

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang telah dilakukan Tonny Suhendra yaitu merancang kendali motor DC dengan menggunakan metode PWM, metode PWM yaitu *Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengendalikan daya *output*, yaitu dengan mengatur berapa besar tegangan yang digunakan dengan mengirim isyarat atau pulsa dalam bentuk sinyal. Hasil dari perancangan tersebut yaitu PWM dihasilkan dari gelombang kotak yang memiliki siklus kerja yang dapat dirubah sehingga tegangan *output* dapat bervariasi sesuai dengan kebutuhan, PWM inilah yang mengatur suplai tegangan ke motor DC. Pada penelitian ini MOSFET yang digunakan sebagai pengatur tegangan yaitu menggunakan IRF-630 [4].

Penelitian lain dengan mikrokontroler ATmega16 juga terdapat pada penelitiannya Mohammad Lutfi yaitu merancang pengendalian motor penggerak mobil listrik yang menggunakan mikrokontroler Atmega16 dan menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah sinyal analog menjadi digital, pada penelitian ini terfokus pada mikrokontroler *slave* yang menggerakkan motor. Sehingga, hanya terdapat program ADC yaitu ADC0 dan ADC1 yang masing-masing dikendalikan dengan resistor *variable*. Hasil dari penelitian ini yaitu bahwa semakin besar sudut putar resistor *variable* maka tegangan *output* yang dihasilkan juga semakin besar, begitu pula dengan nilai ADC yang dikeluarkan hingga pada nilai maksimal yaitu 255. Penelitian ini menggunakan *software* BASCOM AVR sebagai *software* program untuk mikrokontroler Atmega16 [5].

Kemudian pada penelitiannya Bryan Hidayat yaitu merancang pengendali motor dc menggunakan Pulse Width Modulation (PWM) berbasis Arduino Uno. Pada penelitian ini, menggunakan *increment* PWM pada saat bacaan sensor lebih kecil dari *setpoint*, namun pada saat bacaan sensor lebih besar dari *setpoint* dilakukan *decrement* PWM sampai didapatkan nilai bacaan sensor sama dengan nilai *setpoint*. Hasil dari penelitian ini yaitu kecepatan motor DC dipengaruhi oleh tegangan yang masuk pada

motor DC, saat terjadi pembebanan, terjadi perlambatan pada kecepatan motor DC, oleh karena itu PWM bertambah agar tegangan motor DC naik sehingga kecepatan motor DC sesuai dengan *setpoint* [6].

Sistem kontrol kecepatan motor DC menggunakan modul juga terdapat pada penelitiannya Martinus, dkk yaitu merancang sistem kontrol motor DC untuk *prototype* kendaraan listrik Raden Intan 2. Pada penelitian ini, menggunakan 4 MOSFET yang dirangkai secara seri, yang sebelumnya menggunakan FET namun selalu rusak karena arus yang diperlukan motor DC cukup besar serta terdapat sensor tegangan dan sensor arus. Hasil dari penelitian ini yaitu sistem kontrol tersebut diuji menggunakan *prototype* mobil listrik “Raden Intan” dan mampu berjalan hingga kecepatan 35 km/jam [7].

Penelitian lain yang dilakukan Nalaprana Nugroho, dkk yaitu menganalisa motor DC (*direct current*) sebagai penggerak mobil listrik, Nalaprana berpendapat bahwa motor listrik sebagai penggerak mobil listrik adalah bahwa motor listrik tersebut harus mampu menghasilkan torsi *starting* yang tinggi dengan arus yang rendah. Setelah ditinjau dari karakteristik jenis-jenis motor DC, jenis motor DC berpenguat seri yang cocok sebagai penggerak mobil listrik karena memiliki torsi sebesar I^2 . Hasil dari penelitian ini yaitu daya yang dibutuhkan untuk sudut 30° adalah sebesar 21,6 kW dengan kecepatan yang ditempuh sebesar 16.3 m/s atau 59 km/jam [8].

Tabel 2.1 Data Penelitian Tinjauan Pustaka

No	Nama	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Tonny Suhendra	Pengendali Kecepatan Motor DC dengan <i>Pulse Width Modulation</i> menggunakan N- <i>channel</i> MOSFET	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) dan Motor DC	PWM mengatur suplay tegangan ke motor DC sesuai dengan <i>duty cycle</i> yang dapat dirubah

No	Nama	Judul Penelitian	Metode	Hasil
2	Mohammad Lutfi Raynandy	Rancang Bangun Pengendalian Motor Penggerak Mobil Listrik	<i>Analog to Digital Converter (ADC)</i>	Semakin besar sudut putar resistor <i>variable</i> maka tegangan <i>output</i> yang dihasilkan juga semakin besar, serta nilai ADC semakin bertambah
3	Bryan Hidayat Soelaiman	Pengendalian Motor DC Menggunakan <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> Berdasarkan Arduino Uno	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	Nilai PWM akan bertambah sesuai <i>setpoint</i> saat motor DC mengalami perlambatan
4	Martinus	Pembuatan Sistem Kontrol Motor DC Untuk <i>Prototype</i> Kendaraan Listrik Raden Intan 2	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	<i>Prototype</i> mobil listrik “Raden Intan” dan mampu berjalan hingga kecepatan 35 km/jam
5	Nalaprana Nugroho	Analisa Motor DC Sebagai Penggerak Mobil Listrik	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	Motor DC jenis penguat seri yang cocok sebagai penggerak mobil listrik karena memiliki torsi sebesar I^2 , dan 21,6 pada kemiringan 30°

No	Nama	Judul Penelitian	Metode	Hasil
6	Rakha Ardi Nugraha	Perancangan Pengendali Motor <i>Brushed Direct Current</i> 1000 Watt Pada <i>Electric Vehicle</i>	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	Kecepatan motor DC dapat dikendalikan menggunakan <i>throttle</i> yang dapat diatur kurvanya sehingga kecepatan motor dapat diatur sesuai kebutuhan

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Mobil Listrik

Keberadaan kendaraan listrik khususnya mobil listrik sudah ada sejak lama, namun pasar mobil listrik kalah dengan pasar mobil bermesin pembakaran dalam. Hal ini disebabkan karena jarak mengemudi yang lebih jauh dan biaya bahan bakar yang lebih murah [9]. Namun sekarang, pasar kendaraan listrik siap bersaing dengan kendaraan bermesin bakar, contohnya di negara Amerika Serikat. Ada beberapa jenis kendaraan listrik yang dipasarkan yaitu : EVs (*all-electric vehicles*), EVSE (*electric vehicle supply equipment*), HEVs (*hybrid electric vehicles*), PEVs (*plug-in electric vehicles*), PHEVs (*plug-in hybrid electric vehicles*) [9].

