

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Dasar Pengatur Jarak

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering mendengar istilah “jarak”. Jarak dapat diartikan sebagai panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu. Jarak juga bisa menyatakan posisi suatu benda terhadap titik acuan tertentu. Misalnya, Kota Denpasar berjarak 50 km dari objek wisata Garuda Wisnu Kencana.

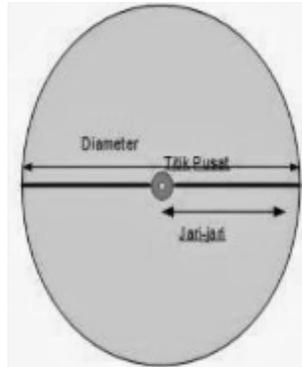
2.1.1 Definisi Jarak Dan Perpindahan

Jarak adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda dalam selang waktu tertentu. Dalam ilmu Fisika, jarak dan panjang lintasan memiliki pengertian yang sama. Panjang lintasan dan jarak keduanya merupakan besaran skalar, yaitu besaran yang hanya memiliki besar saja. Sebagai contoh, Anda berangkat dari rumah ke sekolah. Pada lintasan yang sama, jarak yang ditempuh dari rumah ke sekolah ketika Anda berangkat adalah sama dengan jarak yang ditempuh dari sekolah ke rumah ketika Anda pulang. Oleh karena jarak tidak memiliki arah, jarak selalu bernilai positif. Dalam hal ini, jarak termasuk besaran skalar.

Perpindahan adalah perubahan kedudukan suatu benda setelah bergerak selama selang waktu tertentu. Perpindahan merupakan besaran vektor sehingga selain memiliki besar juga memiliki arah. Oleh karena itu, perpindahan dapat berharga positif atau negatif.

2.1.2 Luas, Keliling Dan Diameter Lingkaran

Lingkaran adalah bangun datar yang terbentuk dari himpunan semua titik persekitaran yang mengelilingi suatu titik asal dengan jarak yang sama. Jarak tersebut biasanya dinamakan r , atau radius, atau jari-jari. Sifat lingkaran yaitu memiliki simetri lipat dan simetri putar yang tak terhingga jumlahnya.



Gambar 2.1.2 Lingkaran

Rumus Menghitung luas Lingkaran :

$$L = \pi . r . r$$

Rumus Menghitung keliling Lingkaran :

$$K = 2 . \pi . r$$

Rumus Menghitung diameter Lingkaran :

$$d = 2 . r$$

Keterangan :

K= Keliling lingkaran

$$\pi = \frac{22}{7} / 3,14$$

r = jari-jari lingkaran

d = diameter lingkaran

L = luas lingkaran

Rumus Menghitung Luas, Keliling Dan Diameter Lingkaran menjadi salah satu referensi untuk menghitung diameter atau pun keliling lingkaran pada roda gigi pada konveyor untuk menentukan jarak tempuh.

2.2 Konsep Dasar Elektronika

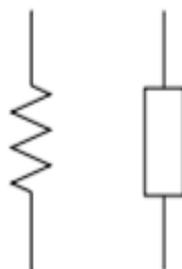
Hampir setiap tempat kita dapat menjumpai piranti yang di dalamnya terdapat peralatan elektronika, mulai dari PDA, komputer, robot, televisi, radio, dan lain-lain. Yang menarik adalah piranti – piranti yang memiliki fungsi dan kompleksitas yang beragam tersebut, sebenarnya dibangun oleh suatu komponen – komponen dasar (devices) yang serupa. Untuk memahami bagai mana sebuah piranti dibangun atas komponen – komponen elektrik, berikut ini adalah komponen elektrik dan berserta penjelasannya.

2.2.1 Resistor

Resistor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghambat aliran listrik. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih resistor yaitu :

- a. Toleransi, yaitu resistor yang diproduksi nilainya tidak selalu tepat.
- b. Kestabilan yaitu nilai resistor tidak berubah akibat temperature tinggi atau pemakaian yang lama.
- c. Tingkat daya yaitu kemampuan maksimum resistor dalam membatasi energi atau arus listrik yang melewatinya.

Komponen ini berbentuk kecil dan memiliki gelang bervariasi gelang - gelang warna ini adalah menunjukkan besar dan kecilnya nilai tahanan arus didalamnya. Warna gelang tersebut sangat penting bagi penggemar elektronika. Umumnya berbentuk kecil dengan 2 kaki, komponen ini tidak memiliki kutub negatif ataupun positif. Sehingga pemasangannya boleh terbalik, asalkan nilainya sama dengan nilai yang diinginkan. resistor diberi simbol:



Gambar 2.2.1 Simbol Resistor

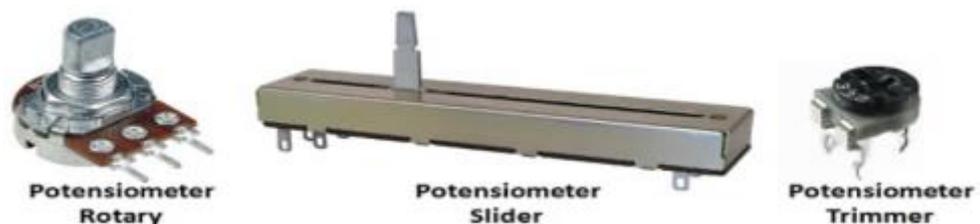
Resistor diberi nilai secara standart dan besarnya nilai tersebut sudah tertera dibadan resistor. Nilai resistor ditentukan dengan kombinasi gelang-gelang warna dan setiap posisi gelang mempunyai arti sendiri. Arti dari gelang-gelang berwarna pada resistor ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.2.1 Gelang - gelang warna pada resistor

Warna	Gelang Pertama	Gelang Kedua	Faktor Pengali	Toleransi
Hitam	0	0	10^0	2%
Coklat	1	1	10^1	
Merah	2	2	10^2	
Orange	3	3	10^3	
Kuning	4	4	10^4	
Hijau	5	5	10^5	
Biru	6	6	10^6	
Ungu	7	7	10^7	
Abu-abu	8	8	10^8	
Putih	9	9	10^9	
Emas				5%
Perak				10%
Tanpa Warna				20%

2.2.2 Potensiometer

Potensiometer (POT) adalah salah satu jenis Resistor yang Nilai Resistansinya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan Rangkaian Elektronika ataupun kebutuhan pemakainya. Potensiometer merupakan Keluarga Resistor yang tergolong dalam Kategori Variable Resistor. Secara struktur, Potensiometer terdiri dari 3 kaki Terminal dengan sebuah shaft atau tuas yang berfungsi sebagai pengaturnya. **Gambar 2.2.2** menunjukkan Struktur Internal Potensiometer beserta bentuk dan Simbolnya.



Gambar 2.2.2 Potensiometer

Potensiometer sering digunakan dalam rangkaian atau peralatan Elektronika dengan fungsi-fungsi sebagai berikut :

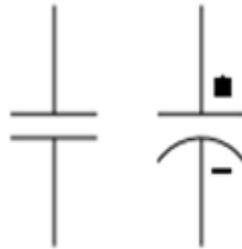
1. Sebagai pengatur Volume pada berbagai peralatan Audio/Video seperti Amplifier, Tape Mobil, DVD Player.
2. Sebagai Pengatur Tegangan pada Rangkaian Power Supply
3. Sebagai Pembagi Tegangan
4. Aplikasi Switch TRIAC
5. Digunakan sebagai Joystick pada Transduser
6. Sebagai Pengendali Level Sinyal

2.2.3 Kapasitor

Kondensator adalah komponen yang dapat menyimpan arus listrik sampai batas yang ditentukan. kapasitor berasal dari kata “kapasitance” atau kapasitas yang artinya kemampuan untuk menyimpan arus listrik.

Pada dasarnya kapasitor terdiri dari dua keping penghantar yang disekat. Bahan yang berfungsi sebagai penyekat disebut Dielektrikum. Bahan penyekat yang biasa digunakan untuk dielektrik adalah : keramik, kertas, mika, elektrolit. Pemasangan kapasitor dalam suatu rangkaian elektronika mempunyai maksud dan tujuan sebagai berikut :

- a. Sebagai penghubung / kopling yang menghubungkan masing–masing bagian dalam suatu rangkaian.
- b. Memisahkan arus bolak-balik dari arus searah.
- c. Sebagai filter yang dipakai pada rangkain catu daya.
- d. Sebagai pembangkit frekuensi dalam rangkaian pemancar.
- e. Menghemat daya dalam rangkaian lampu TL.
- f. Menghilangkan loncatan bunga api dalam rangkaian saklar.



