

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Penggunaan Blower 650 watt sebagai Supercharger Elektrik terhadap Performasi Mesin Otto EFI Kapasitas 125 cc Berbahan Bakar Campuran Pertamax dan Etanol96. Alat tersebut menggunakan *blower* DC 650 watt untuk memutar *propeller* yang digunakan untuk memampatkan udara yang masuk ke mesin. Sistem kerja dari alat tersebut dengan memampatkan udara menggunakan *blower* DC 650 watt dan pengoperasian alat ini hanya mengacu pada mesin otto EFI yang berkapasitas 125 cc. (Ginting, 2014)

Dalam Tugas Akhir yang berjudul Studi Pengaruh Active Turbo Cyclone terhadap Emisi Gas Buang pada Motor Bensin 4 Tak 1 Silinder. Dalam penelitian tersebut dengan menambahkan *Turbo Cyclone* yang merupakan salah satu alat yang dapat memberikan efek aliran berpusar pada silinder, sehingga dapat menyempurnakan pembakaran. Dengan ini konsumsi akan semakin sedikit digunakan dan tidak menimbulkan polusi yang membahayakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemasangan *turbo cyclone* terhadap emisi gas buang mesin Yamaha New Vega ZR. Hasil yang diperoleh dari penelitian bahwa dengan pemakaian *turbo cyclone* pada Sepeda Motor tidak efektif pada putaran rendah, namun pada putaran tinggi *turbo cyclone* membantu menghisap udara ke ruang bakar, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Sepeda motor yang menggunakan *turbo cyclone* emisi gas buang yang dihasilkan gas CO,

O₂, CO₂, HC dan NO_x lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi standar. (Surya Didelhi, dkk, 2013)

Dalam Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Penggunaan Turbo Cyclone dan Busi Iridium terhadap Emisi Gas Buang pada Motor Bensin 4 Tak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui emisi gas buang kendaraan dengan menggunakan *turbo cyclone* dan busi iridium dibandingkan dengan emisi gas buang kendaraan standar. Variabel bebas yang digunakan adalah *turbo cyclone* dan busi iridium. Sedangkan variabel kontrol meliputi putaran mesin yaitu stasioner (1.500 Rpm) sampai 9000 Rpm dengan *range* putaran 500 Rpm pada mesin 4 langkah, transmisi pada posisi *top gear*, bahan bakar premium, suhu mesin pada suhu kerja (60°C), mesin Honda Supra X 125. Kesimpulan dari hasil penelitian bahwa kendaraan eksperimen pembakaran yang dihasilkan jauh lebih baik dari kendaraan standar, karena adanya *turbo cyclone* yang berfungsi merubah aliran laminer campuran udara dan bahan bakar sehingga menjadi aliran turbulen yang mengakibatkan kesempurnaan dalam pembakaran. Serta di dukung dengan penggunaan busi iridium sehingga campuran udara dan bahan bakar akan terbakar secara keseluruhan, karena percikan busi iridium lebih besar dan tertuju pada satu titik, sehingga akan meningkatkan konsentrasi CO₂ dan menurunkan konsentrasi O₂ serta emisi HC pada Honda Supra X 125 tahun 2011. (Suliyono, 2013)

Pada pembuatan tugas akhir ini membuat suatu alat *Prototype Electric Supercharger Turbine* Pada Mesin Otto DOHC kapasitas 150 cc. Alat *electric supercharger* sudah ada di Indonesia, namun pengaplikasian dan sistemnya yang membedakan. Untuk pengaplikasiannya ada yang untuk mesin otto ber-cc kecil maupun yang ber-cc besar. Namun dalam *prototype* alat *electric supercharger turbine* ini pengaplikasikan pada sepeda motor Suzuki Satria fu 150 dengan desain, bahan dan sistem yang membedakannya. Untuk desainnya ada yang berbentuk tabung dengan *propeller* dan ada yang berbentuk *cyclone*

(tanpa *propeller*). Namun pada alat ini menggunakan desain tabung agak sedikit mengerucut, ini bertujuan untuk memaksimalkan tekanan udara. Sedangkan untuk bahan, alat ini menggunakan bahan fiber karena mudah dibentuk dan tidak mudah patah. Sedangkan untuk sistem alat sangat berbeda dengan yang sudah ada dikarenakan alat ini sudah menggunakan sensor Rpm sehingga alat bekerja secara otomatis sesuai dengan putaran Rpm mesin kendaraan. Sedangkan yang sudah ada masih menggunakan *switch on/off* (manual). Sehingga terdapat perbedaan dengan alat yang sudah ada dan terdapat modifikasi alat *prototype electric supercharger turbine*.

2.2 Suzuki Satria fu 150

Dengan bertambahnya pecinta motor bebek sport dari waktu ke waktu, Suzuki terus mengembangkan inovasi agar dapat bersaing dengan kompetitor. Pada Tahun 2004, Suzuki merilis motor Satria generasi pertama bermesin 4-Tak yang di-*import* dari Thailand dengan nama Satria fu 150.



Gambar 2.1 Suzuki Satria FU 150 (Sumber : Aldo, 2011)

Berikut ini adalah spesifikasi Suzuki Satria fu 150 :

Tabel 2.1 Spesifikasi Mesin Suzuki Satria fu (Sumber : Aldo, 2011)

Jenis	4-Tak, DOHC, Berpendingan Udara, SACS, 4-Katup
Jumlah Silinder	1 (satu)
Diameter Silinder	62 mm
Langkah Piston	48.8 mm
Kapasitas Silinder	147.3 cc
Perbandingan Kompresi	10.2 : 1
Daya Maksimum	16 Ps/9.500 rpm
Torsi Maksimum	1.27 Kg.m . 8500 rpm
Karburator	MIKUNI BS 26 – 187
Saringan Udara	Jenis Kertas
Sistem Starter	Elektrik dan kaki
Sistem Pelumasan	Perendaman Oli

Tabel 2.2 Spesifikasi Dimensi Suzuki Satria fu (Sumber : Aldo, 2011)

Panjang Keseluruhan	1945 mm
Lebar Keseluruhan	652 mm
Tinggi Keseluruhan	941 mm

Tabel 2.2 Spesifikasi Dimensi Suzuki Satria fu (lanjutan)

Jarak Antara As Roda	941 mm
Jarak Mesin ke Tanah	95 mm
Berat Kendaraan	95 kg
Tinggi Tempat Duduk	764 mm

Tabel 2.3 Spesifikasi Transmisi Suzuki Satria fu (Sumber : Aldo, 2011)

Kopling	Manual plat majemuk tipe basah
Transmisi	6 Percepatan
Arah Perpindahan Gigi	1 Ke bawah, 5 Ke atas
Rantai Penggerak	DID 428 DS, 122 mata

Tabel 2.4 Spesifikasi Sistem Kelistrikan Suzuki Satria fu (Sumber : Aldo, 2011)

Sistem Pengapian :	CDI
Busi :	NGK CR8E / DENSO U24ESR-N
Accu :	12 V (2,5 Ah)/10 HR

2.3 Motor Bakar

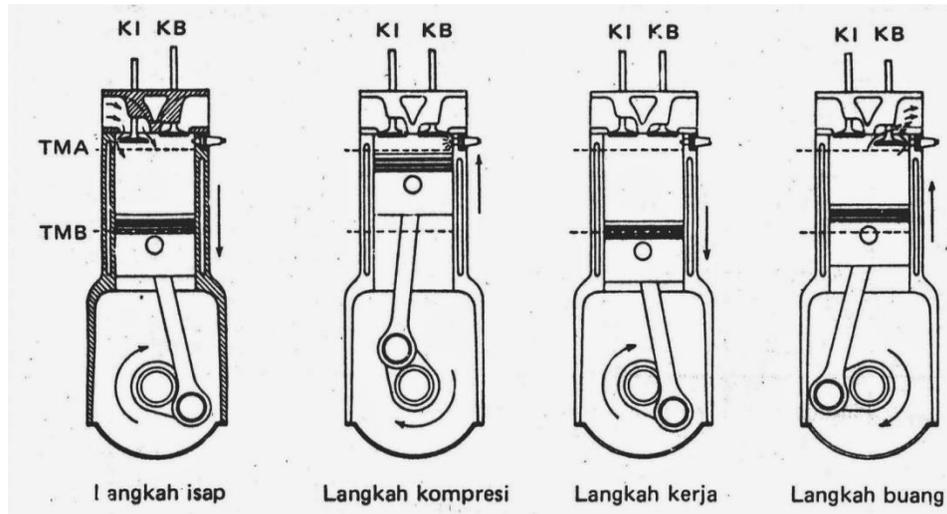
Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang banyak digunakan saat ini. Mesin kalor adalah mesin yang menggunakan energi panas untuk melakukan kerja mekanis atau mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanis. Energi atau tenaga panas tersebut diperoleh dari hasil pembakaran.

Dilihat dari cara memperoleh tenaga panas, mesin kalor dapat dibedakan menjadi dua yaitu mesin dengan pembakaran dalam dan mesin dengan pembakaran luar. Mesin pembakaran dalam adalah mesin yang melakukan proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin tersebut dan gas pembakaran yang terjadi berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam umumnya disebut motor bakar.

Mesin kalor yang menggunakan gas panas dari hasil pembakaran didalam mesin untuk melakukan kerja mekanis disebut juga motor bakar. Mesin pembakaran luar adalah mesin di mana proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar mesin dan energi panas dari gas pembakaran dipindahkan ke fluida mesin melalui beberapa dinding pemisah.

2.3.1 Prinsip Kerja Motor Bensin

Secara garis besar, dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari motor bensin yaitu bahan bakar yang berupa campuran bensin dan udara dibakar untuk memperoleh tenaga panas dan kemudian digunakan untuk melakukan kerja mekanis.