Teknologi mengenai kendaraan listrik semakin lama semakin berkembang, termasuk di Indonesia. Pemerintah Indonesia melalui Kementrian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi pada setiap tahunnya menyelenggarakan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). Salah satu kategori pada KMHE yaitu, *Prototype Concept with Electric Motor*, kategori tersebut merupakan mobil listrik masa depan dengan bentuk bodi yang dirancang se-aerodinamis mungkin dan dengan penggerak berupa motor listrik. Gambar *Prototype* mobil listrik dan rangka yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 *Prototype* Mobil Listrik



Gambar 2.2 Rangka *Prototype* Mobil Listrik

Terdapat beberapa peralatan penting yang terpadat pada mobil listrik, yaitu sebagai berikut :

1. Motor Listrik

Mobil listrik menggunakan penggerak utama berupa motor listrik, motor listrik adalah suatu alat yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak atau energi mekanik yang terhubung langsung ke roda baik melalui transmisi atau tidak. Motor listrik mempunyai suara yang halus dan tidak mengeluarkan gas buang seperti motor bakar. Motor listrik yang digunakan pada mobil listrik menggunakan jenis motor *direct current (DC)*.

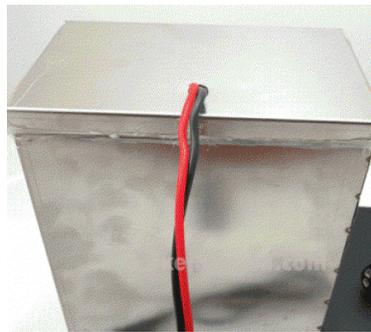
2. Baterai

Baterai merupakan sumber tegangan utama mobil listrik, pada *prototype* mobil listrik menggunakan baterai dengan tegangan nominal 48 V. Tegangan nominal baterai pada mobil listrik bermacam-macam menyesuaikan tegangan motor listrik. Baterai pada *prototype* mobil listrik menggunakan baterai yang dapat diisi kembali atau *rechargeable battery*. Tabel spesifikasi dan gambar baterai yang digunakan pada *prototype* mobil listrik dapat dilihat pada tabel 2.2 dan gambar 2.3.

Tabel 2.2 Spesifikasi Baterai

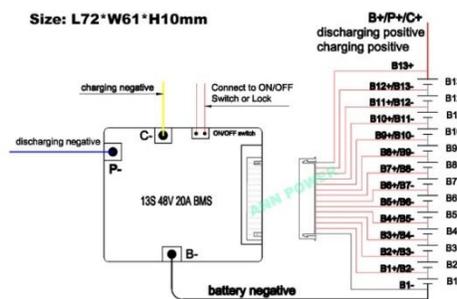
Parameter	Nilai
Tegangan Nominal	48 Volt

Parameter	Nilai
Arus Maksimum	250 Ampere
Kapasitas	10.000 mAh
Jumlah Sel	13 S
Berat	4,5 Kg
Dimensi P x L x T	17x9x42 cm
Jenis Baterai	Lithium Polymer

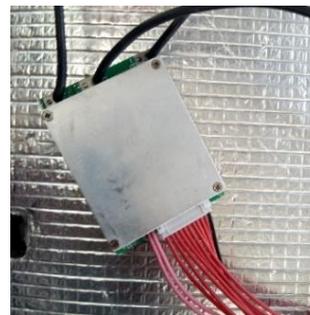


Gambar 2.3 Baterai *Prototype* Mobil Listrik Jenis Lithium Ion

Rangkaian baterai tersebut dipasangkan sebuah BMS (*Battery Management System*) yang bertujuan untuk mengatur arus yang menuju ke sistem kelistrikan mobil. Fungsi lain dari BMS yaitu untuk mengatur tegangan baterai selama proses pemakaian /*discharging* agar tetap pada batas *lower voltage* selain itu, BMS juga mengatur *over voltage* pada saat pengisian/*charging* yang dapat merusak sel baterai. Gambar diagram dan gambar BMS dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 Diagram BMS



Gambar 2.5 *Battery Management System*

3. *Throttle*

Throttle merupakan alat yang berfungsi mengatur putaran motor listrik. Prinsip kerja *throttle* hampir sama dengan *resistor variable*, hanya saja pada *throttle* sudut putar dapat kembali semula secara otomatis karena adanya pegas. Pada *throttle* terdapat 3 kabel yang memiliki fungsi masing-masing yaitu VCC, Data dan *Ground/GND*. Nilai tegangan akan berubah seiring dengan sudut putaran *throttle*. Sehingga tegangan ini dijadikan sebagai masukan analog pada mikrokontroler yang akan diubah menjadi digital menggunakan ADC. Fungsi *throttle* dapat dikatakan seperti pedal gas namun bekerja secara elektrik.

Pengaturan *throttle* pada kendaraan diawali dengan mengukur tegangan yang keluar pada *throttle* saat keadaan diam / 0° dan pada saat diputar dengan sudut 25° , 50° , 75° , 100° . Pada rangkaian *throttle* ditambahkan kapasitor untuk menstabilkan nilai masukan analog. *Throttle* pada mobil listrik memiliki spesifikasi VCC = 5 Volt, range voltage = 0,78 – 4,2 V, setiap *throttle* mempunyai tegangan keluaran yang berbeda sehingga perlu diketahui berapa tegangan keluaran pada setiap sudut *throttle*, agar memudahkan pada pembuatan program. *Throttle* pada mobil listrik dapat dilihat pada gambar 2.6.



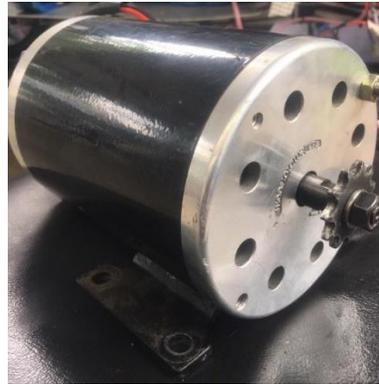
Gambar 2.6 *Throttle* pada Mobil Listrik

2.2.2. Motor Direct Current / Motor DC

2.2.2.1. Pengertian Motor DC

Motor DC atau sering disebut motor searah merupakan salah satu komponen yang berfungsi mengubah energi listrik searah menjadi energi kinetik (gerak). Berbeda dengan motor BLDC (*Brushless Direct Current*), sistem kerja motor DC lebih sederhana karena hanya terdapat 2 polaritas. Pemberian posisi polaritas akan berpengaruh pada arah putaran motor DC sedangkan perbedaan tegangan dari kedua