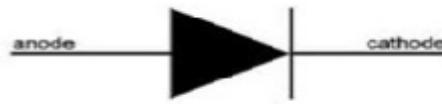
Gambar 2.2.3 Simbol Kapasitor

Macam-macam kondensator Menurut bentuk dan fungsinya ada beberapa kondensator sebagai berikut :

1. Kondensator bola, yaitu kondensator yang berbentuk bola konsentris.
2. Kondensator silinder, yaitu kondensator yang berbentuk silinder konsentris. Kondensator keping sejajar.
3. Kondensator keramik, yaitu kondensator yang dibungkus dielektrikum mika. Kondensator variabel (VARCO), yaitu kondensator yang kapasitansya dapat diubah-ubah.
4. Kondensator gulung, yaitu kondensator keping sejajar yang digulung karena panjangnya keping sejajar untuk kapasitas yang besar.
5. Kondensator elektrolit (ELCO), yaitu kondensator yang dielektrikumnya larutan atau pasta elektrolit untuk memperbesar kapasitas. Untuk kondensator ini kaki – kaki kondensator merupakan elektroda (katoda dan anoda), sehingga dalam pemasangan kaki positif dan negatif tidak boleh terbalik.

2.2.4 Dioda

Dioda adalah komponen semi konduktor yang mengalirkan arus satu arah saja. Dioda dibuat dari germanium atau silicon yang lebih dikenal dengan dioda junction. Struktur dari diode ini, sesuai dengan namanya, adalah sambungan antara semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N. semi konduktor tipe P berperan sebagai anoda dan semikonduktor tipe N berperan sebagai katoda. Dengan struktur seperti ini arus hanya dapat mengalir dari sisi P ke sisi N.



Gambar 2.2.4 Simbol Dioda

Berikut ini adalah macam - macam dioda :

1. Dioda Zener

Diode zener seperti diode penyearah memungkinkan arus mengalir dengan arah maju. Berbeda dengan diode penyearah, pada diode zener tegangan patah arah mundur jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang ada pada diode penyearah arah biasa. Arus ekstra yang besar memungkinkan diode zener dapat menghantarkan arus pada arah mundur. Arus bias terbalik tersebut akan merusak diode normal, tetapi diode zener tersebut dibuat beroperasi dengan cara ini. Ukuran kerja tegangan diode zener yang tertentu dari diode zener menunjukkan tegangan pada diode yang memulai menghantarkan apabila diberi bias mundur (terbalik). Diode zener dapat digunakan untuk membuat bentuk atau kondisi sinyal dari sensor untuk digunakan oleh computer digital.

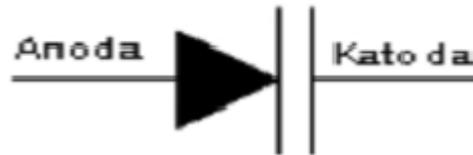


Gambar 2.2.4(a) Simbol Dioda zener

2. LED (Light Emitting Diode)

LED merupakan komponen yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED merupakan produk temuan lain setelah diode. Strukturnya juga sama dengan diode. LED dibuat agar lebih efisien jika mengeluarkan cahaya. Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang dipakai adalah

gallium, arsenic, dan fosfor, jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula.



Gambar 2.2.4(b) Simbol LED

3. Diode Varactor

Komponen kapasitor adalah komponen pasif yang nilainya statis, dengan ditemukannya teknologi dioda maka pengembangannya adalah membuat komponen kapasitor yang aktif terhadap tegangan yang diberikan, terbetuklah dioda varactor. Dioda ini akan berubah menjadi kapasitor dengan nilai kapasitansi tergantung dari tegangan yang diberikan. Komponen ini sangat penting dalam desain rangkaian yang berkaitan dengan frekuensi yang membutuhkan nilai kapasitansi aktif seperti rangkaian oscillator. Kapasitansi ditentukan oleh nilai tegangan yang diterima sehingga bisa ditetapkan pula frekuensi yang akan dilewatkan.



Gambar 2.2.4(c) Simbol Dioda Varactor

4. Fotodioda

Fotodioda adalah diode sambungan PN yang secara khusus dirancang untuk mendeteksi cahaya. Fotodioda seringkali digunakan sehubungan dengan kabel fiber – optic untuk keperluan tranmisi data. Didalam transmitter sinyal input (umumnya pulsa digital) dirubah dari energi cahaya oleh sorotan sumber cahaya selama transmitter OFF dan ON denga sangat cepat. Pulsa sorot

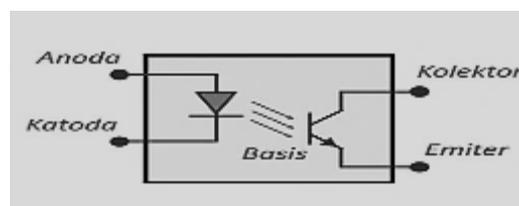
cahaya tersebut memantul melewati inti fiber. Pada ujung lain dari fiber adalah penerima yang berisi fotodiode yang menerima pulsa sorotan cahaya dan merubahnya kembali menjadi bentuk aliran listrik aslinya.



Gambar 2.2.4(d) Simbol fotodiode

2.2.5 Optocoupler PC 817

Optocoupler, atau dikenal juga sebagai opto-isolator maupun photocoupler, adalah komponen elektronika yang mentransfer sinyal listrik antara dua bagian (bagian sumber dan bagian penerima) melalui cahaya. Bagian sumber adalah LED (light emitting diode) dan bagian penerima bisa berupa phototransistor, photo-darlington, photo-SCR, maupun photo-TRIAC. Bagian sumber dan bagian penerima tidak kontak atau terhubung secara fisik, namun sepenuhnya terpisah. Optocoupler melindungi bagian sinyal kuat (tegangan tinggi) untuk memengaruhi sistem di bagian yang menggunakan sinyal rendah (tegangan rendah). Sebagai contoh, ketika kita ingin menyalakan pompa air menggunakan mikrokontroler, kita ingin agar bagian mikrokontroler dan komponen-komponennya tidak dipengaruhi oleh beban (pompa) tersebut. Selain itu, terdapat berbagai penggunaan optocoupler, diantaranya microprocessor input/output switching, PC communications, DC-AC power control, signal isolation, dan sebagainya.



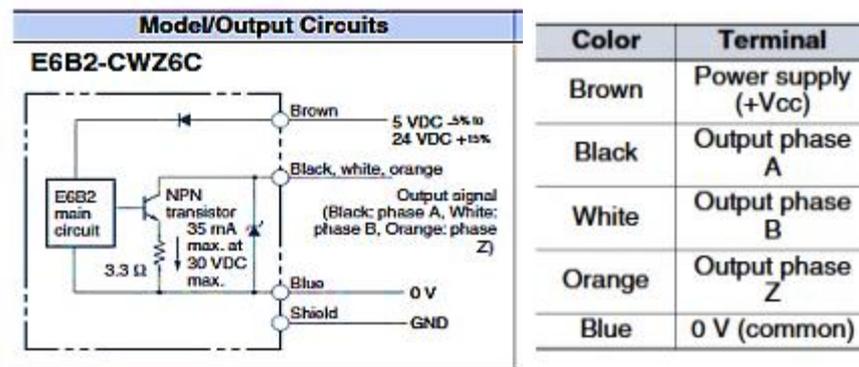
Gambar 2.2.5 Simbol Optocoupler

2.2.6 INCREMENTAL ROTARY ENCODER

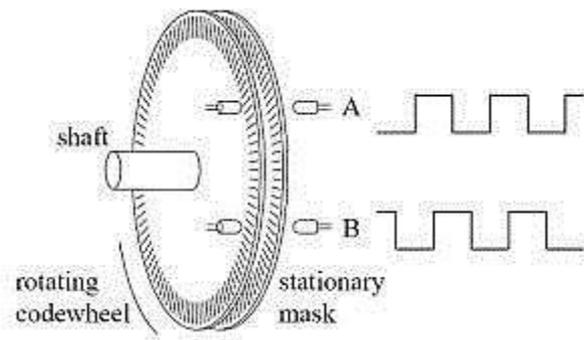
Incremental encoder terdiri dari dua track atau single track dan dua sensor yang disebut channel A dan B . Ketika poros berputar, deretan pulsa akan muncul di masing-masing channel pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan putar sedangkan hubungan fasa antara channel A dan B menghasilkan arah putaran. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui channel mana yang leading terhadap channel satunya dapat kita tentukan arah putaran yang terjadi karena kedua channel tersebut akan selalu berbeda fasa seperempat putaran (quadrature signal). Seringkali terdapat output channel ketiga, disebut INDEX, yang menghasilkan satu pulsa per putaran berguna untuk menghitung jumlah putaran yang terjadi.