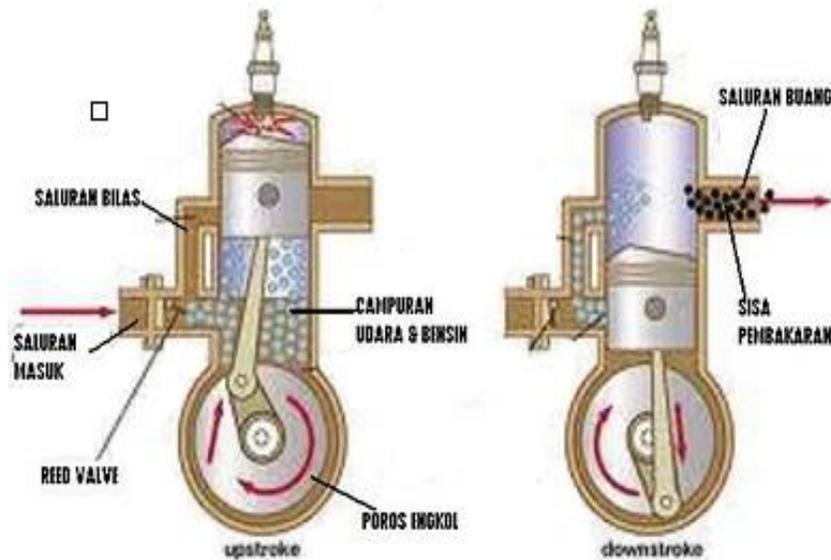
Gambar 2.2 Mekanisme Torak (Sumber : Deni rizal, 2012)

Campuran bensin dan udara dihisap ke dalam silinder kemudian dikompresikan oleh torak yang mengakibatkan timbulnya panas dan tekanan yang besar pada gas tersebut. Campuran antara bensin dan udara yang telah dikompresikan kemudian dibakar oleh percikan bunga api dari busi.

Hasil dari pembakaran tersebut adalah tekanan yang tinggi sehingga mendorong torak ke bawah. Daya yang berasal dari torak tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan diubah oleh poros engkol menjadi kerja mekanik. Sedangkan gas hasil pembakaran akan dibuang keluar silinder. Menurut prinsip kerjanya motor bensin dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor bensin dua langkah dan motor bensin empat langkah.

2.3.1.1. Motor Bensin Dua Langkah

Motor bensin yang setiap siklus kerjanya dalam dua langkah torak atau satu kali putaran poros disebut motor bensin dua langkah. Prinsip kerja motor bensin dua langkah adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Proses Kerja Motor Bensin Dua Langkah (Sumber : Adiyasa wildan, 2014)

Torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), saluran masuk terbuka dan campuran bensin dan udara masuk ke ruang engkol. Sementara di atas torak terjadi langkah kompresi sehingga menghasilkan suhu dan tekanan yang tinggi dan mengakibatkan torak terdorong ke titik mati bawah (TMB). Pada saat torak menuju titik mati bawah (TMB), torak menutup saluran masuk dan memperkecil ruang engkol. Hal ini menyebabkan campuran bensin dan udara bergerak ke atas torak melalui saluran bilas. Saat torak sampai titik mati bawah (TMB), saluran bilas dan saluran buang terbuka sehingga campuran bensin dan udara dari ruang engkol masuk ke ruang bakar.

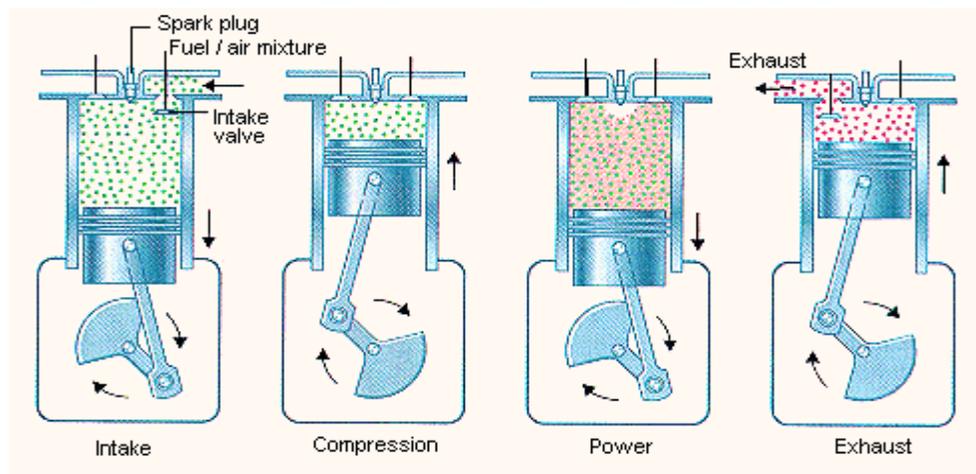
Sifat-sifat motor bensin 2 langkah :

- a) desain lebih sederhana dan biaya pembuatan murah.
- b) Pembuangan gas (*exhaust*) kurang sempurna.

- c) Dengan ukuran langkah torak dan kecepatan yang sama akan menghasilkan daya yang lebih besar.

2.3.1.2 Motor Bensin Empat Langkah

Motor Bensin yang setiap siklus kerjanya dalam empat langkah torak atau dua kali putaran poros disebut motor bensin empat langkah. Adapun rangkaian proses dan langkah-langkah torak adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 Proses Kerja Motor Bensin Empat Langkah (Sumber : Rahmad hidayat, 2013)

1) Proses Pengisian

Pengisian campuran bensin dan udara terjadi pada langkah pertama yaitu saat torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), dimana katup masuk terbuka dan katup buang tertutup.

2) Proses Kompresi

Terjadi pada langkah kedua yaitu saat torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Pada langkah ini kedua katup tertutup.

3) Proses Pembakaran

Beberapa saat menjelang akhir kompresi, sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA), busi memercikkan bunga api dan membakar campuran bensin dan udara. sehingga temperatur dan tekanan gas pembakaran dalam silinder naik.

4) Proses Kerja/Ekspansi

Proses ini terjadi pada langkah ketiga yaitu torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Tekanan yang tinggi hasil pembakaran digunakan untuk mendorong torak ke bawah dan memutar poros engkol untuk melakukan kerja mekanik.

5) Proses Pembuangan

Terjadi pada langkah keempat, torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Pada langkah ini katup buang terbuka dan katup masuk tertutup. Gas hasil pembakaran dibuang keluar silinder melalui katup buang.

Sifat-sifat motor bensin empat langkah yaitu :

- a) Dalam 4 langkah torak terdapat satu langkah ekspansi.
- b) Pemakaian bahan bakar lebih hemat dan kerugian dari gas-gas yang terbuang kecil.
- c) Desain lebih rumit dan biaya pembuatan lebih mahal.
- d) Dengan ukuran piston dan putaran yang sama menghasilkan daya yang lebih kecil.
- e) Pembuangan gas (*exhaust*) lebih sempurna.

2.3.2 Tipe Mesin Empat Langkah

Double Over Head Camshaft (DOHC), dan *Single Over Head Camshaft* (SOHC). Perbedaan DOHC dan SOHC adalah pada jumlah *camshaft* (noken as) pada *head cylinder*. *Camshaft* adalah batang silinder yang berfungsi untuk mengatur *timing* buka tutup katup (klep) masuk bahan bakar dan katup keluarnya gas buang. Mesin DOHC memiliki dua *camshaft* sedangkan SOHC hanya satu *camshaft*.

2.3.2.1 DOHC

Pada mesin DOHC (*Double Over Head Camshaft*) dalam satu piston memiliki dua *camshaft* pada *head cylinder*. Masing masing *camshaft* ini menggerakkan langsung dua katup, dimana dua katup mengatur masuknya bahan bakar dan dua katup lainnya mengatur keluarnya gas buang. Dengan jumlah klep dua kali lebih banyak (dua klep *in* dan dua klep *out*) maka *power* yang dihasilkan akan lebih besar, karena penyaluran bahan bakar ke mesin dan penyaluran gas buang ke knalpot lebih besar.



Gambar 2.5 DOHC (*Double Over Head Camshaft*) (Sumber : Teknik otomotif.com, 2015)

Kelebihan :

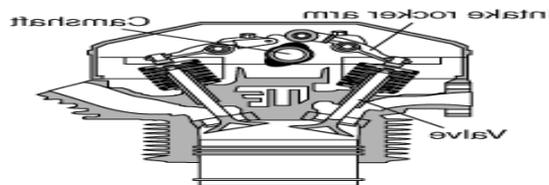
Kelebihan mesin DOHC (*Double Over Head Camshaft*) adalah dengan empat katup yang langsung digerakkan *camshaft* membuat asupan bahan bakar lebih banyak, sehingga *power* mesin lebih besar dan stabil di putaran mesin (rpm) yang tinggi (torsi bekerja lebih baik pada kecepatan tinggi/*top-end power*).

Kekurangan :

- 1) Relatif lebih boros bahan bakar.
- 2) Biaya produksi dan perawatan lebih tinggi.
- 3) Suku cadang dan proses reparasi lebih banyak.
- 4) Putaran bawah mesin lebih berat karena harus menggerakkan dua *camshaft*.

2.3.2.2 SOHC

Mesin SOHC (*Single Over Head Camshaft*) hanya memiliki satu *camshaft* (noken as) yang berada ditengah *head cylinder*, sehingga mesin hanya memiliki dua katup saja, satu katup untuk mengatur bahan bakar masuk dan satu lagi mengatur keluarnya gas buang. Pengaturan buka tutup katup digerakkan oleh *rocker arm* yang terhubung langsung dengan *camshaft*. Motor yang menggunakan mesin jenis ini banyak sekali terutama pada motor ber-cc kecil seperti *matic* dan *cub*.



Gambar 2.6 SOHC (*Single Over Head Camshaft*) (Sumber : Anang, 2015)

Kelebihan :

- 1) Mesin lebih ringan karena hanya menggunakan satu *Camshaft*.
- 2) Relatif lebih irit.
- 3) Biaya produksi dan perawatan murah.
- 4) Torsi bekerja lebih baik pada kecepatan rendah/*low-end torque*).