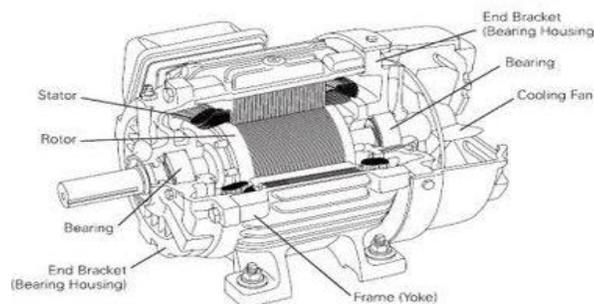
polaritas tersebut berpengaruh pada kecepatan motor DC [10]. Pemanfaatan Motor DC banyak digunakan pada industri yang menggunakan *conveyor* karena sebagai penggerak utama. Sebagian besar bentuk motor DC berbentuk *disc* atau menyerupai pompa, sehingga lebih mudah dalam pengaplikasian. Sistem kontrol kecepatan motor DC merupakan salah satu hal terpenting yang harus ada karena, motor DC memiliki torsi dan RPM yang cukup tinggi sehingga jika tidak terdapat sistem kontrol kecepatan akan mengakibatkan kecelakaan kerja. Gambar motor DC ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Motor DC 1000 Watt 48 Volt

2.2.2.2. Konstruksi Motor DC

Pada semua *brand/merk* motor DC sebagian besar mempunyai konstruksi yang sama. Perbedaan hanya terdapat pada material yang digunakan dan spesifikasi motor DC yang dibuat oleh *brand* tersebut. Gambar konstruksi motor DC dapat dilihat pada gambar 2.8, untuk dapat berputar, motor DC memiliki beberapa bagian penting, yaitu:



Gambar 2.8 Konstruksi Motor DC

Sumber : <https://elektronika-dasar.web.id/prinsip-kerja-motor-dc/>

a) Bagian Stator

Stator merupakan bagian dari motor DC yang tidak berputar. Pada stator terdapat 2 buah magnet dengan polaritas yang berbeda yaitu utara dan selatan. Stator berfungsi juga sebagai *case* motor DC. Bagian stator terdiri dari :

1. Rangka / *Case*

Selain sebagai *case* / pelindung utama, rangka memiliki fungsi utama yaitu sebagai tempat mengalirnya fluks magnet, sehingga rangka harus dibuat dengan bahan ferromagnetic. Pada motor DC berdaya besar rangka / *case* terbuat dari baja karena pada implementasinya rangka motor DC dipasang *mounting bracket*

2. Inti Kutub Magnet

Inti kutub magnet merupakan bagian terpenting pada stator karena pada bagian ini terjadinya *fluks* magnet. Terdapat 2 inti kutub magnet yang berbeda yaitu kutub utara dan selatan

3. Sikat / *Brush*

Fungsi utama sikat adalah sebagai penghubung aliran arus menuju ke komutator (rotor) yang akan mengalir menuju ke lilitan jangkar, sikat lama kelamaan akan aus karena bergesekan dengan komutator

b) Bagian Rotor

Bagian rotor merupakan bagian yang berputar sehingga memerlukan *bearing* dan poros atau as. Bagian rotor terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

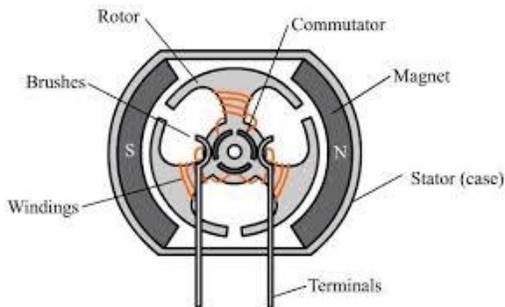
1. Komutator

Fungsi komutator yaitu membalikkan arah arus yang mengalir dari sikat/*brush*. Komutator juga berfungsi sebagai transmisi / penghubung arus antara rotor dan catu daya

2. Jangkar / Lilitan jangkar

Jangkar berfungsi sebagai terjadinya gaya gerak listrik yang mengakibatkan rotor berputar. Jangkar berisi lilitan tembaga atau bahan lain yang mempunyai sifat *ferromagnetic* sangat kuat [10] [11].

2.2.2.3. Prinsip Kerja Motor DC



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Motor DC

Sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/3881/3/BAB%20II.pdf>

Pada dasarnya perputaran motor DC diakibatkan karena kutub magnet yang saling tolak-menolak atau kutub yang memiliki polaritas sama. Saat arus mengalir melewati sikat dan komutator dan menuju ke lilitan, maka akan timbul gaya gerak listrik. Sehingga, kutub utara lilitan akan berhadapan dengan kutub utara magnet dan kutub selatan lilitan akan berhadapan dengan kutub selatan magnet. Karena kutubnya sama maka terjadi tolak-menolak yang menyebabkan bagian rotor berputar [11] [12]. Gambar ilustrasi prinsip kerja motor DC dapat dilihat pada gambar 2.9.

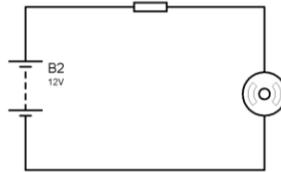
2.2.2.4. Jenis-jenis Motor DC

Motor DC memiliki berbagai macam jenis yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Jenis-jenis motor DC dibedakan berdasarkan hubungan kumparan medan dan kumparan angkernya atau armature. Jenis-jenis motor DC yaitu:

1. Motor DC Magnet Permanen (PMDC)

Motor DC magnet permanen didefinisikan sebagai motor DC dengan magnet permanen pada bagian stator atau bagian yang tidak bergerak. Motor DC jenis ini tidak memerlukan belitan medan sehingga motor jenis ini memiliki dimensi dan bobot yang lebih ringan namun karakteristik torsi terhadap arus bersifat linier. Motor jenis inilah yang digunakan pada *prototype* mobil listrik. Untuk mempertahankan torsi, motor DC jenis ini menyertakan komutator yang terhubung langsung dengan poros motor.

Tegangan pada motor ini juga bervariasi mulai 6 V hingga 72 V serta memiliki daya yang bervariasi [13]. Gambar ilustrasi motor DC magnet permanen dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Ilustrasi Motor DC Magnet Permanen

Sehingga persamaan yang muncul pada motor DC permanen magnet yaitu :

$$V = I.R + Eb$$

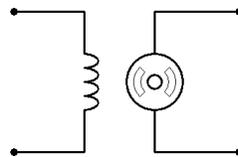
Keterangan

I : Arus anker dinamo (A) Eb : Gaya Gerak Listrik Balik

V : Tegangan suplai (V) R : Resistansi anker dinamo (R)

2. Motor DC dengan Sumber Daya Terpisah

Motor DC jenis ini menggunakan sumber arus terpisah yang menuju kumparan medan dengan kumparan anker/armature pada rotor. Sehingga perlu rangkaian tambahan untuk suplai arus ke kumparan medan [13]. Gambar ilustrasi motor DC dapat dilihat pada gambar 2.11.