Gambar 2.2.6(a) Incremental Encoder Omron Type E6B2-CWZ6C

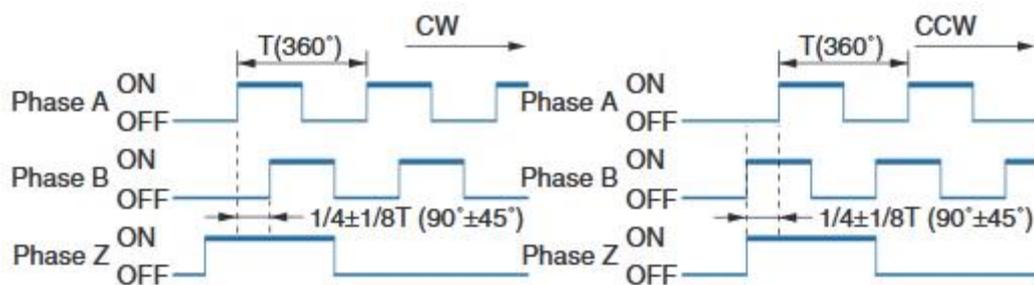


Gambar 2.2.6(b) Skematik Incremental Encoder Omron Type E6B2-CWZ6C



Gambar 2.2.6(c) Susunan Piringan Untuk Incremental Encoder

Contoh pola diagram keluaran dari suatu incremental encoder ditunjukkan pada **gambar 2.2.6(d)**. Resolusi Susunan Piringan Untuk Incremental Encoder keluaran dari sinyal quadrature A dan B dapat dibuat beberapa macam, yaitu 1X, 2X dan 4X. Resolusi 1X hanya memberikan pulsa tunggal untuk setiap siklus salah satu sinyal A atau B, sedangkan resolusi 4X memberikan pulsa setiap transisi pada kedua sinyal A dan B menjadi empat kali resolusi 1X. Arah putaran dapat ditentukan melalui level salah satu sinyal selama transisi terhadap sinyal yang kedua. Pada contoh resolusi 1X, A = arah bawah dengan B = 1 menunjukkan arah putaran searah jarum jam, sebaliknya B = arah bawah dengan A = 1 menunjukkan arah berlawanan jarum jam.



Gambar 2.2.6(d) Contoh Pola Keluaran Incremental Encoder

2.2.7 Sensor PIR (Passive Infra Red)

Sensor PIR (Passive Infra Red) adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya pancaran sinar infra merah. Sensor PIR bersifat pasif, artinya

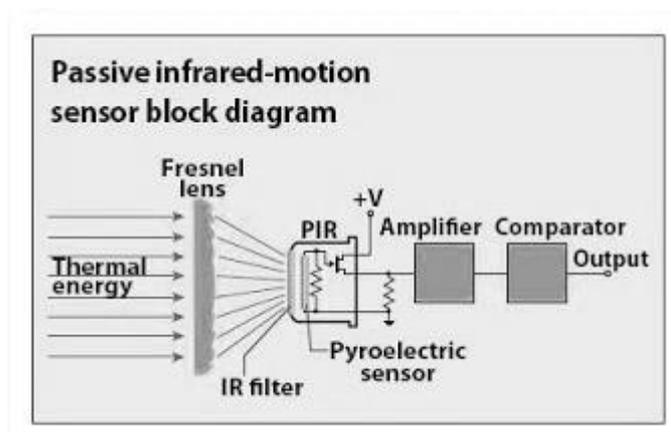
sensor ini tidak memancarkan sinar infra merah tetapi hanya menerima radiasi sinar infra merah dari luar.



Gambar 2.2.7(a) Sensor Infrared Sick WL9-2N-131

Sensor ini biasanya digunakan dalam perancangan detektor gerakan berbasis PIR. Karena semua benda memancarkan energi radiasi, sebuah gerakan akan terdeteksi ketika sumber infra merah dengan suhu tertentu (misal: manusia) melewati sumber infra merah yang lain dengan suhu yang berbeda (misal: dinding), maka sensor akan membandingkan pancaran infra merah yang diterima setiap satuan waktu, sehingga jika ada pergerakan maka akan terjadi perubahan pembacaan pada sensor.

Cara kerja pembacaan sensor PIR



Gambar 2.2.7(b) Diagram Blok Sensor Infra Merah

Pancaran infra merah masuk melalui lensa Fresnel dan mengenai sensor pyroelektrik, karena sinar infra merah mengandung energi panas maka sensor pyroelektrik akan menghasilkan arus listrik. Sensor pyroelektrik terbuat dari bahan galium nitrida (GaN), cesium nitrat (CsNo₃) dan litium tantalate (LiTaO₃). Arus listrik inilah yang akan menimbulkan tegangan dan dibaca secara analog oleh sensor. Kemudian sinyal ini akan dikuatkan oleh penguat dan dibandingkan oleh komparator dengan tegangan referensi tertentu (keluaran berupa sinyal 1-bit). Jadi sensor PIR hanya akan mengeluarkan logika 0 dan 1, 0 saat sensor tidak mendeteksi adanya pancaran infra merah dan 1 saat sensor mendeteksi infra merah. Sensor PIR didesain dan dirancang hanya mendeteksi pancaran infra merah dengan panjang gelombang 8-14 mikrometer. Diluar panjang gelombang tersebut sensor tidak akan mendeteksinya. Untuk manusia sendiri memiliki suhu badan yang dapat menghasilkan pancaran infra merah dengan panjang gelombang antara 9-10 mikrometer (nilai standar 9,4 mikrometer), panjang gelombang tersebut dapat terdeteksi oleh sensor PIR. (Secara umum sensor PIR memang dirancang untuk mendeteksi manusia). Sensor PIR memiliki jangkauan jarak yang bervariasi, tergantung karakteristik sensor.

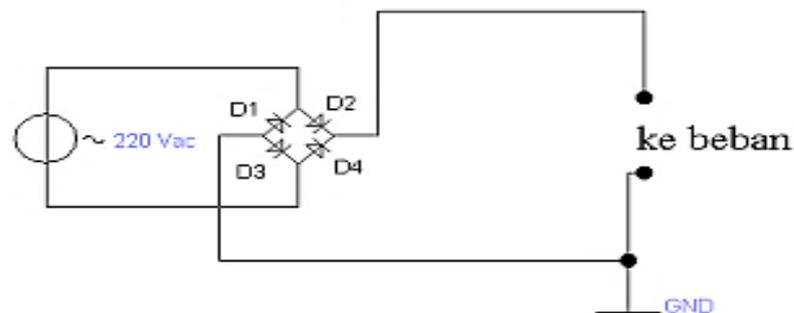
2.3 Penyearah (*Rectifier*)

Konverter AC ke DC dikenal dengan istilah *rectifier* atau penyearah. Penyearah adalah alat pengubah sumber listrik dari AC menjadi DC. Alat tersebut berupa rangkaian elektronik dengan komponen utama dioda. Dalam penyearah tegangan bolak-balik (ac) digunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan sebuah dioda jembatan (bridge diode). Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil keluaran, dinamakan faktor riak (*ripple factor*).

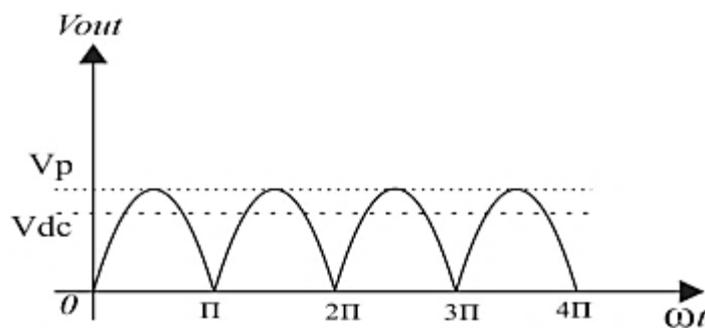
Penyearah gelombang ada dua macam yaitu penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Penyearah setengah gelombang menggunakan dua dioda, dan penyearah gelombang penuh menggunakan empat buah dioda. Penyearah gelombang penuh menghasilkan tegangan keluaran yang lebih baik dibandingkan dengan penyearah setengah gelombang.