Kekurangan :

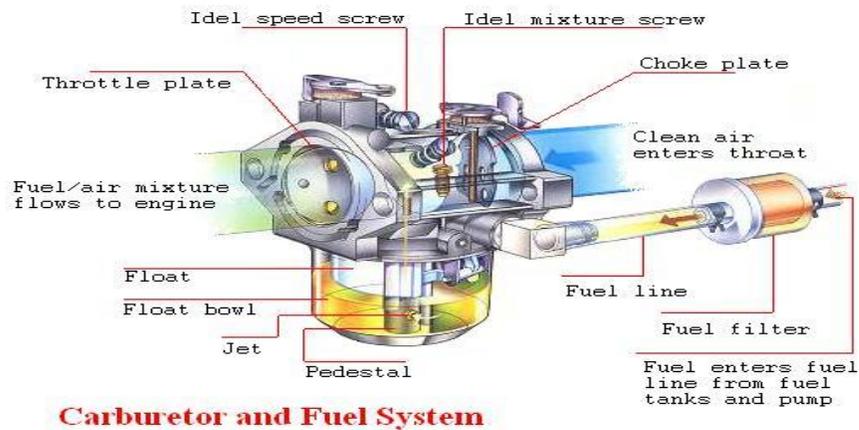
- 1) Mesin biasanya lebih berisik karena menggunakan dua buah *rocker arm*.
- 2) Angka Rpm (putaran mesin) rendah, sehingga *top speed* tidak terlalu tinggi.

2.3.3 Karburator

Karburator merupakan bagian dari mesin yang bertugas dalam sistem pengabutan (pemasukan bahan bakar ke dalam silinder). Untuk itu fungsi dari karburator antara lain :

- 1) Untuk mengatur udara dan bahan bakar ke dalam saluran isap.
- 2) Untuk mengatur perbandingan bahan bakar dan udara pada berbagai beban kecepatan motor.
- 3) Mencampur bahan bakar dan udara secara merata.

Proses pemasukan bahan bakar ke dalam silinder dinamakan karburasi. Sedangkan alat yang melakukannya dinamakan karburator.



Gambar 2.7 Komponen Karburator (Sumber : www.otomaster.wordpress.com)

Berikut ini akan dijelaskan bagian dari karburator beserta fungsinya.

- 1) Mangkok karburator (*float chamber*)
 Berfungsi sebagai penyimpan bahan bakar sementara sebelum digunakan.
- 2) Klep/jarum pelampung
 Berfungsi mengatur masuknya bahan bakar ke dalam mangkuk karburator.
- 3) Pelampung (*float*)
 Berfungsi mengatur bahan bakar agar tetap pada mangkuk karburator.
- 4) Skep/katup gas
 Berfungsi mengatur banyaknya gas yang masuk ke dalam silinder.
- 5) Pemancar jarum
 Berfungsi memancarkan bahan bakar saat motor di gas, besarnya diatur oleh terangkatnya jarum skep.
- 6) Jarum skep/jarum gas (*needle jet*)

Berfungsi mengatur besarnya semprotan bahan bakar dari main nozzle pada waktu motor di gas.

7) Pemancar besar (*main jet*)

Berfungsi untuk memancarkan bahan bakar ketika motor di gas penuh/tinggi.

8) Pemancar kecil /stationer (*slow jet*)

Berfungsi memancarkan bahan bakar waktu langsam/stationer.

9) Sekrup gas/baut gas (*throttle screw*)

Berfungsi menyetel posisi skep sebelum di gas.

10) Sekrup udara/ baut udara (*air screw*)

Berfungsi mengatur banyaknya udara yang akan dicampur dengan bahan bakar.

11) Katup choke (*choke valve*)

Berfungsi menutup udara luar yang akan masuk kedalam karburator sehingga gas menjadi kaya. Katup choke digunakan pada saat start engine.

Cara kerja dari karburator dimulai pada saat mesin dihidupkan. Saat mesin hidup, mesin menghisap udara luar masuk melalui karburator. Karena kecepatan udara yang memasuki spuyer kecil, maka tekanan udara dipermukaan saluran masuk rendah. Sehingga bahan bakar yang memancar melalui spuyer kecil. Campuran bahan bakar dan udara akan menghasilkan gas yang nantinya akan dibakar di dalam silinder.

2.3.4 Turbocharger

Turbocharger adalah sebuah kompresor sentrifugal yang mendapat daya dari turbin yang sumber tenaganya berasal dari asap gas buang kendaraan. Biasanya digunakan pada mesin pembakaran dalam untuk

meningkatkan keluaran tenaga dan efisiensi mesin dengan meningkatkan tekanan udara yang memasuki mesin. *Turbocharger* adalah jenis sistem induksi paksa (*force induction system*) yang mengkompres udara mengalir kedalam mesin. Udara dikompresikan bertujuan agar kerapatan udara menjadi renggang sehingga semakin banyak udara yang dapat dimasukkan kedalam silinder. Semakin banyak udara yang masuk, maka bahan bakar yang masuk pun akan bertambah banyak. Akibatnya, daya output yang dihasilkan akan semakin besar.

Turbocharger menggunakan gas buang hasil pembakaran dari silinder untuk menggerakkan (memutar) turbin yang dihubungkan langsung dengan poros ke kompresor (pompa udara). Sehingga apabila turbin berputar, maka kompresor akan berputar pula. Kecepatan putar turbin dapat mencapai 150.000 putaran per menit atau sekitar 30 kali lebih cepat dibandingkan dengan semua putaran mesin mobil. Temperatur turbin sangat tinggi karena terletak pada saluran pembuangan gas yang bertemperatur tinggi.



Gambar 2.8 Prinsip Kerja *Turbocharger* (Sumber : Automotive, 2011)

Turbocharger membuat mesin dapat membakar lebih banyak udara dan bahan bakaryang dimasukkan kedalam silinder. Tekanan yang diberikan

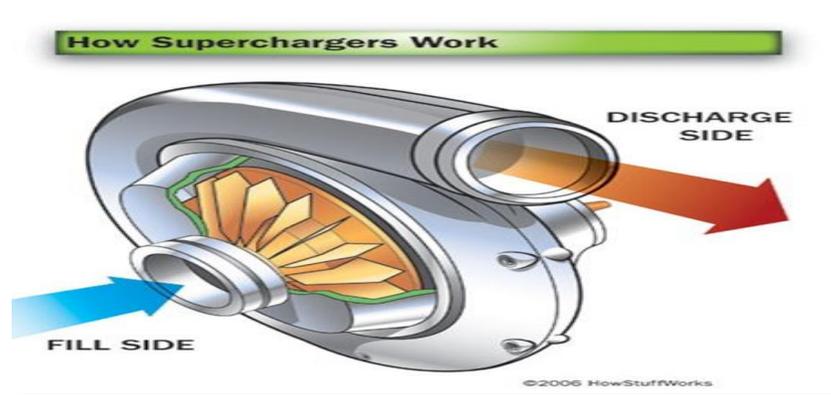
turbocharger mencapai 6-8 psi, karena tekanan normal atmosfer adalah 14,7 psi maka mesin mendapatkan tambahan udara sekitar 50%. Namun dikarenakan in-efisiensi, tambahan daya yang didapat berkisar antara 30% sampai 40%.

2.3.5 Supercharger

Supercharger merupakan suatu mekanisme untuk menyuplai udara dengan kecepatan yang melebihi kepadatan udara atmosfer ke dalam silinder pada langkah hisap. Udara yang lebih padat ini akan tinggal dalam silinder untuk ditekan pada langkah kompresi. Akibat udara yang densitasnya lebih tinggi maka lebih banyak bahan bakar yang dapat terbakar sehingga daya output mesin dapat meningkat. Tekanan udara dalam silinder sewaktu awal kompresi biasanya paling rendah 6 psi.

Tujuan utama penggunaan *supercharger* adalah untuk menambah daya akibat perubahan ketinggian tempat operasi (kepadatan udara rendah), ataupun untuk meningkatkan daya yang dapat diperoleh dari mesin tanpa *supercharger*, mengurangi biaya bahan bakar dan mengurangi berat atau ruang konstruksi pada suatu daya tertentu. Peningkatan daya *output* yang dapat diperoleh dari suatu mesin yang dilengkapi dengan *supercharger* tergantung pada beberapa faktor, tetapi yang terpenting adalah tekanan supercharging. Peningkatan daya *output* yang diperoleh dapat mencapai sekitar 40-100%, tetapi dengan desain khusus peningkatan yang lebih besar dapat dicapai. Mesin yang dilengkapi dengan *supercharger* juga dapat menghemat bahan bakar karena daya yang diperoleh dengan *supercharger* meningkat dengan cepat dibandingkan dengan *losses-losses* akibat gesekan yang biasanya relatif tetap dan juga disebabkan oleh kecepatan udara yang tinggi menyebabkan aliran turbulen dalam ruang bakar, sehingga proses

pencampuran udara dan bahan bakar dapat lebih cepat dan lebih baik mutunya.



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Supercharger (Sumber : automotive, 2013)

2.4 Performa Motor

Penilaian pada sebuah motor biasanya dilihat dari *horse power* dan torsi tertinggi yang dapat dicapai. Kecepatan maksimum dan torsi maksimum biasanya telah ditetapkan dari standar pabrikan. Oleh Karena itu selama dua parameter tersebut masih banyak bergantung pada *displacement volume* dari silinder pembakaran, sehingga untuk melakukan *comparative analyze* terhadap mesin dengan perubahan *input*, maka pengujian dilakukan pada kondisi normal kendaraan pada *stand* tanpa pengujian dinamik pada permukaan jalan yang akan memiliki banyak perbedaan.

