga dapat digunakan sebagai kran listrik sehingga dapat mengalirkan listrik dengan sangat akurat dan sumber listriknya.

Gambar 2.11. Transistor

(http://komponenelektronika.biz/pengertian-transistor.html)

2.8. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD bisa memunculkan gambar atau tulisan dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (pixel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya.



Gambar 2.12. LCD Karakter 2x16

(bekoy.wordpress.com/2012/02/15/pemrograman-lcd-karakter-2x16-menggunakan-cv-avr/)

LCD yang akan digunakan dalam pembuatan alat ini adalah LCD dengan tipe karakter 2 x 16 yaitu alat penampil yang dibuat pabrikan umum dijual dipasaran standar dan dapat menampilkan karakter 2 baris dengan tiap baris 16 karakter. Pada pembuatan tugas akhir ini, LCD akan digunakan sebagai penampil kondisi tegangan dengan pembacaan nilai ADC pada PORT mikrokontroler. Berikut tabel pin LCD 2X16.

Tabel 2.1. Susunan kaki LCD 2X16

No.	Nama Pin	Deskripsi	Port
1	VCC	+5V	VCC
2	GND	0V	GND
3	VEE	Tegangan kontras LCD	
4	RS	Register Select, 0 = Input intruksi, 1 = Input data	PD0
5	R/W	1 =Read; 0 = Write	PD1
6	E	Enable Clock	PD2
7	D4	Data Bus 4	PD4
8	D5	Data Bus 5	PD5
9	D6	Data Bus 6	PD6
10	D7	Data Bus 7	PD7
11	Anoda	Tegangan positif backlight	
12	Katoda	Tegangan negatif backlight	

Perlu diketahui, driver LCD seperti ini memiliki dua register yang aksesnya diatur menggunakan pin RS. pada saat RS berlogika 0, register yang diakses adalah perintah , sedangkan pada saat RS berlogika 1, register yang diakses adalah register data

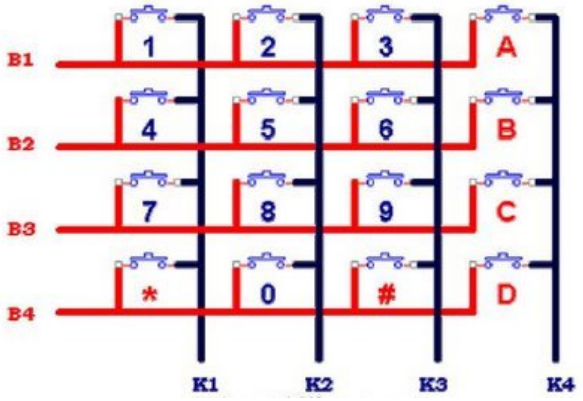
2.9. Keypad

Ketypad adalah suatu alat kunci matriks yang memungkinkan pengguna memasukkan informasi ke alat atau perangkat lainnya. *Keypad* umumnya digunakan pada pesawat telepon digital, *handphone*, aplikasi untuk sistem pengamanan seperti digital *key*, dan lain sebagainya. *Keypad* mempunyai banyak ukuran, seperti *keypad* 4x1, *keypad* 4x2, *keypad* 4x3, dan *keypad* 4x4. Makna dari penulisan *keypad* BxK adalah B menyatakan banyaknya baris pada keypad, dan K menyatakan banyaknya kolom pada keypad.

Gambar 2.13. *Keypad* 4x4

(https://www.parallax.com/product/27899)

Jika dibongkar dalamnya modul ini dan digambarkan diagram skematiknya, maka dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Diagram skematik *keypad* 4x4

Ada 16 buah tombol pushbutton yang dirancang sedemikian hingga menjadi 4 jalur kolom (K1,K2,K3,K4) dan 4 jalur baris (B1,B2,B3,B4). Dari kontruksi ini, didapatkan data-data karakteristiknya sebagai berikut :

1. jika tidak ada penekanan tombol sama sekali, maka semua jalur akan saling lepas (tidak ada yang tersambung)

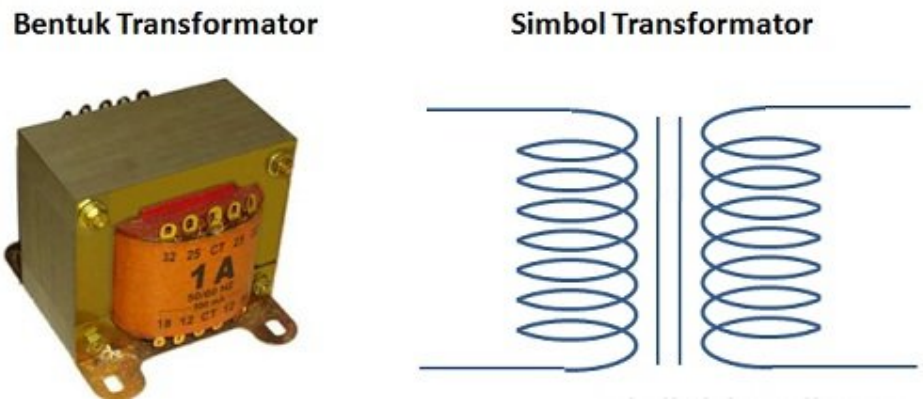
2. Tidak ada satu kondisipun yang memungkinkan terjadinya persambungan antar sesama jalur kolom atau antar sesama jalur baris, kecuali ada penekanan lebih dari satu tombol. Misalnya tombol 1 dan tombol 2 ditekan bersamaan, maka K1-K2-B1 akan tersambung.

3. Untuk penekanan hanya satu tombol, maka hanya terjadi persambungan antara jalur kolom dan jalur baris yang terhubung pada tombol yang ditekan tersebut. Misalnya, jika 1 ditekan, maka K1-B1 akan tersambung

Karena pada kebanyakan aplikasi hanya diperlukan pendeteksian terhadap penekanan satu tombol saja, maka selanjutnya akan dibahas penanganan terhadap penekanan satu tombol saja dan mengabaikan penekanan lebih dari satu tombol.

2.10. Transformator

Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari pengubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan Tegangan dari 110VAC ke 220 VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.



Gambar 2.15. Bentuk dan simbol transformator

(http://teknikelektronika.com/pengertian-transformator-prinsip-kerja-trafo)

Trafo yang banyak digunakan dalam rangkaian elektronika adalah Trafo Step-Down. Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.

2.11. Pemrograman Mikrokontroller

1. Bahasa C[1]

Bahasa pemrograman C merupakan salah satu bahasa pemrograman komputer. Dibuat pada tahun 1972 oleh Dennis Ritchie untuk Sistem Operasi Unix di Bell Telephone Laboratories. Meskipun C dibuat untuk memprogram sistem dan jaringan komputer namun bahasa ini juga sering digunakan dalam mengembangkan software aplikasi. C juga banyak dipakai oleh berbagai jenis platform sistem operasi dan arsitektur komputer, bahkan terdapat beberepa compiler yang sangat populer telah tersedia. C secara luar biasa memengaruhi bahasa populer lainnya, terutama C++ yang merupakan extensi dari C.

2. CodeVision AVR

Dalam memprogram chip mikrokontroller atmega8535 pada proyek tugas akhir ini digunakan software CodeVision AVR. Code vision AVR merupakan Software untuk membuat code program microcontroller AVR. kebanyakan programmer memakai software ini karena fasilitas-fasilitas yang disediakan CodeVision AVR sangat memudahkan bagi programmer dalam membuat code. HP InfoTech menyajikan versi baru (lebih dari 9500 pengguna terdaftar) yang paling populer C Compiler komersial untuk Atmel AVR.