2.3.1 Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave Rectifier*)

Pada penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*) merupakan kombinasi dari dua penyearah setengah gelombang yang bekerja bergantian untuk setiap setengah gelombang masukan. Penyearah gelombang penuh memakai empat diode sebagai rangkaian penyearahnya, sehingga dapat menghasilkan gelombang penuh. Besarnya tegangan keluaran dari penyearah gelombang penuh ini hampir sama dengan masukan tegangannya, tetapi merupakan tegangan dc.



Gambar 2.3.1(a) Rangkaian penyearah gelombang penuh,



(b)

Gambar 2.3.1(b) Tegangan keluaran penyearah gelombang penuh.

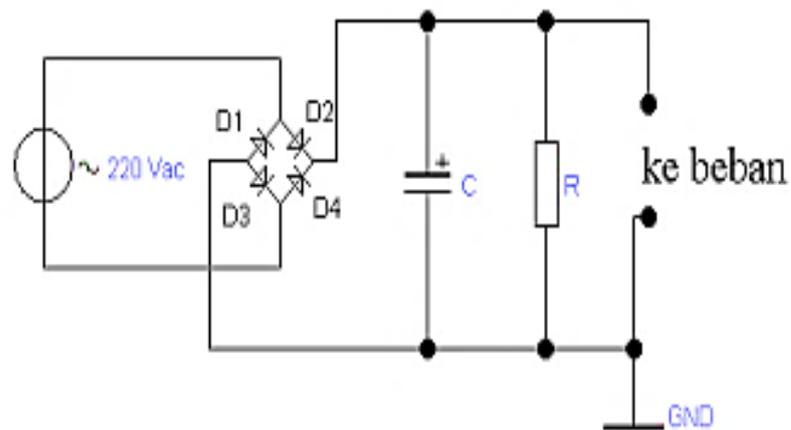
Terlihat tegangan keluaran pada penyearah gelombang penuh masih mengandung gelombang ac. Maka perlu rangkaian filter tambahan untuk merubah gelombang tersebut mendekati gelombang dc murni.

2.3.2 Rangkaian Penyearah Dengan Filter

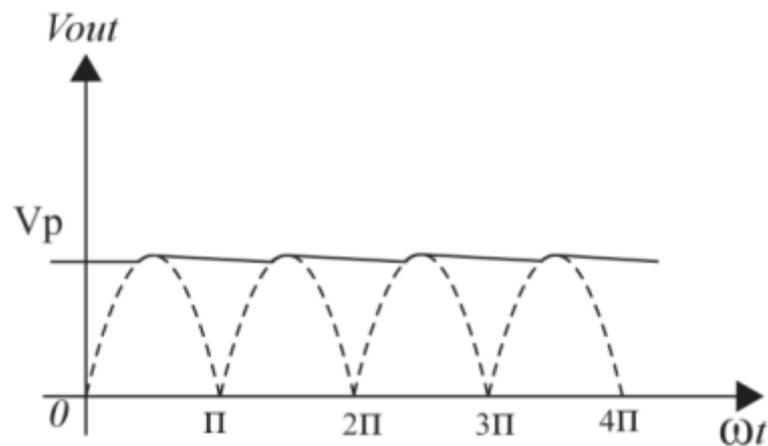
Tegangan keluaran penyearah yang diinginkan adalah tegangan DC, maka perlu adanya penyaringan untuk membuang sisa tegangan AC. Hal ini dapat ditambahkan sebuah kapasitor besar pada kaki-kaki beban, karena kapasitor dapat

bersifat hubungan terbuka untuk tegangan DC dan mempunyai impedansi yang rendah untuk tegangan AC.

Rangkaian filter yang dimaksud adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengurangi riak (*ripple*) yang terjadi pada rangkaian penyearah. Filter kapasitor sangat efektif digunakan untuk mengurangi tegangan AC pada keluaran penyearah. Dengan menambahkan kapasitor paralel dengan beban pada rangkaian penyearah gelombang penuh, maka riak (*ripple*) tegangan akan disaring sehingga mendekati tegangan dc murni. Pada saat tegangan sumber naik, kapasitor akan terisi sampai mencapai tegangan maksimum. Pada saat tegangan sumber menurun, kapasitor akan melepaskan energi yang disimpannya melalui beban. Dengan demikian beban akan tetap memperoleh aliran energi walaupun dioda tidak konduksi. Bila dioda konduksi lagi, kapasitor akan terisi dan energi yang tersimpan ini akan dilepaskan lagi pada waktu dioda tidak konduksi, kondisi ini terjadi berulang-ulang. Gambar rangkaian penyearah gelombang penuh dengan filter C, ditunjukkan seperti pada **gambar 2.3.2 (a)**, dan gelombang yang dihasilkan seperti pada **gambar 2.3.2 (b)**.



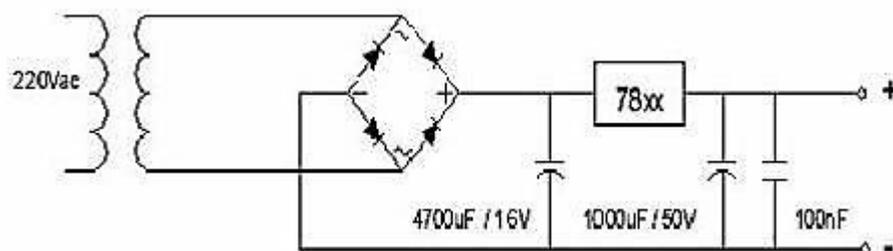
Gambar 2.3.2 (a) Rangkaian Penyearah dengan Filter C,



(b)

Gambar 2.3.2 (b) Tegangan Keluaran Penyearah Gelombang Penuh dengan Filter C

Power suplay merupakan hal terpenting dari sebuah sistem kelistrikan. Semua peralatan yang harus disuplay dengan tenaga listrik tidak bisa lepas dari power suplay, seperti; laptop, LCD, TV, home teater dan juga PROYEK AKHIR yang kita buat, karena semua peralatan itu tidak akan bisa tanpa adanya suplay power yang cukup dan sesuai dengan kebutuhannya. Apabila suatu alat disuplay dengan power yang lebih atau kurang dari ketentuan power yang dibutuhkan maka peralatan itu akan rusak. Oleh karena itu sangat penting sekali diperhatikan berapa power yang dibutuhkan dari suatu alat, jangan sampai lebih atau kurang dari ketentuan alat tersebut. Power suply terdiri dari catu daya AC dan Catu daya DC.

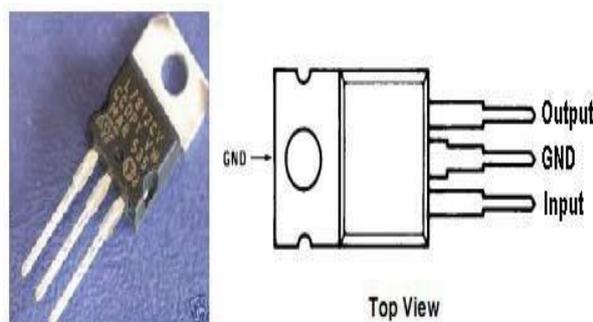


Gambar 2.3.2(c). Rangkaian Power Suplay

Rangkaian power supply yang digunakan untuk memberi supply tegangan ke mikrokontroler harus stabil dan mempunyai arus yang cukup, sehingga tidak terjadi drop tegangan saat mikrokontroler dioperasikan.

Adapun untuk rangkaian mikrokontroler diberikan supply sebesar 5 Volt tersendiri yang telah melalui rangkaian bridge dioda, hal ini dikarenakan mikrokontroler membutuhkan tegangan 5V yang cukup stabil didalam proses pembangkitan frekwensi clock karena ketidakstabilan dari rangkaian ini akan menurunkan performa mikrokontroler dan rangkaian secara keseluruhan, yang mana imbasnya akan juga mengurangi performa dari inverter, disamping itu supply 5V ini juga dibutuhkan oleh rangkaian yang lain seperti rangkaian optocoupler yang digunakan untuk switching menjaga supaya mikrokontroler tidak rusak akibat dari imbas dari rangkaian inverter.

Untuk mencatu seluruh rangkaian diperlukan sebuah catu daya (power supply) dengan kestabilan yang tinggi menggunakan komponen utama IC regulator LM 7812 dan kapasitor C sebagai filter. Dalam IC LM 7812 ditentukan $V_{min} = 2,5$ volt maka *input* yang dibutuhkan minimal 15 volt supaya saat pembebanan maksimal, keluarannya stabil pada tegangan 12 volt. Hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan IC ini adalah selisih minimum antara tegangan masukan dengan tegangan keluaran adalah 2,5 volt. Berikut ini merupakan bentuk fisik dari IC LM 7812 yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3.2(d)**.