Torsi (*torque*) adalah kemampuan mesin untuk menggerakkan atau memindahkan mobil/motor dari kondisi diam hingga berjalan. Torsi berkaitan dengan akselerasi. Rumus torsi adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{F.L}{100} [\text{N.m}] \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : $F = \text{Balance reading added weight (N)}$

$L = \text{Torque arm length (mm)}$

Daya (*power*) adalah kemampuan untuk seberapa cepat kendaraan itu mencapai suatu kecepatan tertentu. Rumus untuk *power* adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{1000} \times \frac{2\pi n}{60} \times T \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : $n = \text{Revolution per minute (Rpm)}$

Dari kedua persamaan diatas didapat :

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot F \cdot L}{6 \cdot 10^7} [kW] \dots\dots\dots (2.3)$$

Daya roda belakang (*rear wheel power*) atau disebut juga *true rear wheel horse power* merupakan salah satu faktor dalam pengukuran daya kendaraan yang menghitung besarnya daya yang sebenarnya terkirim sampai ke roda belakang. Daya ini merupakan *output* mesin yang sudah dipengaruhi oleh sistem pemindah daya serta sistem penggerak belakang dan roda kendaraan, sehingga daya roda belakang lebih mendekati daya yang sebenarnya pada *actual* pemakaian kendaraan.

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) adalah laju bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dalam rentang waktu tertentu, konsumsi bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FC = \frac{V_f \times 3600}{t \times 1000} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : $FC = \text{Konsumsi bahan bakar (liter/jam)}$

Vf = Konsumsi bahan bakar selama t detik (ml)

T = Interval waktu pengukuran (detik)

2.4.1 Campuran Udara dan Bahan Bakar (*Air-Fuel Mixture*)

Campuran udara dan bahan bakar merupakan factor yang sangat berpengaruh pada performa motor bakar, selain *spark timing* dan gas buang (*exhaust gases*) yang diukur dari banyaknya NOx yang keluar serta tekanan inlet (*inlet pressure*) yang akan berpengaruh pada *efficiency volumetric*. Kualitas campuran udara dan bahan bakar mempunyai peranan yang besar terhadap kenaikan ataupun penurunan bahan bakar, sehingga variabel ini menjadi sangat penting untuk terus dikaji dan dikembangkan.

Bahan bakar yang paling banyak digunakan adalah senyawa kimia yang terdiri dari *hydrogen*, *carbon* dan *oxygen*, sehingga banyak disebut bahan bakar hidrokarbon (*hydrocarbon fuel*). Bahan bakar hidrokarbon dapat dirumuskan sebagai $C_nH_mO_y$. Untuk melakukan pembakaran, bahan bakar hidrokarbon hanya akan tercapai jika dicampur dengan sejumlah udara dengan takaran yang sesuai. Sehingga dalam karburator sepeda motor terdapat *venturi* dan *jet* yang berfungsi untuk mengatur banyaknya bahan bakar yang keluar berdasarkan tekanan vakum yang dihasilkan dari hisapan piston pada ruang bakar.

Pada kondisi normal, udara merupakan campuran dari beberapa unsur kimia seperti *Nitrogen*, *Oxygen*, *Argon* dan *Carbondioxide* serta unsur-unsur yang lain. Tabel berikut menunjukkan komposisi relatif dari unsur utama pada udara.

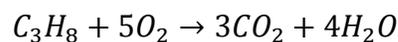
Tabel 2.5 Unsur kimia utama dalam udara kering

Gas	Ppm by volume	Molecular weight	Mole fraction	Molar ratio
O_2	209.500	31.998	0.2095	1
N_2	780.900	28.012	0.7905	3.773
Ar	9.300	39.948		
CO_2	300	44.009		
Air	1000.000	28.962	1.0000	4.773

(Heywood, Jhon B : *Internal Combustion Engine Fundamental*)

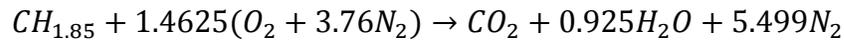
Pada table 2.5 unsur kimia didalam udara paling banyak adalah nitrogen dengan nilai Ppm (*part per million*) dalam satu volume mencapai 780,900 sedangkan *oxygen* hanya 209,500. Namun berdasarkan berat *molecular* unsur kimia terberat dalam udara adalah CO_2 dengan nilai 44,009 dan teringan adalah nitrogen dengan nilai 28,012.

Jika terdapat unsur oksigen yang mencukupi dalam udara maka bahan bakar hidrokarbon dapat teroksidasi secara sempurna. Unsur karbon dari bahan bakar akan bereaksi dengan oksigen menjadi CO_2 sedangkan unsur hidrogen akan menjadi air (H_2O). Secara umum reaksi kimia antara hidrokarbon dengan oksigen adalah :



Namun di udara juga terdapat unsur nitrogen sebagai unsur dengan jumlah molekul terbanyak, akan tetapi pada suhu normal nitrogen tidak menimbulkan efek yang signifikan terhadap reaksi pembakaran sehingga kita akan tetap menemukan N_2 sebagai hasil reaksi *hydrocarbon fuel* terhadap udara.

Kita dapat mempresentasikan bensin (*gasoline*) sebagai hidrokarbon fuel dengan rumus $CH_{1.85}$ sedangkan kita tulis unsur utama yaitu N_2 dan O_2 sehingga *stoichiometry* pembakarannya adalah sebagai berikut:



Selanjutnya untuk menghitung perbandingan udara dan bahan bakar secara *stoichiometry*, kita dapat mengalikan jumlah mol dalam reaksi diatas dengan *atomic molecular weight* dari tiap unsur yang kita dapatkan dari *periodic table of element*:

19	←	Atomic number
K	←	Atomic symbol
39.0983	←	Atomic weight

$$\text{Udara (air)} : 1.4625 (1 + 3.76) * 28.97 = 201.67$$

$$\text{Bensin (fuel)} : 1 * 13.85 = 13.85$$

Sehingga perbandingan udara dan bahan bakar yang kita dapatkan adalah $A/F = 201,67 : 13,85 = 1 : 14,56$. Perbandingan ini disebut dengan perbandingan udara dan bahan bakar ideal stoikiometri (*ideal stoichiometric comparation*).

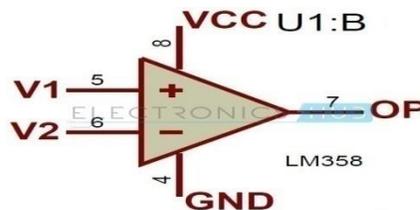
Pada kenyataannya perbandingan ideal sangat jarang tercapai, pada saat mulai pengoperasian mesin biasanya campuran akan lebih besar atau bahan bakar lebih banyak, hal ini terjadi agar mesin mudah untuk di starter sedangkan saat Rpm sudah mulai stabil maka campuran akan lebih sedikit atau udara lebih banyak.

Perbandingan ini juga berpengaruh pada tenaga mesin yang dihasilkan oleh kendaraan, untuk menghasilkan tenaga mesin yang tinggi maka

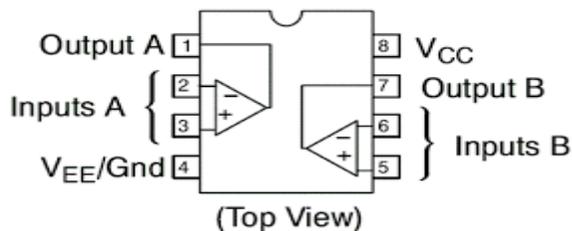
campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih besar dari kondisi ideal, sebaliknya untuk tenaga mesin yang rendah maka campuran udara dan bahan bakar dapat lebih kecil dari ideal.

2.5 Rangkaian Penguat IC LM358

Op-amp IC LM358 mempunyai tiga terminal yaitu dua terminal masukan dan satu terminal keluaran. Pada gambar 2.9 menunjukkan simbol sebuah penguat Op-Amp. Terminal 5 dan terminal 6 merupakan terminal masukan (*input*) dan terminal 7 merupakan terminal keluaran (*output*). Sebagian besar penguat Op-amp menggunakan catu daya DC dengan dua polaritas untuk dapat beroperasi, terminal empat disambungkan ke tegangan negatif (-V) dan terminal 8 disambungkan ke VCC (+V).



Gambar 2.10 Diagram Op-amp LM358 (Sumber : Electronics hub, 2015)



Gambar 2.11 Konfigurasi pin LM358 (Sumber : Pratyush, 2011)

Adapun spesifikasi dari IC LM358 adalah sebagai berikut.

- 1) Frekuensi internal yang dapat diubah untuk penguatan.
- 2) Penguatan tegangan yang besar (100 dB).
- 3) Memiliki besar *range* tegangan antara 3 V sampai 32 V.
- 4) Arus bias *input* rendah.
- 5) Tegangan *offset input* rendah (2 mV).

2.6 Arduino Uno R3

Menurut Syahwil (2013), Arduino merupakan kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler jenis AVR dari Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca *input*, memproses *input* tersebut dan kemudian menghasilkan *output* sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai “otak” yang mengendalikan *input*, proses dan *output* sebuah rangkaian elektronik. Secara umum Arduino terdiri dari dua bagian, yaitu :

- 1) *Hardware* berupa papan *input/output (I/O)* yang *open source*.
- 2) *Software* Arduino yang juga *open source*, meliputi *software* Arduino IDE untuk menulis program dan *driver* untuk koneksi dengan komputer.



Gambar 2.12 Arduino Uno (Sumber : www.Arduino.cc)

2.6.1 Spesifikasi Arduino Uno

Arduino Uno memiliki beberapa spesifikasi, untuk spesifikasi Arduino Uno terdapat pada Tabel 2.6.