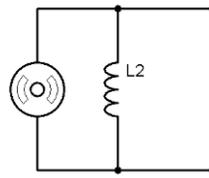


Gambar 2.11 Ilustrasi Motor DC Sumber Daya Terpisah

3. Motor DC dengan Sumber Daya Sendiri

a) Motor DC Tipe Parallel

Jenis motor DC tipe parallel/shunt merupakan jenis motor DC dengan kumparan medan dan kumparan angker dipasang secara parallel [13]. Gambar ilustrasi motor DC Shunt dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Ilustrasi Motor DC *Shunt*

Jika dirangkai secara parallel maka terdapat persamaan sebagai berikut:

$$E_a = V_t - I_a R_a \quad (2.1)$$

$$V_t = I_f R_f \quad (2.2)$$

$$I = I_a + I_f \quad (2.3)$$

$$n = \frac{E_a}{C\phi} \quad (2.4)$$

Keterangan:

E_a : Tegangan induksi (Volt) n : Kecepatan putar (rpm)

C : Konstanta motor ϕ : Fluks magnet/kutub

V_t : Tegangan terminal motor DC R_f : Tahanan medan *shunt*

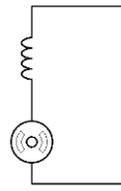
I_f : Arus medan *shunt* R_a : Tahanan jangkar

I_a : Arus jangkar

b) Motor DC Tipe Seri

Motor DC tipe seri merupakan motor DC dimana kumparan medan dan kumparan angker/armaturnya dipasang seri. Sehingga, kecepatan motor DC seri saat terjadi pembebanan akan berkurang

[13]. Gambar ilustrasi motor DC seri dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi Motor DC Seri

Jenis Motor DC seri menghasilkan beberapa persamaan, sebagai berikut:

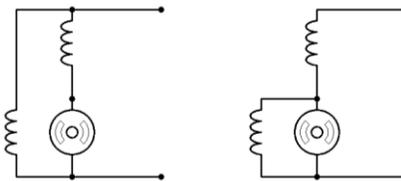
$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_s) \quad (2.5)$$

$$I = I_a = I_s \quad (2.6)$$

$$n = \frac{E_a}{c\phi} \quad (2.7)$$

c) Motor DC Tipe *Compound*

Jenis motor DC ini menggabungkan tipe motor DC jenis shunt dan jenis seri. Pada kumparan medan dihubungkan secara seri dan parallel [13]. Jenis motor DC *compound* dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Ilustrasi Motor DC *Compound*

Persamaan yang muncul pada jenis motor DC *compound* ini yaitu:

$$E_a = V_t - I R_s - I_a R_a \quad (2.8)$$

$$I = I_{sh} R_{sh} + I R_s \quad (2.9)$$

$$I = I_a + I_f \quad (2.10)$$

2.2.2.5. Pengendalian Kecepatan Motor DC

Motor DC memiliki kecepatan dan torsi yang dapat dibilang sesuai jika diterapkan pada beban. Motor DC memiliki kecepatan yang cukup tinggi oleh karena itu, jika tidak terdapat suatu pengendali kecepatan pada instalasi, kecepatan motor DC akan tidak terkendali sehingga akan membahayakan lingkungan sekitar [14]. Pengendalian motor DC dilakukan dengan memanipulasi 3 *variable* secara otomatis maupun manual. Pengendalian motor DC dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu:

a) Metode Pengendalian *Fluks* Medan

Metode ini mengatur tahanan geser medan yang dihubungkan secara seri dengan medan *shunt*. Pada saat tahanan dalam diperbesar maka akan mengakibatkan turunnya fluksi medan sehingga kecepatan bertambah, begitu pula sebaliknya saat tahanan dalam diturunkan maka fluksi medan akan bertambah sehingga kecepatan motor berkurang.

b) Metode Pengendalian Tahanan Jangkar

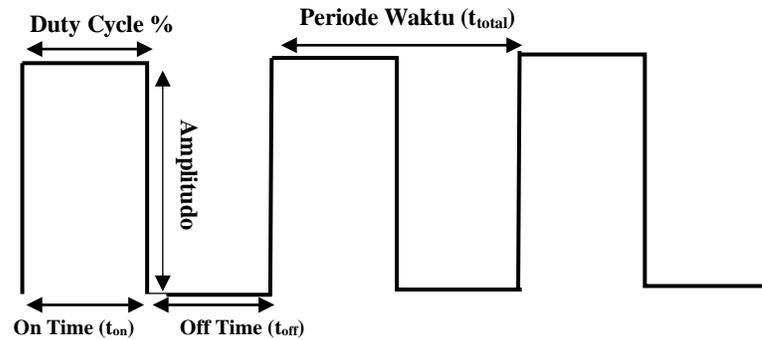
Metode ini menggunakan tahanan *variable* yang dihubungkan seri dengan jangkar. Pada saat tahanan seri dinaikkan maka kecepatan motor berkurang sedangkan saat tahanan seri diturunkan maka kecepatan motor akan bertambah.

c) Pengendalian Tegangan Jangkar

Metode pengendalian tegangan jangkar merupakan metode yang sering digunakan. Metode ini menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*).

2.2.2.6. PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM merupakan cara untuk merubah atau memanipulasi lebar pulsa dalam suatu periode untuk mendapatkan tegangan rerata yang berbeda. Sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama namun memiliki lebar pulsa yang dapat berubah. Gelombang PWM dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Gelombang PWM

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.11)$$

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.12)$$

Keterangan:

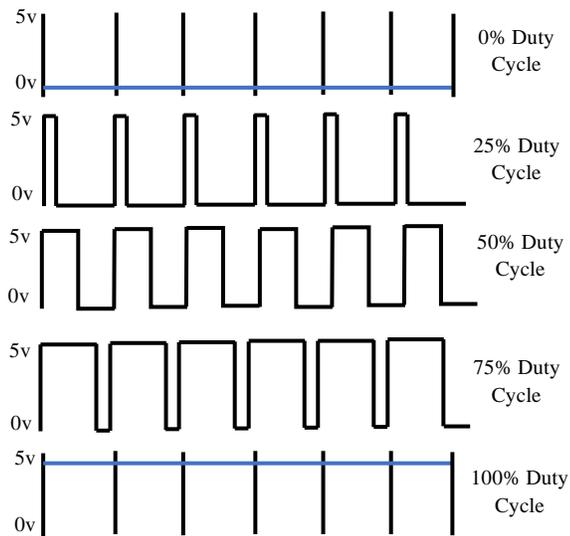
Toff : Waktu pulsa off/*low*

Ton : Waktu pulsa on/*high*

Vout : Tegangan keluaran

Vin : Tegangan masukan

Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan beberapa cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp dan dengan metode digital. Metode digital menggunakan nilai resolusi dari PWM itu sendiri, misal PWM dengan resolusi 8 bit artinya PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak 256 variasi mulai dari 0-255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% [14]. Perubahan variasi dapat dilihat pada gambar 2.16.