Gambar 2.3.2(d) IC Regulator 7812

2.4 MOTOR DC

Motor adalah suatu mesin listrik yang menghasilkan gerak mekanis dengan prinsip elektromagnetis. Motor ditinjau dari catu-nya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu motor arus searah (Motor DC) dan motor arus bolak-balik (Motor AC).



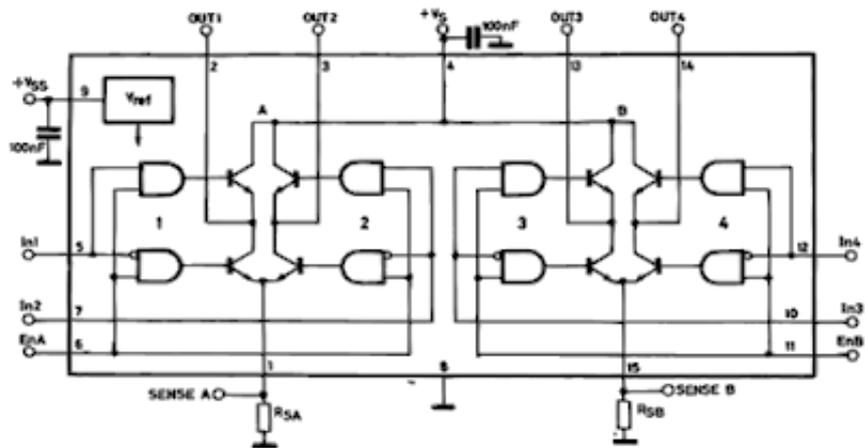
Gambar 2.4 Motor DC

Motor DC tersusun dari dua bagian yaitu bagian diam (stator) dan bagian bergerak (rotor). Stator motor arus searah adalah badan motor atau kutub magnet (sikat-sikat), sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar lilitanya. Pada motor, kawat penghantar listrik yang bergerak tersebut pada dasarnya merupakan lilitan yang berbentuk persegi panjang yang disebut kumparan.

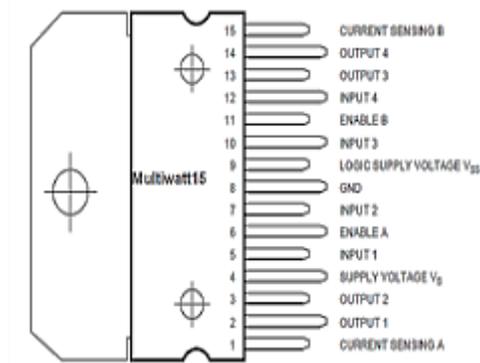
Motor gear DC tidak dapat dikendalikan langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan arus yang besar sedangkan keluaran arus dari mikrokontroler sangat kecil. Motor driver merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor DC.

2.4.1 Konsep Dasar Driver Motor DC

Pada dasarnya beberapa aplikasi yang menggunakan motor DC harus dapat mengatur kecepatan dan arah putar dari motor DC itu sendiri. Untuk dapat melakukan pengaturan kecepatan motor DC dapat menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulation) sedangkan untuk mengatur arah putarannya dapat menggunakan rangkaian H-bridge yang tersusun dari 4 buah transistor. Tetapi dipasaran telah disediakan IC L298 sebagai driver motor DC yang dapat mengatur arah putar dan disediakan pin untuk input yang berasal dari PWM untuk mengatur kecepatan motor DC. Di dalam IC L298, telah terkandung 2 buah rangkaian H-bridge yang siap digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC.



Gambar 2.4.1(a) Diagram blok IC L298



Gambar 2.4.1(b) Konfigurasi pin IC L298

Tabel 2.4.1(a) Keterangan fungsi kaki/pin IC L298

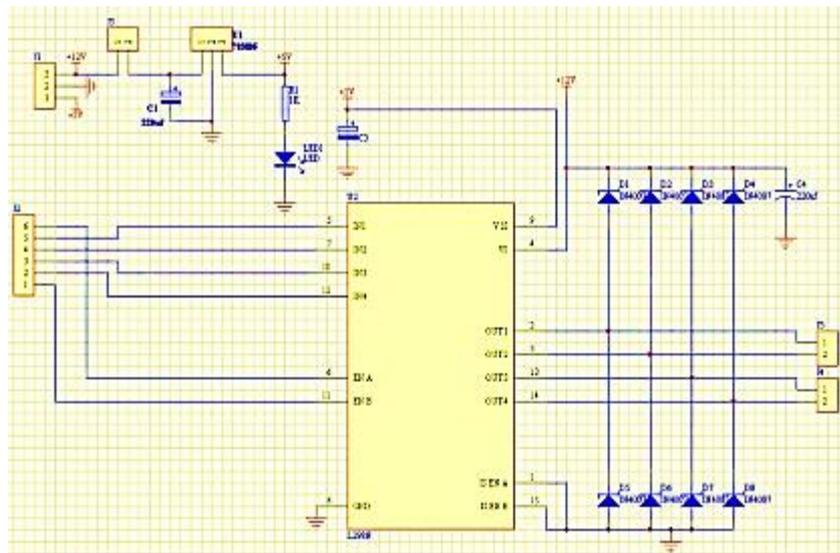
<i>Pin</i>	<i>Nama pin</i>	<i>Pin</i>	<i>Nama Pin</i>
1	Current sensing A	9	Vss(tegangan supply IC)
2	Output 1	10	Input 3
3	Output 2	11	Enable B
4	Vs(tegangan supply motor)	12	Input 4
5	Input 1	13	Output 3
6	Enable A	14	Output 4
7	Input 2	15	Current sensing B
8	GND		

Tabel 2.4.1(b) Data karakter elektronis IC L298

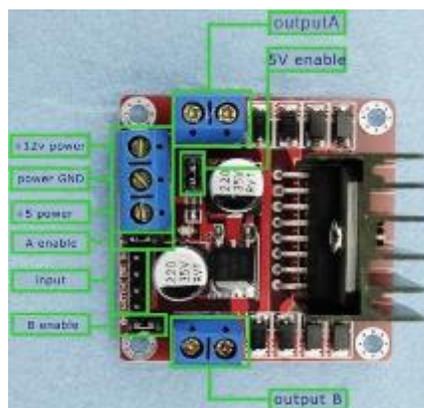
<i>Parameter</i>	<i>Simbol</i>	<i>Nilai</i>
Tegangan <i>supply</i>	V_s	50 V
Tegangan <i>supply logic</i>	V_{ss}	7 V
Tegangan <i>input & enable</i>		3 A
Arus output puncak (<i>non repetitive, t=100μs</i>)	I_o	2,5 A
Arus output puncak (<i>repetitive =80% on, -20% off,t</i>)	I_o	2 A
Tegangan <i>sensing</i>	I_o	-1 sampai 2,3 V
Total disipasi daya ($T_{case} = 75^{\circ}C$)	P_{tot}	25 W
Suhu operasi(<i>junction</i>)	T_{op}	-25 sampai 30°C
Suhu <i>storage & junction</i>	T_{stg}, T_j	-40 sampai 150°C

Untuk mengendalikan putaran motor DC menggunakan H-bridge pada IC L298 perlu melibatkan 3 buah pin/kaki IC L298, yaitu:

- Kaki In1 (Input 1) dan kaki In2 (Input 2) yang diatur secara bersamaan (berpasangan namun berkebalikan logikanya) untuk menentukan arah putaran as motor DC yang dikendalikan, apakah berputar CW atau berputar CCW.
- Kaki EnA (Enable A) yang berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan rangkaian H-bridge pada IC L298. Aktif ketika kaki EnA diberi logika high (1 atau 5 volt) dan nonaktif ketika kaki EnA diberi logika low (0 atau 0 volt).