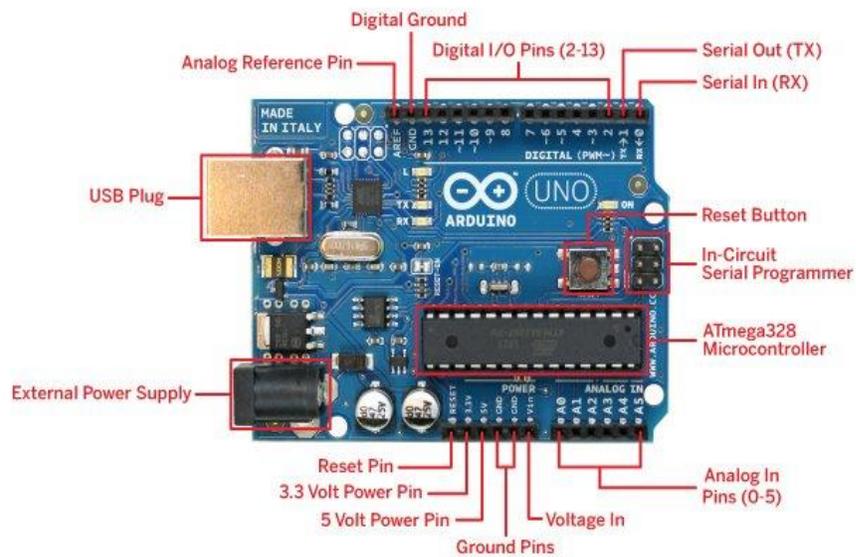
Berikut ini adalah data spesifikasi Arduino Uno.

Tabel 2.6 Spesifikasi Arduino Uno (Sumber : www.Arduino.cc)

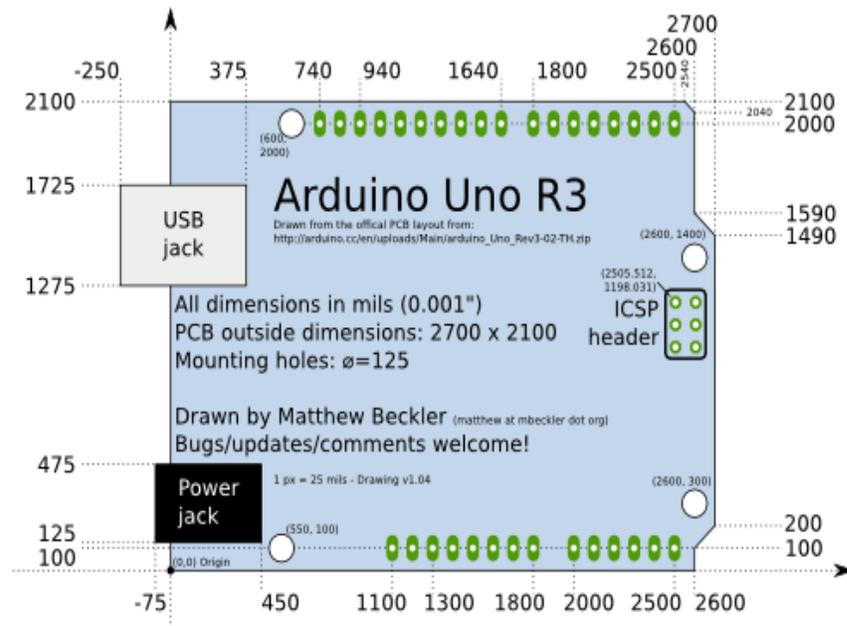
Mikrokontroler	Atmel ATmega328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan <i>input</i> (disarankan)	7-12 V
Tegangan <i>output</i>	6-20 V
<i>Pin</i> Digital I/O	14 (6 mendukung <i>output</i> PWM)
<i>Pin</i> Analog <i>input</i>	6

Tabel 2.6 Spesifikasi Arduino Uno (Sumber : www.Arduino.cc) (lanjutan)

Arus DC per <i>pin</i> I/O	40 mA
Arus DC untuk 3.3 V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328) yang 0,5 KB digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 Mhz
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g



Gambar 2.13 Board Arduino Uno (Sumber : www.Arduino.cc)



Gambar 2.14 Dimensi Arduino Uno (Sumber : www.Arduino.cc)

2.6.2 Power

Arduino Uno dapat di-*supply* langsung ke USB atau *power supply* tambahan yang pilihan *power* secara otomatis berfungsi tanpa saklar. Kabel *external* (non-USB) seperti menggunakan adaptor AC ke DC atau baterai dengan konektor plug ukuran 2,1mm polaritas positif di tengah ke *jack power* di *board*. Jika menggunakan baterai dapat dihubungkan pada pin GND dan Vin di bagian power konektor. Papan Arduino ini dapat di-*supply* tegangan antara 6-20 volt, jika catu daya di bawah tangan standart 5 volt *board* akan tidak stabil, jika dipaksakan ke tegangan regulator 12 volt mungkin *board* Arduino cepat panas (*overheat*) dan merusak *board*. Tegangan yang direkomendasikan untuk Arduino adalah 7-12 volt.

2.6.3 Memori

ATmega328 memiliki memori 32 KB (dengan 0.5 KB digunakan sebagai *bootloader*). Memori 2 KB SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat baca tulis dengan library EEPROM).

2.6.4 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin pada Arduino uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output* dengan menggunakan perintah fungsi `pinMode`, `digitalWrite`, dan `digitalRead` yang menggunakan tegangan operasi 5 volt. Tiap pin dapat menerima arus maksimal hingga 40 mA dan resistor *internal pull-up* antara 20-50 kOhm, beberapa pin memiliki fungsi yang khusus antara lain:

- a) Serial : 0 (RX) dan 1 (TX). Sebagai penerima (RX) dan pemancar (TX) TTL serial data. Pin ini terkoneksi untuk pin korespondensi chip ATmega8U2 USB-to-TTL Serial.
- b) Penyela *external* : 2 dan 3. Pin ini berfungsi sebagai konfigurasi *trigger* saat interupsi *value low*, naik, dan tepi, atau nilai *value* yang berubah-ubah.
- c) PWM : 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Melayani output 8-bit PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
- d) SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin yang support komunikasi SPI menggunakan SPI library.
- e) LED : 13. Terdapat LED indikator bawaan (*built-in*) dihubungkan ke digital pin 13, ketika nilai pin tinggi LED akan ON, saat nilai pin rendah, maka LED akan OFF.

- f) Arduino Uno memiliki 6 masukan analog tertulis di label A0 hingga A5, masing-masingnya memberikan 10 bit resolusi (1024).

2.6.5 Komunikasi

Arduino Uno memiliki fasilitas nomer untuk komunikasi dengan komputer atau *hardware* Arduino lainnya, atau dengan *mikrokontroler*. Pada ATmega328 menterjemahkan serial komunikasi UART TTL (5V) pada pin 0 (RX) dan 1 (TX). Pada ATmega16U2 serial komunikasinya dengan USB dan port virtual pada *software* di komputer. Perangkat lunak (*firmware*) 16U2 menggunakan *driver* standar USB COM dan tidak membutuhkan *driver* luar lainnya. Bagaimanapun pada OS Windows *file* ekstensi, *inf* sangat diperlukan. *Software* Arduino bawaan telah menyertakan serial monitor yang sangat mudah untuk membaca dan mengirim data dari dan ke Arduino. LED indikator TX dan RX akan kedip ketika data telah terkirim *via* koneksi USB-to-serial dengan USB pada komputer (tetapi tidak pada serial *com* di pin 0 dan pin 1).

2.6.6 Programming

Arduino UNO dapat diprogram dengan *software* Arduino. Pilih Arduino Uno dari *Tools Board* menu (akan terlacak mikrokontroler pada papan). ATmega328 pada Arduino Uno menjadi *preburned* dengan *bootloader* untuk *upload* kode baru ke perangkat ini tanpa menggunakan program *hardware external*. Komunikasi ini menggunakan STK500 protokol asli. Kita juga dapat mem-*bypass bootloader* dan program mikrokontroler sampai habis perangkat ICSP (didalam kontak program serial) menggunakan Arduino ISP atau semisalnya.

2.7 Pulser

Pulser bekerja sebagai sensor posisi engkol (*crank sensor*) dan sebagai sensor putaran mesin (*speed sensor*). Fungsinya sebagai *crank sensor* akan memberikan informasi ke CDI berupa sinyal saat pengapian sesuai dengan posisi sudut engkol pada setiap putaran. Perannya sebagai *speed sensor* berupa besar kecilnya tegangan induksi yang dihasilkan yang merupakan informasi mengenai putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi tegangan induksi yang dihasilkan yang kemudian CDI akan mengajukan saat pengapian.

2.7.1 Pembentukan Tegangan pada Pulser Coil

Pembentukan tegangan pada pulser melalui sebuah peristiwa induksi elektromagnetik. Tegangan yang dihasilkan pulser merupakan tegangan spesifik yang besarnya disesuaikan dengan kapasitas buka *gate* SCR dalam CDI. Tegangan kejut yang dihasilkan dari proses induksi ini disebut dengan tegangan penyulut atau pulsa penyulut (*trigger*). Secara umum tegangan yang dihasilkan pulser adalah sangat kecil atau tidak lebih dari 1 volt, sehingga listrik yang dihasilkan tidak kasat mata dengan cara memercikkan kabel pulser ke massa. Pengecekan kondisi pulser akurat jika dilakukan dengan alat ukur. Tegangan output sebesar 0,3 – 0,7 volt bolak balik (arus AC).