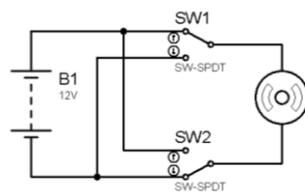


Gambar 2.16 Variasi Gelombang PWM

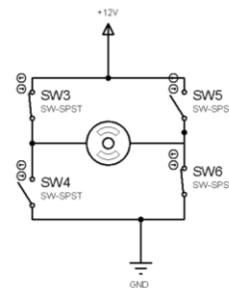
2.2.2.7. Kendali Arah Putaran Motor DC

Motor DC merupakan salah satu jenis motor yang mudah untuk dikendalikan baik dari kecepatan maupun arah putarnya. Pada intinya perubahan arah motor DC dapat dilakukan dengan mengubah polaritas motor DC tersebut. Dari kutub positif menjadi negatif dan sebaliknya.

Ada beberapa cara untuk mengubah putaran motor DC pada rangkaian yaitu menggunakan relay dan H-bridge. Gambar rangkaian penggunaan relay dan H-bridge dapat dilihat pada gambar 2.17 dan 2.18.



Gambar 2.17 Rangkaian Relay



Gambar 2.18 Rangkaian H-Bridge

2.2.3. Mikrokontroler ATmega16

2.2.3.1. Pengertian Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler merupakan sebuah piranti computer lengkap dalam bentuk chip yang didalamnya terdapat mikroprosesor, fungsi I/O, dan fungsi ADC (*Analog to Digital Converter*). Berbeda dengan mikroprosesor yang mempunyai fungsi sebagai media pemrosesan data. Pada mikrokontroler juga terdapat RWM (*Read-Write Memory*) dan ROM (*Read-Only Memory*) [15].

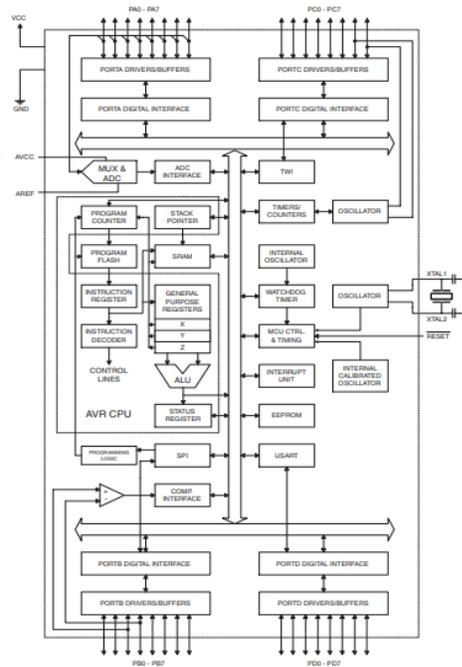
Pada keluarga AVR secara umum dibedakan menjadi 4 kelas, yaitu : keluarga Attiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Dasar yang membedakan adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya. Namun, dari segi arsitektur dan instruksi beberapa kelas tersebut dapat dibilang sama. Mikrokontroler ATmega16 adalah salah satu tipe mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*). ATmega16 mempunyai beberapa unit fungsional *Arithmetic and Logical Unit* (ALU), himpunan *register* kerja, *register* dan *decoder* instruksi, dan pewaktu serta komponen kendali lainnya [15]. Gambar ATmega16 dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Mikrokontroler ATmega16

2.2.3.2. Arsitektur Mikrokontroler ATmega16

ATmega16 merupakan mikrokontroler CMOS 8 bit buatan Atmel yang berasal dari keluarga AVR. Mikrokontroler ATmega16 menggunakan arsitektur *Harvard* yang memisahkan memori data dan memori program, baik bus alamat maupun bus data sehingga dalam pengaksesan dapat dilakukan secara bersamaan (*concurrent*) [15]. Adapun blok diagram mikrokontroler ATmega16 seperti gambar 2.20.



Gambar 2.20 Blok Diagram Mikrokontroler ATmega16
 Sumber : ATmega16 ATmega16L Datasheet

Secara garis besar blok diagram mikrokontroler ATmega16 dapat dijelaskan sebagai berikut :

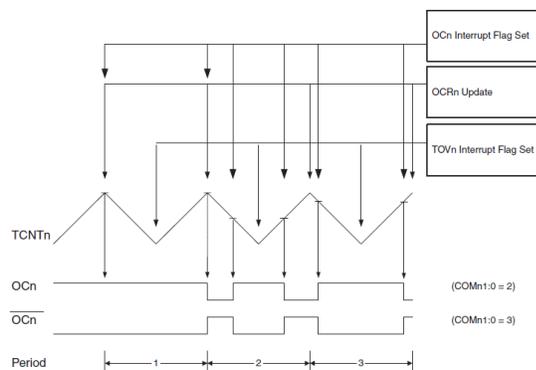
1. Saluran *Input/Output* (I/O) terdapat 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C*, *port D* masing-masing *port* memiliki 8 pin.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 Mhz.
3. *ADC / Analog to Digital Converter* 10 bit sebanyak 8 *channel* pada port A.
4. CPU yang terdiri dari 32 buah register.
5. Terdapat SPI dan USART sebagai komunikasi serial.
6. 2 buah *timer/counter* 8-bit dan 1 buah *timer/counter* 16-bit dengan *prescalers* dan kemampuan pembanding.
7. *Watchdog timer* dengan osilator *internal*.

8. Tegangan operasi 2,75 - 5,5 V pada ATmega16L dan 4,5 - 5,5 V pada ATmega16
9. Memiliki kapasitas *Flash Memory* 16 *Kbyte*, SRAM 1 *Kbyte* dan EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
10. Antarmuka komparator analog.
11. 4 *channel* PWM
12. Nilai kecepatan (*speed grades*) 0 - 8 MHz untuk ATmega16L dan 0 - 16 MHz untuk ATmega16 [15].

2.2.3.3. PWM pada Mikrokontroler ATmega16

PWM merupakan gelombang yang berkaitan dengan frekuensi/pewaktuan, sehingga pada ATmega16 dapat memanfaatkan fitur *timer* yang mana *timer* akan mengaktifkan sinyal *output* pada fitur *output compare* (OC).