Gambar 2.4.1(c) Skematik Aplikasi IC L298 Sebagai Driver Motor DC



Gambar 2.4.1(d) Modul Driver Motor DC

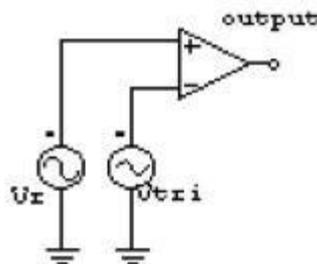
Tabel 2.4.1(c) Aktivasi Saklar Pada Driver Motor DC IC L298

<i>Input M1</i>		<i>Input M2</i>		<i>Enable</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>Keterangan</i>
<i>in 1</i>	<i>in 2</i>	<i>In 3</i>	<i>in 4</i>	<i>A</i>	<i>B</i>			
0	0	0	0	1	1	Off	Off	
1	0	1	0	1	1	on(CW)	on(CW)	
0	1	0	1	1	1	on(CCW)	on(CCW)	
1	0	1	0	0	0	Off	Off	
0	1	0	1	0	0	Off	Off	
1	1	1	1	1	1			Hindari

2.4.2 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM atau *Pulse Width Modulation* adalah salah satu teknik pemodulasian sinyal dimana besar *duty cycle* pulsa dapat diubah-ubah. PWM biasa digunakan untuk aplikasi-aplikasi analog yang menggunakan kontrol digital atau Mikrokontroler, hal ini dikarenakan Mikrokontroler tidak mampu menghasilkan tegangan analog secara langsung. Terdapat beberapa teknik untuk membangkitkan sinyal PWM, namun secara garis besar terbagi dalam 2 cara, yaitu pembangkitan sinyal dengan rangkaian analog dan dengan kontrol digital (dengan Mikrokontroler).

Secara analog, pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sebuah sinyal segitiga atau gigi gergaji dengan tegangan referensi dc seperti pada **Gambar 2.4.2(b)**. Gelombang segitiga atau gigi gergaji sebagai frekuensi pembawa yang juga merupakan frekuensi sinyal keluaran PWM. Sedangkan tegangan referensi dc adalah tegangan yang menentukan besarnya *duty cycle* dari keluaran sinyal PWM.



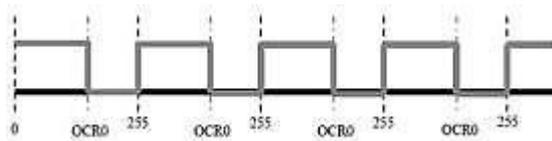
Gambar 2.4.2(a) Pembangkitan Sinyal PWM dengan Comparator.

Cara kerja dari komparator analog ini adalah saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan ramp (gigi gergaji) maka keluaran komparator akan bernilai *high* atau saturasi mendekati V_{cc} . Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan ramp, maka keluaran komparator akan bernilai *low* atau *cut-off*. Memanfaatkan prinsip kerja dari komparator ini, maka dapat diatur lebar *duty cycle* dari sinyal output dengan mengubah besar tegangan referensi.

Teknik pembangkitan pulsa yang lain adalah dengan cara kontrol digital menggunakan mikrokontroler. Sama seperti pembangkitan PWM dengan

rangkaian analog, pembangkitan pulsa dengan menggunakan kontrol mikrokontroler juga menggunakan cara perbandingan dua buah nilai.

Jika pada rangkaian analog nilai yang dibandingkan adalah dua buah sinyal tegangan (tegangan referensi dengan tegangan *carrier*), pembangkitan PWM pada mikrokontroler adalah dengan membandingkan dua buah variabel yang tersimpan dalam memori Mikrokontroler. Yaitu variabel TCNTx dengan OCRxx. Apabila *timer* yang digunakan adalah timer 0, maka variabel yang dipakai adalah TCNT0 dan OCR0. TCNT0 adalah suatu nilai variabel yang terus bertambah setiap satu satuan waktu (bergantung pada setting *timer*) yang jika dianalogikan ke rangkaian analog adalah sinyal *ramp*. Sedangkan OCR0 adalah suatu variabel yang berfungsi sebagai nilai referensi saat keluaran PWM berubah dari *high* ke *low* ataupun *low* ke *high*. Sehingga keluaran pada pin mikrokontroler adalah gelombang kotak yang bisa dimodulasi.

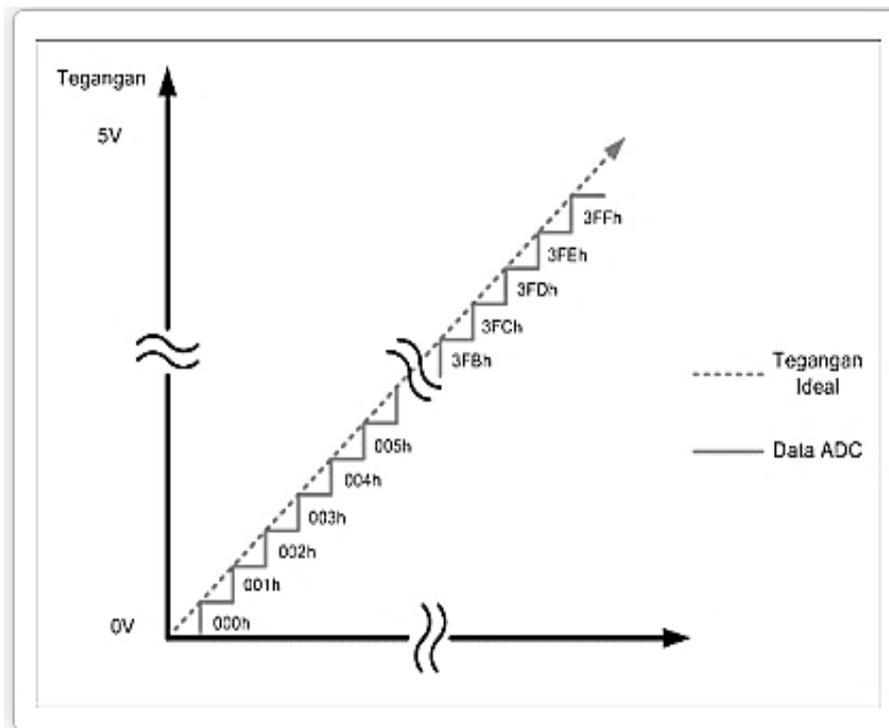


Gambar 2.4.2(b) Pembangkitan Sinyal PWM Dengan Mikrokontroler.

2.4.3 ADC (Analog to Digital Converter)

ADC (Analog to Digital Converter) adalah suatu fungsi atau sistem yang merubah besaran analog menjadi data digital. Fasilitas ini ADC ini digunakan pada mikrokontroler untuk mengambil data dari analog dari luar. Salah satu jenis mikrokontroler yang mempunyai fitur ADC ini adalah AVR ATmega8535 buatan Atmel. Fitur ADC yang terdapat pada ATmega8535 ini memiliki 8 input channel ADC dengan resolusi 10bit. Maksudnya adalah mikrokontroler ini mampu untuk diberi masukan tegangan analog sampai 8 saluran secara bersamaan dengan ketelitian sampai 10 bit (1024). Masukan atau input saluran tersebut berupa tegangan yang dihasilkan dari sensor atau rangkaian pendukung lainnya. ADC ini memiliki ketelitian berbanding lurus dengan resolusi yang akan digunakan, semakin tinggi resolusi maka ketelitian akan semakin baik.

$$\text{Ketelitian} = \frac{\text{tegangan input}}{1024}$$



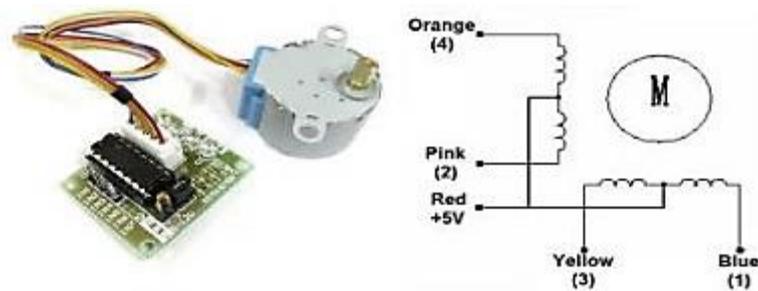
Gambar 2.4.3 Perbandingan Tegangan Ideal ke Data ADC

ATmega8535 dengan jenis package PDIP, input saluran ADC ini menggunakan single-ended maksudnya adalah tegangan DC yang masuk ke input mempunyai polaritas (+) dan gnd, dimana untuk (+) dihubungkan pada saluran ADC0...ADC7 sedangkan gnd digabungkan dengan gnd dari sistem. Fungsi Defferential untuk input ADC ATmega8535 hanya untuk jenis package TQFP.

Fasilitas ADC ini juga memiliki tegangan referensi (VREF) secara internal maupun eksternal. Internal referece untuk ADC adalah sebesar 2,56 atau sebesar tegangan masukan pada pin AVCC sedangkan external reference adalah referensi tegangan yang dimasukkan pada pin AREF.