Pulser atau disebut juga *pick up coil* memiliki dua jenis, jenis pertama adalah lilitan *pick up* dengan inti magnet yang biasa digunakan pada mesin 4-Tak. Jenis yang kedua adalah jenis lilitan dengan inti besi, digunakan pada mesin 2-Tak. Jenis ini dipasang pada sisi dalam magnet dan menghasilkan tegangan *output* yang lebih besar. Pulser model inti magnet biasa ditempatkan disisi luar magnet dengan sensor *pick up* pada sisi luar magnet yang berupa

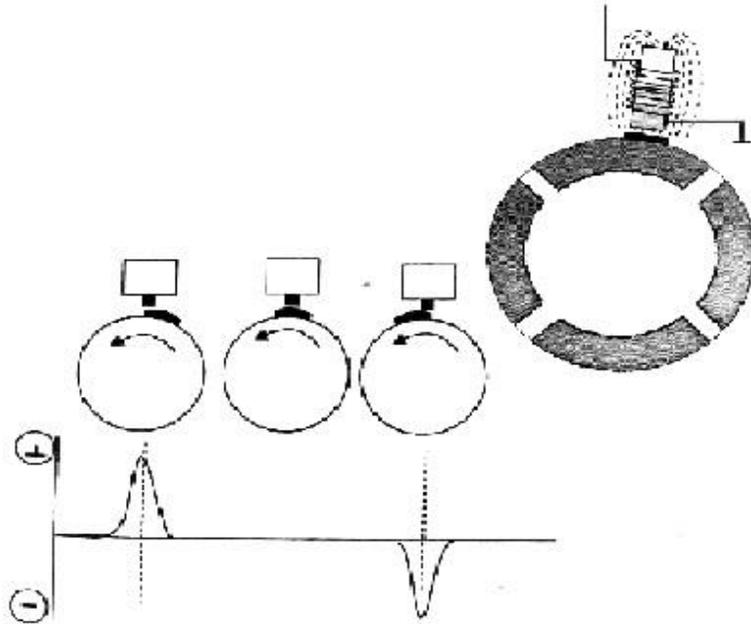
tonjolan lempeng konduktor yang berfungsi untuk memotong garis medan magnet pada pulser untuk menghasilkan tegangan induksi sesaat.

Besar kecilnya tegangan yang dikeluarkan pulser mempengaruhi maju mundurnya saat pengapian. SCR dalam CDI memiliki ambang batas buka spesifik. SCR akan terbuka melalui *gate* jika tegangan yang dihasilkan pulser melebihi ambang buka *gate* spesifiknya sesuai dengan model CDI yang digunakan.

2.7.2 Penempatan Pulser/Pick Up Coil

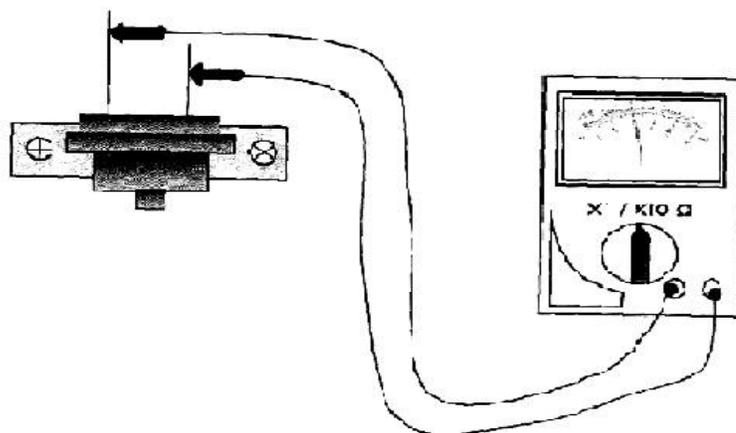
Sesuai dengan kegunaannya sebagai sensor pengapian, maka sebenarnya pulser hanyalah bekerja pasif. Selama *pick up* pulser pada magnet tidak berputar melewati pulser, maka pulser tidak akan pernah menghasilkan tegangan induksi. Pada mesin 2-Tak dengan pulser di sisi luar *flywheel* merupakan tempat yang sangat ideal. Disamping tidak ada api yang terbang, lingkaran *flywheel* yang relatif besar membuat saat pengapian lebih terkendali dengan baik. Pada mesin dengan pulser inti besi dan ditempatkan didalam magnet, jumlah letikan dalam satu putaran rotor adalah sama dengan jumlah keping magnet yang dipasangkan.

Pembentukan tegangan induksi pada pulser Sebuah ilustrasi pemotongan garis gaya magnet oleh tonjolan (*pick up*) sehingga menghasilkan tegangan listrik pada pulser.



Gambar 2.15 sinyal positif dan sinyal negatif (Sumber : Idjal_R19speed, 2016)

2.7.3 Pemeriksaan Pulser/Pick Up Coil



Gambar 2.16 Pengukuran Pulser (Sumber : Idjal_R19speed, 2016)

Sama halnya dengan pengukuran resistansi *source coil*, pengukuran resistansi pulser diperlukan untuk mengetahui apakah pulser tersebut dalam keadaan baik atau buruk. Dikatakan baik jika nilai tahanannya sesuai spesifikasi dan dikatakan jelek jika hasil pemeriksaan diluar spesifikasi. Prosedur pengukurannya sebagai berikut :

- 1) Pilih *selector* avo meter (ohm meter) pada posisi X1 atau X10.
- 2) Lakukan kalibrasi multimeter atau ohmmeter sebelum digunakan agar hasil pengukuran lebih akurat.
- 3) Hubungkan *test lead* avo meter pada ujung ujung pulser. Ada sebagian jenis pulser menggunakan satu kabel. Artinya terminal negatifnya langsung disambungkan ke body pulser (dudukan baud pulser).

2.8 ESC (*Elektronik Speed Control*)

Sebuah Modul Rangkaian Elektronik yang fungsinya mengatur putaran pada motor sesuai *ampere* yang dibutuhkan oleh motor adalah ESC. ESC (*elektronik speed control*) bekerja dan hanya bisa digunakan untuk Motor Jenis AC (3 fasa *connector*) sedang untuk Dinamo DC dapat bekerja tanpa menggunakan ESC (*elektronik speed control*) dan bisa juga dengan ESC 2 fasa dan cukup 2 kutub catu daya + dan - (2 fasa *connector*).

Kuat arus (*Ampere*) yang diberikan motor untuk mengontrol *Speed Ampere* ESC (*elektronik speed control*) harus lebih besar dari pada motor atau minimal $A_{ESC} = A$. Motor ESC (*elektronik speed control*) minimal harus sama atau lebih besar amperenya dari motor. Jika ESC (*elektronik speed control*) amperenya lebih kecil dari motornya, daya kerja ESC (*elektronik speed control*) akan semakin lebih besar untuk men-*supply* arus untuk

diberikan ke motor, dan bisa mengakibatkan ESC (*elektronik speed control*) cepat panas dan terbakar, bahkan motor tidak bergerak bebas atau dalam keadaan memutar beban.



Gambar 2.17 Esc 30A (Sumber : lordag den, 2015)

2.9 Brushless DC Motor (BLDC)

BLDC motor atau dapat disebut juga BLAC motor merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa. Perbedaan nama ini karena BLDC memiliki BEMF berbentuk *trapezoid* sedangkan BLAC memiliki BEMF berbentuk sinusoidal. Namun keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode *six-step* maupun PWM sinusoidal. Dibandingkan dengan motor DC, BLDC memiliki biaya perawatan lebih rendah dan kecepatan lebih tinggi karena tidak menggunakan *brush*. Dibandingkan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena rotor dan torsi awal yang lebih tinggi karena rotor terbuat dari magnet permanen. Meskipun memiliki kelebihan dibanding dengan motor DC dan induksi, BLDC lebih rumit untuk pengendalian kecepatan dan torsi konsta karena tidak adanya

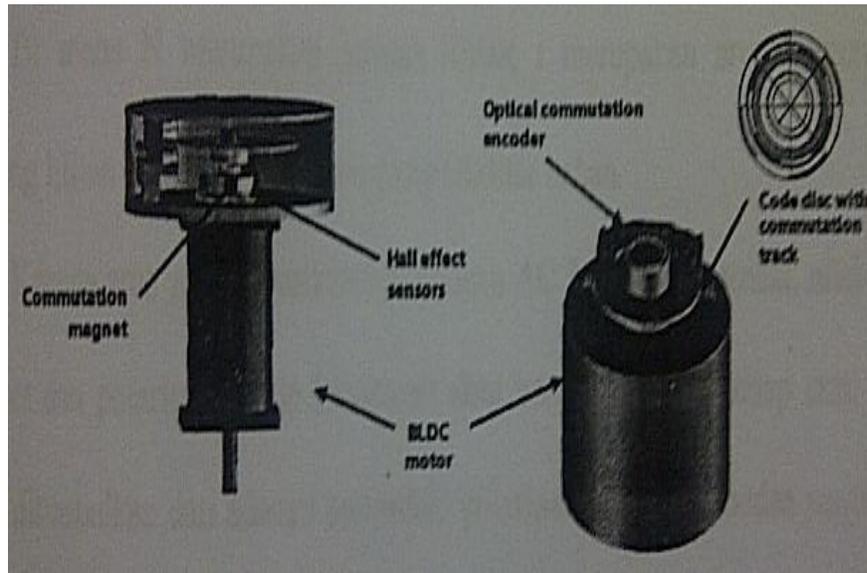
brush yang menunjang proses komutasi dan harga BLDC jauh lebih mahal dibandingkan motor DC.

Motor BLDC terdiri dari dua bagian yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang bergerak yang terbuat dari permanent magnet dan stator adalah bagian yang tidak bergerak yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC bertujuan untuk menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor.



Gambar 2.18 Penampang Motor BLDC (Sumber : Dharmawan, 2009)

Karena tidak adanya *brush* pada motor BLDC, untuk menentukan *timing* komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, membutuhkan 3 buah sensor *hall* dan atau *encoder*. Pada sensor *hall*, *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah sensor *hall* untuk mendapatkan 6 kombinasi *timing* yang berbeda, sedangkan pada *encoder*, *timing* komutasi ditentukan dengan cara menghitung jumlah pola yang ada pada *encoder*.