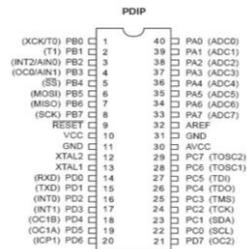
Sehingga untuk mengaktifkan PWM pada ATmega16 menggunakan perintah untuk menentukan pin *timer* atau TCCR dan OCR (*output compare register*). Ketika nilai TCNT0 (*register* yang digunakan untuk menyimpan counter waktu) sama dengan nilai pada OCR0, maka output pada OC0 akan berlogika nol atau berlogika satu, tergantung pada pemilihan *mode* PWM. Selain itu, pengaturan *prescale* juga diperlukan untuk mengatur frekuensi pada PWM. Gambar ilustrasi perbandingan PWM dengan nilai OCR dan TCNT dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Nilai OCR dan TCNT
Sumber : ATmega16 ATmega16L *Datasheet*

2.2.3.4. Konfigurasi Setiap Pin Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler ATmega16 memiliki 40 pin, dimana 32 pin sebagai input/output yang terdiri dari 8 pin untuk port A, 8 pin untuk port B, 8 pin untuk port C, dan 8 pin untuk port D [16]. Konfigurasi pin pada mikrokontroler ATmega16 dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Konfigurasi Pin Atmega16
Sumber: ATmega16 ATmega16L Datasheet

Gambar 2.6 merupakan keterangan setiap pin mikrokontroler ATmega16, berikut ini merupakan penjelasan umum gambar tersebut :

1. Port A (PA0 – PA7)

Port A terdiri dari 8 pin yang merupakan pin ADC (*Analog to Digital Converter*). Port A juga berfungsi sebagai I/O 8 bit yang sifatnya 2 arah, jika ADC tidak digunakan. Pin pada port A juga dapat menyediakan resistor *internal pull-up*. Pada penelitian ini Port A digunakan sebagai input dari resistor *variable/potensio* yang mana wujud dari potensio tersebut yaitu *throttle* yang di bagian stang pengemudi.

2. Port B (PB0 – PB7)

Port B pada ATmega16 merupakan pin *timer / counter*, komparator analog dan SPI. Port B adalah suatu port I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Port B digunakan untuk input pada rangkaian kontrol yang digunakan untuk mengubah kurva *throttle* agar sesuai dengan kebutuhan kendaraan.

3. Port C (PC0 – PC7)

Port C merupakan pin I/O yang bersifat dua arah yang mempunyai fungsi utama sebagai komparator TWI, komparator analog dan *timer* osilator. Port C juga pin

I/O dua arah yang memiliki resistor *internal pull-up*. Port C digunakan sebagai inputan untuk LCD 16x2 yang menampilkan nilai ADC dan OCR, jika *throttle* diputar nilai ADC dan OCR akan naik seiring putaran *throttle* tersebut.

4. Port D (PA0 – PA7)

Port D merupakan pin I/O yang bersifat 2 arah yang memiliki fungsi utama yaitu komparator analog, interupsi eksternal dan komunikasi serial. Seperti port A, B, dan C, port D juga mempunyai resistor *internal pull-up*, yang mana arus sumber akan memungkinkan arus sumber jika resistor *internal pull-up* diaktifkan. Port D digunakan untuk inputan *driver* MOSFET yaitu TC4427. *Driver* MOSFET akan terhubung langsung dengan *input gate* pada MOSFET.

5. Reset (Pin 9)

Reset merupakan pin yang digunakan untuk *me-restart* atau memulai ulang suatu program.

6. XTAL 1 dan XTAL 2 (Pin 12 dan Pin 13)

XTAL 1 dan XTAL 2 merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan *clock* eksternal. Suatu mikrokontroler membutuhkan sumber detak / *clock* agar dapat mengeksekusi intruksi yang ada di memori. Semakin tinggi nilai kristalnya, maka semakin cepat pula mikrokontroler tersebut dalam mengeksekusi program.

7. AVCC (Pin 30)

AVCC merupakan pin pada ATmega16 yang berfungsi sebagai suplai tegangan untuk ADC.

8. AREF (Pin 32)

AREF merupakan pin yang berfungsi sebagai suplai tegangan referensi.

9. VCC (Pin 10)

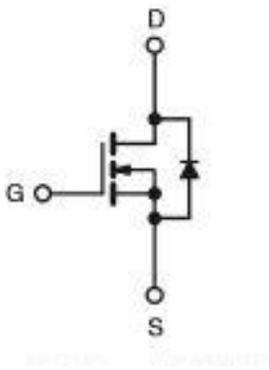
VCC merupakan pin yang berfungsi untuk suplai tegangan untuk mikrokontroler ATmega16. ATmega16 mendapatkan suplai tegangan sebesar 4,5 – 5,5 Volt.

10. GND (Pin 11)

GND merupakan pin yang berfungsi sebagai *ground* dari *supply* tegangan [16].

2.2.4. MOSFET IRFP260

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu perangkat semikonduktor yang sering difungsikan sebagai *switch* atau penguat sinyal pada suatu rangkaian. MOSFET merupakan jenis dari FET (*Field Effect Transistor*) atau biasa disebut transistor efek medan. Dalam keluarga FET terdapat beberapa jenis yaitu : JFET (*Junction Field Effect Transistor*) dan MOSFET atau IGFET. Jenis-jenis diatas memiliki prinsip kerja yang sama namun memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing sesuai dengan spesifikasi [17]. Gambar struktur MOSFET dapat dilihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Struktur MOSFET
Sumber : Datasheet MOSFET IRFP260

MOSFET memiliki 4 kaki atau pin yaitu : *Source* (S), *Gate* (G), *Drain* (D) dan *Body* (B). MOSFET berfungsi untuk mengontrol tegangan dan arus melalui kaki *source* (S) dan *drain* (D). Terdapat 2 jenis MOSFET yaitu *N-channel* dan *P-channel*, perbedaan keduanya terdapat pada *substrate* atau *source substrate*. MOSFET merupakan komponen penting dalam pengaplikasian pengendali kecepatan motor DC, PWM yang diinputkan pada *gate* akan mengontrol tegangan yang melewati *Source* (S) lalu ke *Drain* (D). Dengan demikian maka cepat lambatnya motor DC dapat ditentukan oleh besar kecilnya PWM [17].