2.5 MOTOR STEPPER

Motor stepper merupakan alat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit yang berdasarkan pengaturan lilitan dasarnya, terbagi menjadi 2 tipe yaitu bipolar motor stepper dan unipolar motor stepper. Sedangkan berdasarkan jenis rotor dan statornya motor stepper terbagi menjadi 3 tipe yaitu motor stepper tipe Variable Reluctance, motor stepper tipe Permanent Magnet dan motor stepper tipe Hybrid.



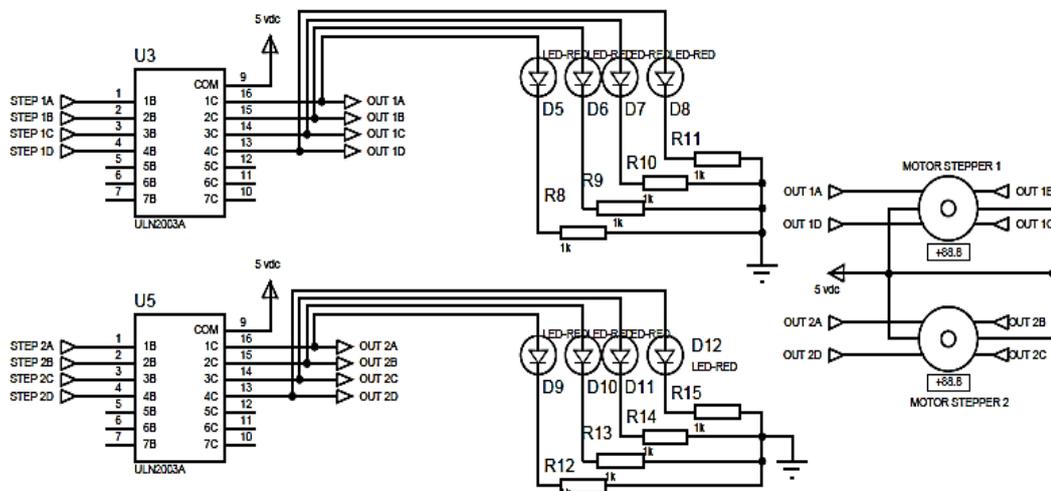
Gambar 2.5 Diagram Wiring dan Modul Motor Stepper Unipolar tipe 28by-j-48-12 V

Tabel 2.5 Data Motor Stepper tipe 28by-j-48-12 V

Rated voltage	12VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ration	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz,No load,10cm)
Model	28BYJ-48 – 12V

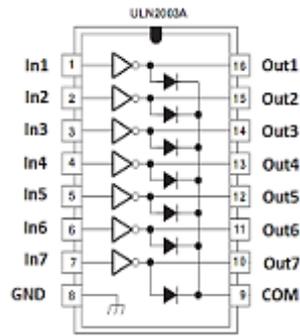
Prinsip kerja motor stepper adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Salah satu bagian stator motor stepper adalah berupa cakram inti besi melingkar yang diberi kumparan dan berfungsi sebagai pembangkit medan elektro-magnet ketika motor DC diberi tegangan catu.

2.5.1 Modul Driver Motor Stepper



Gambar 2.5.1(a) Modul Driver Motor Stepper Menggunakan IC ULN2003A

Gambar 2.5.1(a) merupakan skematik driver motor stepper yang menggunakan IC ULN2003A. Di dalam IC ULN2003A terdapat 7 buah rangkaian transistor darlington yang membentuk logika kerja seperti gerbang logika NOT (inverter/pembalik kondisi). Sehingga dalam penggunaannya akan lebih mudah mengingat bahwa IC ULN2003A itu berisi gerbang NOT dari pada mengingat bahwa IC ULN2003A itu berisi rangkaian transistor darlington. Untuk lebih memahaminya, mari melihat gambar konfigurasi pin IC ULN2003A pada **gambar 2.5.1(b)** berikut.



Gambar 2.5.1(b) Konfigurasi pin/kaki IC ULN2003A

Dengan melihat **2.5.1(b)**, dapat diketahui bahwa dengan memberikan logika low (tegangan 0 volt) pada kaki In1 maka akan menghasilkan kondisi keluaran (output) pada kaki Out1 berlogika high (tegangan ± 5 volt). Demikian juga sebaliknya, dengan memberikan logika high (tegangan ± 5 volt) pada kaki In1 maka akan menghasilkan kondisi keluaran (output) pada kaki Out1 berlogika low (tegangan 0 volt). Berikut ini adalah tabel aktivasi input IC ULN2003A driver motor DC untuk mode 1 langkah dan mode $\frac{1}{2}$ langkah.

Tabel 2.5.1 Mode pemberian tegangan catu motor stepper (mode 1-langkah)

Step	in 1	in 2	in 3	in 4	kutub kumparan			
					A	B	C	D
1	0	1	1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	1	0	1	0	0
3	1	1	0	1	0	0	1	0
4	1	1	1	0	0	0	0	1

Tabel 2.5.2 Mode pemberian tegangan catu motor stepper (mode $\frac{1}{2}$ langkah)

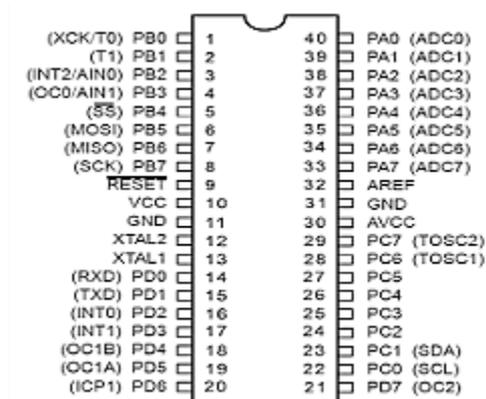
Step	in 1	in 2	in 3	in 4	kutub kumparan			
					A	B	C	D
1	0	1	1	1	1	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	0	0
3	1	0	1	1	0	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1	1	0
5	1	1	0	1	0	0	1	0
6	1	1	0	0	0	0	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0	1
8	0	1	1	0	1	0	0	1

Kondisi logika kaki output yang terhubung dengan kutub kumparan listrik motor DC dapat diatur dengan menggunakan kaki-kaki mikrokontroler AVR ATMEGA8/48/168/328 (Pin PC0, PC1, PC2, dan PC3) yang terhubung dengan kaki input IC ULN2003A, yaitu pada kaki In1, In2, In3, dan In4. Program mikrokontroler yang dibuat harus mengatur aktivasi kumparan listrik pada motor DC secara bergantian dengan waktu tunda yang tepat untuk menghasilkan putaran pada rotornya. Pengaturan aktivasi kumparan listrik tersebut dapat dilakukan dengan mengikuti tabel 1 untuk mode 1 langkah dan **tabel 2.5.2** untuk mode $\frac{1}{2}$ langkah.

2.6 Mikrokontroler ATMEGA 8535

Mikrokontroler adalah single chip komputer yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas-tugas yang berorientasi kendali (control). Terdapat perbedaan yang signifikan antara mikrokontroler dan mikroprosesor yaitu dari arsitektur perangkat keras dan aplikasi masing-masing perangkat. Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas AVR adalah memori, peripheral, dan fungsinya sedangkan dari segi arsitektur dan instruksinya hampir sama.

2.6.1 Penjelasan Setiap Pin.



Gambar 2.6.1 Konfigurasi Pin AVR ATmega8535

Penjelasan setiap Pin :

- Port komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimal 2.5 Mbps
- Mode Sleep untuk penghematan penggunaan daya listrik Konfigurasi pin ATmega8535
- VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catudaya
- GND merupakan pin Ground
- Port A (PA0...PA7) merupakan pin I/O dan pin masukan ADC
- Port B (PB0...PB7) merupakan pin I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus yaitu Timer/Counter, komparator Analog dan SPI
- Port C (PC0...PC7) merupakan port I/O dan pin yang mempunyai fungsi khusus, yaitu komparator analog dan Timer Oscillator
- Port D (PD0...PD1) merupakan port I/O dan pin fungsi khusus yaitu komparator analog dan interrupt eksternal serta komunikasi serial
- RESET merupakan pin yang digunakan untuk mereset mikrokontroler
- XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal
- AVCC merupakan pin masukan untuk suplai tegangan ADC
- AREF merupakan pin masukan tegangan referensi untuk ADC

2.6.2 Fitur Atmega 8535

Sistem processor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.