Gambar 2.19 Sensor *Hall* dan *Encoder* pada Motor BLDC (Sumber : Azzumar, 2012)

Pada umumnya *encoder* lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena *encoder* cenderung mampu menentukan *timing* komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor *hall*. Hal ini terjadi karena pada *encoder*, kode komutasi telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak pole dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan *timing* komutasi. Namun karena kode komutasi *encoder* untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah pole yang berbeda. Hal ini berbeda dengan sensor *hall*. Apabila terjadi perubahan pole rotor pada motor, posisi sensor *hall* dapat diubah dengan mudah. Hanya saja kelemahan dari sensor *hall* adalah apabila posisi sensor *hall* tidak tepat akan terjadi kesalahan dalam penentuan *timing* komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi *timing* komutasi yang berbeda.

2.9.1 Cara Kerja BLDC

Motor BLDC dapat beroperasi ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet (B) :

$$B = \frac{\mu Ni}{2l} \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana : N merupakan jumlah lilitan.

i merupakan arus.

l merupakan panjang lilitan.

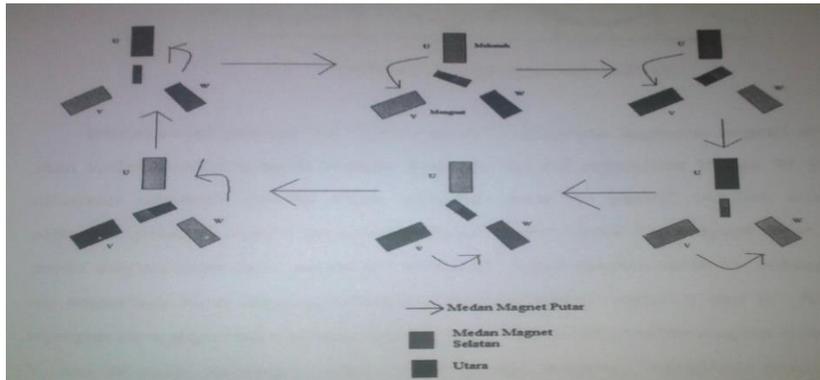
μ merupakan permeabilitas bahan.

Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan.

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (2.6)$$

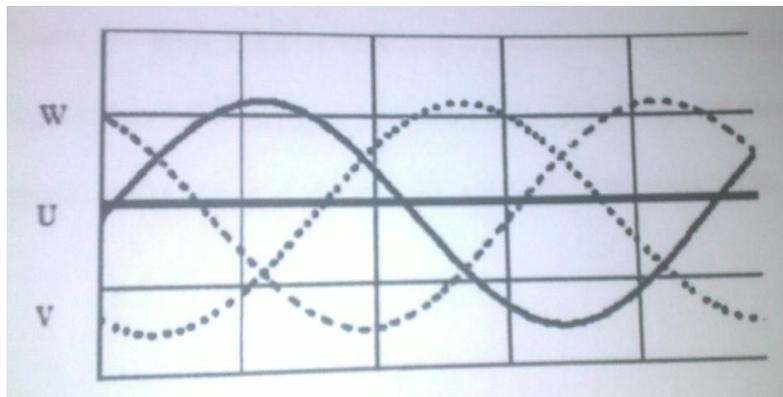
Di mana f : frekuensi arus input

p : merupakan jumlah pole rotor.



Gambar 2.20 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor (Sumber : Azzumar, 2012)

Berdasarkan gambar 2.20, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas yang berubah-ubah.



Gambar 2.21 Tegangan Stator BLDC (Sumber : Azzumar, 2012)

Berdasarkan gambar 2.21, ketika stator U diberikan tegangan negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U,

sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC sinusoidal, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah-ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDCM dapat berputar.

2.9.2 Pengendalian Motor BLDC

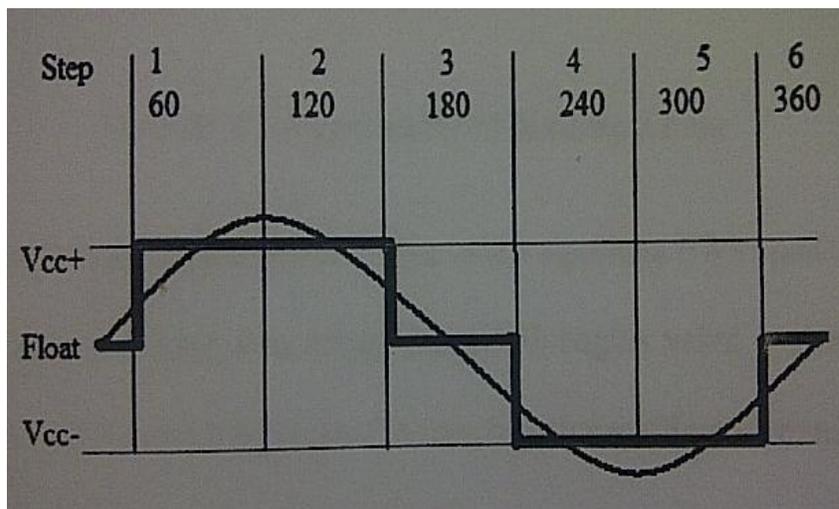
Terdapat dua metode dalam pengendalian BLDC yakni metode konvensional atau metode *six step* dan metode sinusoidal.

2.9.2.1 Metode Six Step

Metode *six step* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam pengendalian BLDC komersial. Hal ini terjadi karena metode ini sederhana sehingga mudah diimplementasikan. Hanya saja metode ini

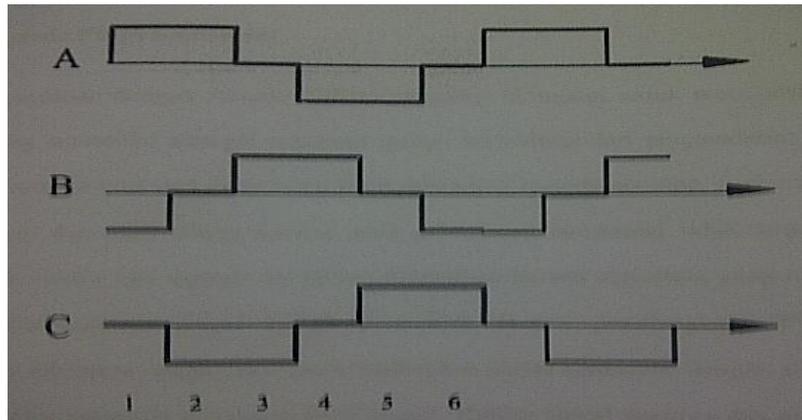
memiliki kelemahan yakni memiliki arus rms yang tinggi, rugi-rugi daya yang tinggi, dan bising. Hal ini terjadi karena PWM yang diinginkan dalam metode ini merupakan PWM *square* dengan frekuensi tertentu sehingga menciptakan gelombang AC yang berbentuk *trapezoid* atau *square*. Akibat dari gelombang yang terbentuk *square* atau *trapezoid* timbul gelombang harmonik. Gelombang harmonik inilah yang menyebabkan motor “bising” saat berputar.

Metode ini disebut metode *six step* karena agar mampu menciptakan gelombang *trapezoid* atau *square* yang menyerupai gelombang sinusoidal, digunakan PWM *square* yang terdiri dari 6 bagian yakni 2 bagian positif, 2 negatif, dan 2 bagian *floating*. Masing-masing bagian besarnya 60 derajat gelombang sinusoidal. Kondisi *floating* pada algoritma ini adalah kondisi ketika gelombang sinusoidal berpotong pada titik 0.



Gambar 2.22 PWM Six Step (Sumber : Azzumar, 2012)

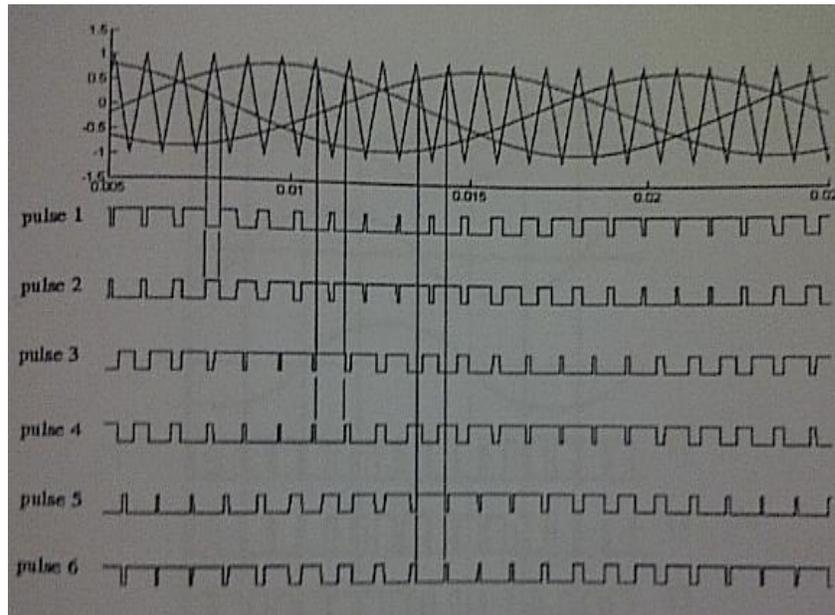
Untuk membentuk gelombang trapezoid atau gelombang square 3 fasa, digunakan tiga buah algoritma *six step* yang masing-masing berbeda satu step (60 derajat) antara satu algoritma dengan algoritma lainnya.