MOSFET IRFP260 merupakan MOSFET berjenis N-channel MOSFET yang termasuk dalam kategori *power* MOSFET. IRFP260 memiliki V_{dss} cukup tinggi yaitu

hingga 200 V dan I_d sebesar 46 A. IRFP260 mampu bekerja pada suhu 175° C serta mempunyai disipasi daya hingga 3000 Watt. Pada pemasangannya IRFP260 dirangkai paralel berjumlah 5 buah sehingga spesifikasi I_d atau arus bertambah menjadi 230 A. Dari beberapa spesifikasi tersebut, MOSFET IRFP260 sangat sesuai digunakan pada pengendali motor DC pada *electric vehicle* karena pada *electric vehicle* beban motor DC tergolong berat sehingga akan membutuhkan arus yang sangat tinggi terlebih pada keadaan *start* [18]. IRFP260 dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 MOSFET IRFP260

Sumber : <https://www.soselectronic.com/products/no-name/irfp-260-irfp260-pbf-42788>

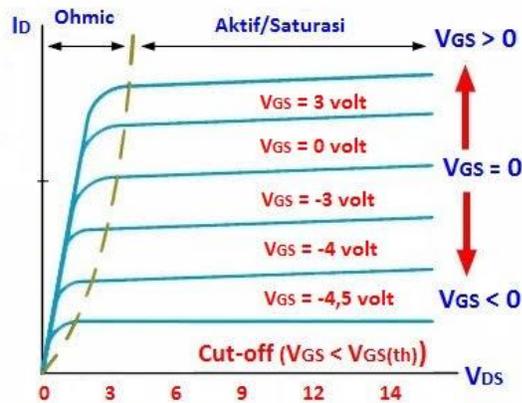
Tabel 2.3 Tabel Spesifikasi MOSFET IRFP260

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)				
PARAMETER	SYMBOL		LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}		200	V
Gate-Source Voltage	V_{GS}		± 20	
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	$T_C = 25^\circ\text{C}$	46	A
		$T_C = 100^\circ\text{C}$	29	
Pulsed Drain Current ^a	I_{DM}		180	
Linear Derating Factor			2.2	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E_{AS}		1000	mJ
Repetitive Avalanche Current ^d	I_{AR}		46	A
Repetitive Avalanche Energy ^d	E_{AR}		28	mJ
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25^\circ\text{C}$		280	W
Peak Diode Recovery dV/dt^c	dV/dt^c		5.0	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}		- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

Sumber : Datasheet High Power MOSFET IRFP260

2.2.4.1. MOSFET Sebagai Switch

MOSFET merupakan *transistor bipolar* yang memiliki impedansi masukan atau gate yang sangat tinggi sehingga memungkinkan untuk dapat menghubungkan semua jenis gerbang logika. Untuk membuat MOSFET menjadi saklar memanfaatkan MOSFET pada kondisi saturasi (ON) dan kondisi *cut-off* (OFF) [19][20]. Gambar kurva kondisi MOSFET dapat dilihat pada gambar 2.25.

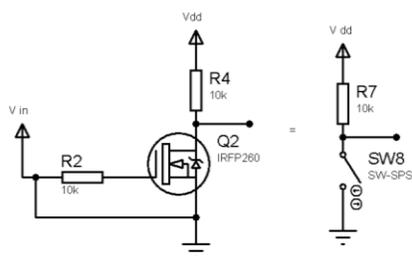


Gambar 2.25 Kurva Karakteristik MOSFET

Sumber : <http://www.robotics-university.com/2014/10/karakteristik-dasar-mosfet.html>

a) Wilayah *Cut-Off* MOSFET

MOSFET dikatakan pada keadaan *Cut-Off* jika pada rangkaian MOSFET tidak dialiri arus listrik. Oleh karena itu, keadaan *Cut-Off* pada MOSFET dapat dilakukan dengan menghubungkan kaki *gate* dengan kaki *ground*. Sehingga $V_{in} = 0$, berarti $V_{ds} = V_{dd}$ pada keadaan ini dapat dikatakan MOSFET dalam keadaan *Off* [20]. Rangkaian *Cut-Off* dapat dilihat pada gambar 2.26



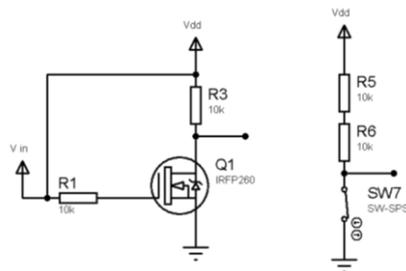
Gambar 2.26 Rangkaian Cut-Off MOSFET

Untuk mendapatkan kondisi MOSFET dalam keadaan *open* maka tegangan *gate* V_{gs} harus lebih rendah dari tegangan *threshold* V_{th} dengan cara menghubungkan terminal *input* (*gate*) ke *ground*. Keadaan *Cut-Off* MOSFET memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Input *gate* tidak mendapatkan tegangan bias karena V_{in} terhubung dengan *ground*
- Tegangan *gate* lebih kecil dari tegangan *threshold* atau $V_{gs} < V_{th}$
- MOSFET dalam keadaan *Off* atau mati
- Kondisi MOSFET *open circuit* sehingga arus *drain* tidak mengalir
- Tegangan *output*/ $V_{out} = V_{gs} = V_{dd}$

b) Wilayah Saturasi MOSFET

MOSFET dikatakan dalam keadaan saturasi maka MOSFET dalam keadaan ON atau V_{gate} terhubung dengan V_{in} . Sehingga V_{gate} mendapat tegangan bias maksimum yang menyebabkan $V_{ds} = 0$ [20]. Rangkaian ON MOSFET dapat dilihat pada gambar 2.27.



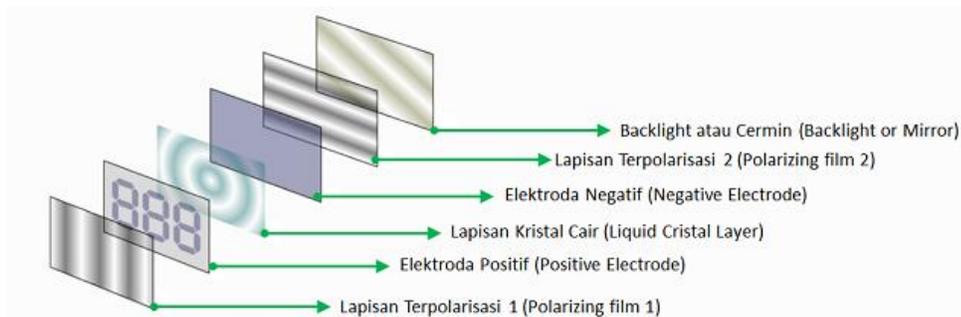
Gambar 2.27 Rangkaian ON MOSFET

MOSFET dalam keadaan *Fully ON* dapat dilakukan dengan menghubungkan V_{in} *gate* dengan V_{dd} atau dengan memberikan tegangan *gate* lebih tinggi dari tegangan *threshold*-nya. Karakteristik MOSFET dalam keadaan saturasi yaitu:

- Tegangan *gate* lebih tinggi dari tegangan *threshold* ($V_{gs} > V_{th}$)
- Tegangan *drain* pada daerah saturasi = 0 v
- MOSFET menghasilkan tegangan *output* = 0,2 v
- Hambatan pada *drain* dan *source* sangat rendah
- MOSFET dalam kondisi *close circuit*

2.2.5. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan suatu komponen elektronika yang berfungsi sebagai penampil suatu data, baik berupa karakter, huruf, angka atau grafik. Layar LCD tersusun atas bahan silicon dan gallium yang berbentuk kristal cair sebagai pemendar cahayanya. Pada LCD setiap matriks tersusun atas 2 dimensi yang terbagi dalam baris dan kolom. LCD pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian *backlight* (lampu latar belakang) dan bagian *liquid crystal* (kristal cair). LCD tidak memancarkan cahaya namun, LCD hanya merefleksikan dan mentransmisikan cahaya yang melewatinya. Oleh karena itu, LCD memerlukan *backlight* atau cahaya latar belakang untuk sumber cahayanya. *Backlight* cahaya tersebut pada umumnya berwarna putih sedangkan *liquid crystal* yaitu cairan organik pada dua lembar kaca yang memiliki permukaan transparan dan konduktif [21]. Struktur penyusun LCD dapat dilihat pada gambar 2.28.



Gambar 2.28 Structure LCD

Sumber : <https://teknikelektronika.com/pengertian-lcd-liquid-crystal-display-prinsip-kerja-lcd/>

Prinsip kerja LCD yaitu pada lapisan film yang berisi *crystal* air pada dua lempeng kaca yang telah dipasang elektroda transparan, saat tegangan disuplai pada beberapa pasang elektroda, molekul- molekul *crystal* air akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Hasil penyerapan inilah yang membentuk sebuah karakter atau data huruf atau angka. LCD pada rangkaian elektronika ada bermacam-macam yaitu LCD 8x1, 16x1, 16x2, 16x4, 20x4. Namun pada penggunaan pengendali motor DC digunakan LCD 16x2 [21]. Gambar LCD yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.29.

Tabel 2.4 *Datasheet* LCD 16x2

Pin	Simbol	I/O	Deskripsi
1	VSS	--	Ground
2	VCC	--	+ 5 V power supply
3	VEE	--	Power supply source to control contrast
4	RS	I	Register select: RS = 0 to select instruksi. Command register; RS = 1 to select data reg.
5	R/W	I	Read/Write: R/W = 0 for write, R/W = 1 for read
6	E	I	Enable
7	DB0	I/O	The 8-bit data bus
8	DB1	I/O	The 8-bit data bus
9	DB2	I/O	The 8-bit data bus
10	DB3	I/O	The 8-bit data bus
11	DB4	I/O	The 8-bit data bus
12	DB5	I/O	The 8-bit data bus
13	DB6	I/O	The 8-bit data bus
14	DB7	I/O	The 8-bit data bus

Sumber : <https://kl801.ilearning.me/2015/04/28/pelajari-tentang-lcd-2x16-character-3/>

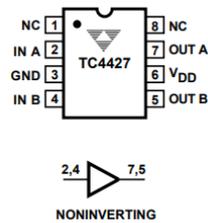


Gambar 2.29 *Liquid Crystal Display* 16x2

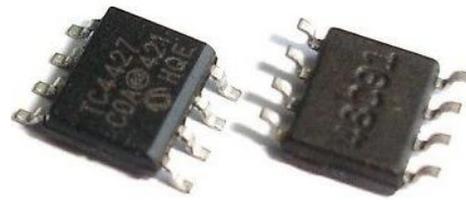
2.2.6. *Driver* MOSFET TC4427

Driver MOSFET merupakan suatu rangkaian atau IC yang berupa rangkaian penguat daya yang berfungsi menerima *input* daya rendah dari mikrokontroler yang akan menghasilkan penguatan *drive* gerbang arus tinggi sesuai dengan kaki *gate* MOSFET. Kaki *gate* pada MOSFET memerlukan jumlah muatan yang cukup besar agar MOSFET dapat berada pada kondisi ON dan berada pada kondisi OFF [20]. Pada penelitian ini menggunakan *driver* MOSFET TC4427, TC4427 merupakan perbaikan dari versi sebelumnya TC427. TC4427 aktif pada rentang tegangan 4,5 hingga 18 Volt DC dan mampu menghasilkan arus hingga 1,5 A. TC4427 memiliki karakteristik *high speed power* MOSFET karena mampu men-*Switching* 1000 pF kapasitansi pada *gate*

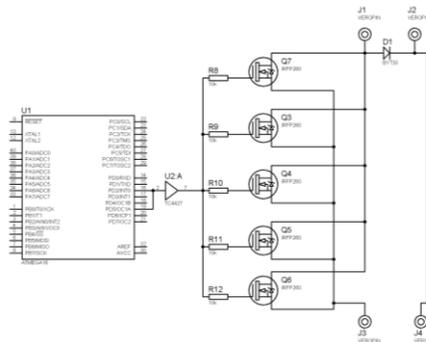
MOSFET dengan waktu sekitar 25 nSec. Supaya TC4427 dapat men-*drive* MOSFET maka diperlukan suplai tegangan yang sesuai dengan V_{gs} MOSFET. Serta pada *temperature* TC4427 mampu bekerja hingga 150°C [22]. Gambar pin TC4427 dapat dilihat pada gambar 2.30 dan 2.31, serta contoh rangkaian TC4427 dapat dilihat pada gambar 2.32



Gambar 2.30 Skema *Driver* MOSFET TC4427
 Sumber : Datasheet TC4426, TC4427, TC442



Gambar 2.31 *Driver* MOSFET TC4427
 Sumber : Datasheet TC4426, TC4427, TC442



Gambar 2.32 Contoh Rangkaian TC4427

2.2.7. Sistem Kendali *Loop* Terbuka

Sistem kendali *loop* terbuka merupakan suatu sistem pengaturan yang mana keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Sehingga pada sistem pengaturan *loop* terbuka tidak terdapat kendali umpan balik/*feedback* yang digunakan untuk masukan atau keluaran dari sistem kendali terbuka tidak dapat digunakan sebagai pembanding umpan balik dengan acuan masukan/*set point*. Gambar diagram sistem kendali *loop* terbuka dapat dilihat pada gambar 2.33.



Gambar 2.33 Diagram Sistem Kendali *Loop* Terbuka