- Ukuran memory flash 8KB, SRAM sebesar 512 byte, EEPROM sebesar 512 byte.
- ADC internal dengan resolusi 10 bit sebanyak 8 channel
- Port komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimal 2.5 Mbps
- Mode Sleep untuk penghematan penggunaan daya listrik

2.6.3 Arsitektur ATmega 8535

Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C dan Port D

- ADC 10 bit sebanyak 8 Channel
- Tiga buah timer / counter

- 32 register
- Watchdog Timer dengan oscilator internal
- SRAM sebanyak 512 byte
- Memori Flash sebesar 8 kb
- Sumber Interrupt internal dan eksternal
- Port SPI (Serial Peripheral Interface)
- EEPROM on board sebanyak 512 byte
- Komparator analog
- Port USART (Universal Shynchronous Ashynchronous Receiver Transmitter)

2.7 LCD Karakter 16x2

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu perangkat elektronika yang dirancang sedemikian rupa, sehingga dapat menampilkan tulisan maupun gambar. LCD banyak digunakan sebagai layar tampilan pada berbagai jenis aplikasi elektronika, seperti monitor komputer, televisi, seluler dan lain-lain sebagainya. LCD yang khusus hanya untuk menampilkan tulisan disebut LCD karakter. Sedangkan biasanya disebutkan jumlah kolom dan barisnya misalnya 16X2, yang berarti terdapat 16 kolom dan 2 baris. LCD memiliki suatu controller yang berfungsi untuk mengontrol tampilan layar LCD secara keseluruhan. Controller pada modul LCD menerima instruksi dan data dari suatu prosesor atau mikrokontroler untuk menentukan karakter apa yang akan ditampilkan pada layar LCD tersebut. Pada umumnya LCD 16X2 mampu mengerjakan seluruh instruksi yang didukung oleh controller jenis HD44780. Jika tidak, instruksi untuk modul LCD tersebut dapat dilihat dari data sheet yang disediakan oleh pabrik pembuatan. Gambar fisik LCD 16 x 2 ditunjukkan pada **gambar 2.7**.



Gambar 2.7 LCD 16x2

Modul LCD pada umumnya terdiri dari 14 pin, tetapi LCD yang memiliki backlight mempunyai 16 pin, yaitu 2 pin tambahan untuk menyalakan LED backlight. Berikut table fungsi pin LCD 16x2.

Tabel 2.7 Fungsi Pin LCD Karakter 16x2

<i>PIN</i>	<i>Nama</i>	<i>Fungsi</i>
1	VSS	Ground Voltage
2	VCC	+5V
3	VEE	Contrast Voltage
4	RS	Register Select: 0 = Send Instruction 1 = Send Data
5	R/W	Read/Write, to choose write or read mode : 0 = Write Mode 1 = Read Mode
6	EN	Enable Signal : 0 = start to lacht data to LCD character 1 = disable
7	DB0	Data bit ke-0 H/L (LSB)
8	DB1	Data bit ke-1 H/L
9	DB2	Data bit ke-2 H/L
10	DB3	Data bit ke-3 H/L
11	DB4	Data bit ke-4 H/L
12	DB5	Data bit ke-5 H/L
13	DB6	Data bit ke-6 H/L
14	DB7	Data bit ke-7 H/L (MSB)
15	ANODE	Backlight (+)
16	KATODE	Backlight (-)

Cara mengirimkan instruksi untuk dieksekusi oleh controller LCD:

1. Set supaya pin RS = 0, R/W = 0, E = 1.
2. Kemudian kirim data berupa instruksi untuk dieksekusi controller pada LCD melalui DB0 - DB7 (pin 7 – pin 14).

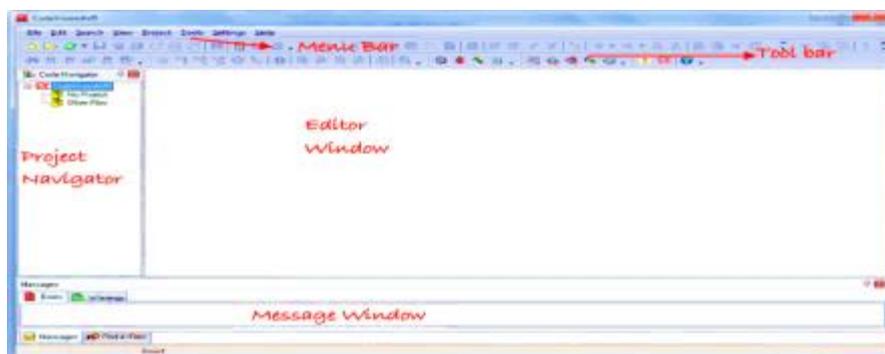
3. Set supaya pin E = 0, kemudian berikan delay sesaat, dan set kembali pin E = 1.

Cara mengirimkan karakter atau data untuk dicetak pada layar LCD:

1. Set supaya pin RS = 1, R/W = 0, E = 1.
2. Kemudian kirimkan data berupa ASCII dari karakter yang ingin ditampilkan pada layar LCD melalui jalur DB0 – DB7 (pin7 - pin14).
3. Set supaya pin E = 0, kemudian berikan delay sesaat, dan set kembali pin E = 1.

2.8 CODE VISION AVR

CodeVisionAVR adalah sebuah compiler C yang telah dilengkapi dengan fasilitas Integrated Development Environment (IDE) dan didesain agar dapat menghasilkan kode program secara otomatis untuk mikrokontroler Atmel AVR. Program ini dapat berjalan dengan menggunakan sistem operasi Windows® XP, Vista, Windows 7, dan Windows 8, 32-bit dan 64-bit. CodeVisionAVR juga mempunyai Automatic Program Generator bernama CodeWizardAVR, yang mengizinkan Anda untuk menulis, dalam hitungan menit, semua instruksi yang diperlukan untuk membuat beberapa fungsi-fungsi tertentu. Dengan fasilitas ini mempermudah para programmer pemula untuk belajar pemrograman mikrokontroler menggunakan CVAVR. Secara garis besar bagian-bagian CVAVR dapat diuraikan seperti gambar berikut ini;



Gambar 2.8 Tampilan jendela Code Vision AVR

2.8.1 Tipe Data

Tipe data merupakan bagian program yang paling penting karena tipe data mempengaruhi setiap instruksi yang akan dilaksanakan oleh computer. Misalnya saja 5 dibagi 2 bisa saja menghasilkan hasil yang berbeda tergantung tipe datanya. Jika 5 dan 2 bertipe integer maka akan menghasilkan nilai 2, namun jika keduanya bertipe float maka akan menghasilkan nilai 2.5000000. Pemilihan tipe data yang tepat akan membuat proses operasi data menjadi lebih efisien dan efektif.

Tabel 2.8.1 Bentuk Tipe data

No	Tipe Data	Ukuran	Range (Jangkauan)
1	Char	1 byte	-128 s/d 127
2	Int	2 byte	-32768 s/d 32767
3	Unsigned int	2 byte	0 s/d 65535
4	Long Int	4 byte	-2147483648 s/d 2147483648
5	Unsigned Long int	4 byte	0 s/d 4294967296
6	Float	4 byte	-3.4E-38 s/d 3.4E+38
7	Double	8 byte	1.7E-308 s/d 1.7E+308
8	Long Double	10 byte	3.4E-4932 s/d 1.1E+4932
9	Unsigned char	1 byte	0 s/d 255

2.8.2 Instruksi Dasar Code Vision AVR

Intruksi yang dapat digunakan pada Code Vision AVR relatif cukup banyak dan tergantung dari tipe dan jenis AVR yang digunakan. Beberapa Instruksi-instruksi dalam bahasa C yang sering digunakan dalam Code Vision AVR dapat ditulis sebagai berikut:.

Tabel 2.8.2 Instruksi Dasar Code Vision AVR

No	Fungsi	Bahasa Pemrograman
1	Syarat	if (kondisi) {(aksi yang dikerjakan)

		};
2	Percabangan	<pre> if (kondisi) {(aksi yang dikerjakan) } else if (kondisi) {(aksi yang dikerjakan) } else {(aksi yang dikerjakan) } }; </pre>
3	Percabangan	<pre> switch (variable) { case nilai_variabel_ke-1: { (aksi yang dikerjakan) } case nilai_variabel_ke-2: { (aksi yang dikerjakan) } default: { (aksi yang dikerjakan) } } </pre>
4	Melompat	goto alamat_tujuan;

		<p>.....</p> <p>.....</p> <p>alamat_tujuan:</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
5	Melompat keluar dari Perulangan	break;
6	Perulangan	while (kondisi) {(aksi yang dikerjakan) }
7	Perulangan	Do {(aksi yang dikerjakan) } while (syarat);
8	Perulangan	for (nilai_awal,syarat,operasi++/- -) {(aksi yang dikerjakan) };