Gambar 2.23 PWM *Six Step* tiga Fasa (Sumber : Azzumar, 2012)

2.9.2.2 Metode PWM Sinusoidal

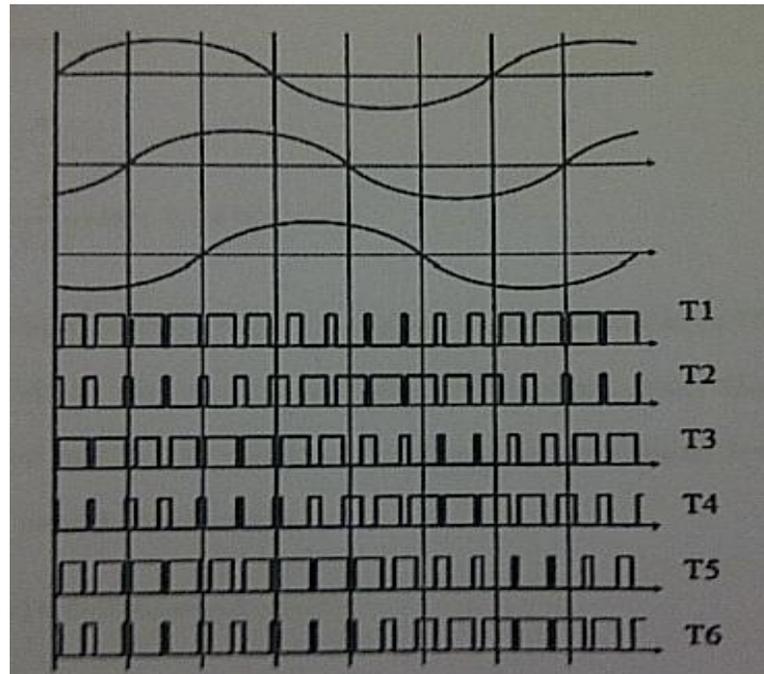
Pengendalian dengan metode PWM sinusoidal bertujuan untuk menciptakan gelombang sinusoidal sebagai masukan motor. Kelebihan dari pengendalian ini adalah memiliki arus rms yang lebih kecil dibandingkan metode *six step*, rugi-rugi yang kecil, dan tidak bising karena pada gelombang sinusoidal tidak terdapat harmonic, hanya saja metode ini jarang digunakan karena algoritma yang rumit dalam pembangkitan sinyal PWM sinusoidal. Proses pembangkitan PWM sinusoidal dilakukan dengan cara membandingkan sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga yang memiliki frekuensi yang lebih tinggi. Ketika sinyal segitiga dan sinyal sinusoidal ini berpotongan pada dua titik, sebuah sinyal PWM akan terbentuk. Berikut gambar pembentuk sinyal PWM sinusoidal.



Gambar 2.24 Pembentukan Sinyal PWM Sinusoidal (Sumber : Azzumar, 2012)

Besar resolusi PWM yang dihasilkan tergantung dari frekuensi sinyal segitiga yang digunakan. Semakin besar frekuensi sinyal segitiga yang digunakan, resolusi PWM yang dihasilkan semakin baik, dan semakin tinggi resolusi PWM yang digunakan semakin sempurna gelombang sinusoidal yang terbentuk.

Dalam implementasinya, agar dapat mengendalikan keenam transistor pada driver, sinyal PWM sinusoidal yang didapatkan dibagi menjadi 6 bagian atau step. Masing-masing bagian atau step besarnya 60 derajat. Hal ini terjadi karena perbedaan tiap fasa dari sinyal 3 fasa adalah 120 derajat dan tiap 60 derajat terdapat gelombang sinusoidal yang berpotongan dengan nilai 0. Oleh karena itu sinyal PWM tersebut harus dibagi menjadi 6 bagian untuk menunjang proses komutasi pada BLDC. Berikut implementasi dari PWM sinusoidal:



Gambar 2.25 Implementasi PWM Sinusoidal (Sumber : Azzumar, 2012)

2.10 Accu

Accumulator atau aki adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki dapat mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Aki untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 volt, sedangkan untuk motor ada tiga jenis yaitu, dengan tegangan 12 volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula aki yang khusus untuk menyalakan tape atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3 volt, 6 volt, 9 volt, dan 12 volt. Aki jenis ini dapat dimuati kembali (*recharge*), apabila muatannya telah berkurang atau habis.

Aki sendiri terdiri dari 2 jenis:

- 1) Jenis aki basah atau konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dalam bentuk cair. Elektrolit baterai merupakan campuran antara air suling (H_2O) dengan asam sulfat (SO_4). Komposisi campuran adalah 64% H_2O dan 36% SO_4 . Dari campuran tersebut diperoleh elektrolit baterai dengan berat jenis 1,270.

Aki basah sendiri di bagi menjadi dua:

a) *Low Maintenance*

Jenis ini bentuknya mirip dengan aki basah biasa dan tetap punya lubang pengisian di atasnya. Perbedaannya, aki ini sudah diisi air dari pabrik. Untuk pengisian air aki (bukan dengan *accu zuur*) bisa dilakukan dalam 6 bulan hingga 1 tahun.

b) *Maintenance Free*

Aki jenis ini tidak mempunyai lubang pengisian air, walaupun berisi cairan. Mirip jenis *low maintenance*, aki ini juga sudah diisi air dari pabrik. Bahan perak yang dipakai buat elektroda membuat airnya tidak menguap. Kalaupun menguap akan dikembalikan lagi ke dalam. Keuntungannya adalah aki jenis ini tidak butuh perawatan



Gambar 2.26 Aki Basah (Sumber : Otomotifnet.com, 2011)

- 2) Aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel/selai. Dalam posisi peletakkannya, aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah.



Gambar 2.27 Aki Kering (Sumber : Otomotifnet.com, 2011)

2.11 Dinamometer Dynodinamics

Alat dinamometer yang digunakan tipe *Lowboy chassis AWD (All Wheel Drive)*, dengan kemampuan di masing-masing roller sebesar 600 hp (450 kW). Alat dinamometer ini dapat digunakan untuk kendaraan roda dua maupun roda dua dan bersifat *real time*. Data yang didapatkan saat *snap shot* : tampilan layar saat *snap shot* merekam informasi pada setiap saat operator menekan tombol yang ada pada *remote* modul. *Autograph snap shot* secara otomatis akan mengambil data sesuai dengan yang ditentukan antara Rpm dan kecepatan selama grafik terbentuk, dan tombol *snap shot* akan merekam secara *real time* nilai yang dipilih oleh operator.

Data yang dihasilkan akan disimpan pada *file* pengambilan data dalam format teks ASCII atau dengan program yang lainnya. Data dapat dimasukkan ke dalam *spreadsheet*, *database*, atau program *word processor* yang diinginkan.

2.11.1 Rolling Road Dynamometer

Biasa disebut dengan chassis dynamometer, digunakan untuk mengukur tenaga yang dihasilkan pada roda kendaraan. Alat ini diciptakan agar kita tidak perlu bersusah payah untuk melepaskan mesin dari kendaraan (*flywheel power*). Cara kerja *rolling road dynamometer* adalah kendaraan dinaikkan keatas chassis dyno dan letakkan roda tepat diatas *roller*, kemudian di ikat menggunakan strap. Torsi diukur pada kecepatan yang berbeda, akan tetapi tempat yang sama seperti pada mesin *dynamometer* kecuali torsi pada *roller* lebih baik daripada torsi pada *flywheel*. Beban pengereman dihasilkan oleh salah satu *roller* dengan menggunakan hidrolik (*water brake*) atau dengan sistem elektrik.

Masalah yang sering terjadi pada *dynamometer* tipe ini adalah bila terjadinya slip pada ban. Permukaan dari roller adalah besi yang memiliki grip halus, dimana semakin lama akan menjadi licin. Bias kita bayangkan perbedaan grip yang dihasilkan antara besi *roller* dibandingkan dengan permukaan aspal. Sehingga efek dari slip pada ban ini cukup kompleks maka grafik yang dihasilkan akan terlihat kurang maksimal. Namun hal ini dapat diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan dengan tekanan ban yang tepat.

2.11.2 Cara Kerja Inersia pada Dinamometer Jenis Rolling Road

Sebagian besar jenis *dyno rolling road* yang sering dipakai untuk menentukan kekuatan bentuk di US adalah dynamometer inersia. *Inersia dyno* tidak secara langsung mengukur gaya pada perputaran *roller dyno* ke dalam penentuan kekuatan bentuknya. Dari beberapa sistem tersebut untuk melakukan perhitungan gaya (*force*) dalam perputaran menggunakan rumus:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : F = gaya (N)

m = massa (Kg)

a = percepatan (m/s^2)

Massa dan sistem inersia dari perputaran *dyno* telah kita ketahui sebelumnya dimana untuk menghitung kekuatan yang digunakan, *dyno inersia* mengukur kecepatan dari perputaran berdasarkan pengukuran peningkatan dalam aliran dan *voltage* yang dihasilkan ketika *dyno eddy* mengalir secara *retarders* digunakan sebagai generator pembangkit dari pada *power* yang diserap (digunakan sebagai penahan beban dynamometer ketika melakukan penyetelan mesin).

Gaya pada roller dimana massa roller dikalikan oleh percepatan ditentukan oleh *voltage output*. Gaya ini dikalikan oleh radius dari perputaran itu sendiri untuk memberikan torsi pada roda. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : T = torsi

F = gaya

r = radius atau jarak yang diaplikasikan

Power ditentukan dengan rumus

$$\text{BHP} = \text{torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252 \dots\dots\dots (2.9)$$

Rumus ini kemudian digunakan untuk mengukur *power* pada roda. Apabila point-point *power* yang terjadi pada mesin ini digunakan sebagai acuan, maka gambaran *power* ini dapat dijadikan plot kurva *power*. Untuk menggambarkan *power* yang terjadi pada *flywheel*, penurunan *coast* prosedur dipakai untuk mengukur deklarasi pada *roller*, dan menggunakan gambaran ini sebagai kecepatan negatif dan rumus $F = ma$ kembali digunakan untuk mengetahui *power* yang hilang melalui transmisi.

Masalah besar yang dihadapi adalah ketika perubahan terjadi pada setiap sistem yang mengalami perputaran. Dalam hal ini termasuk didalamnya seperti kopling, *flywheel*, atau roda. Bagian tersebut tidak mempengaruhi *power* pada mesin, akan tetapi hal tersebut akan merubah dan berpengaruh pada hasil pengukuran *output power* dalam inersia *dyno*.



Gambar 2.28 Dinamometer Dynamics