

2. LANDASAN TEORI

2.1. Material

Secara umum material atau bahan yang digunakan dalam perancangan teknik, dibagi menjadi tiga kelompok :

- Logam
- Material organik, seperti plastik dan kayu
- Keramik, seperti *glass*, batu bata, beton

Bahan pembuatan komponen atau material, dapat dibuat dari satu jenis bahan. Maupun dengan mencampur beberapa material, ini bertujuan untuk mendapatkan sifat yang optimal dari bahan maupun campuran tersebut. Dalam pemilihan bahan, adapun dasar-dasar pertimbangan yang perlu diperhatikan. meliputi beberapa faktor :

2.1.1. Kekuatan

Dalam semua aplikasi, ada beberapa pertimbangan yang membutuhkan kekuatan dari material. Dimana untuk mendapatkan kekuatan tersebut, bahan dasar yang digunakan dicampur dengan beberapa material dasar dalam komposisi tertentu. Salah satu contoh diperlukan material yang kuat adalah dalam pembuatan tabung bertekanan, dimana kekuatan material dibutuhkan untuk dapat mengatasi tekanan yang diterima, baik dari luar maupun dalam tabung. Jika material tabung tidak cukup kuat untuk dapat mengatasi tekanan tersebut, maka tabung akan meledak.

2.1.2. Ketahanan Karat

Ada beberapa kondisi dimana lingkungan bertentangan dengan sifat dasar material, yang mengakibatkan terjadinya reaksi kimia antara material dengan lingkungan yang kontak. Reaksi kimia yang terjadi pada material ada beberapa jenis, namun secara garis besar disebut korosi. Korosi dapat mengakibatkan berkurangnya ketebalan material, melalui reaksi kimia tersebut.

Pada kasus tertentu, ada beberapa material larut atau bereaksi dengan kondisi tertentu melalui kontak fisik. Salah satu reaksi itu terjadi diakibatkan dari unsur utama, yaitu oksigen. Sehingga untuk pencegahannya dilakukan dengan menghalangi material kontak secara langsung dengan udara luar. Disini dapat dilakukan dengan pelapisan material dengan material lain yang laju reaksinya lebih rendah, atau tak bereaksi sama sekali. Contohnya cat, plastik, crom, nikel.

2.1.3. Daya Hantar Listrik

Pertimbangan lain dalam pemilihan material adalah daya hantar listrik yang dimiliki oleh material yang juga berhubungan dengan hambatan listriknya. Dimana ada dua jenis sifat material dalam daya menghantarkan listriknya, yaitu konduktor dan insulator. Elektron dapat dipindahkan atau bergerak melalui suatu media tertentu ke media yang lain. Beberapa material, memiliki daya hambatan yang besar yang sulit dilewati oleh arus listrik yang disebut insulator, contohnya karet, kayu, dan kaca. Sedang material yang mudah dilalui arus listrik disebut konduktor, contohnya tembaga yang umum digunakan sebagai bahan kabel, dan perak yang merupakan superior konduktor biasanya digunakan untuk keperluan tertentu, misalnya kabel audio, dan kabel pada pesawat terbang.

Dimana hubungan antara tahanan dengan arus listrik dapat dilihat dari teori Ohm (L. M. Gourd, 1986)

$$\frac{V}{I} = a \text{ constant } (R) \quad (2.1)$$

dimana V : Tegangan (Volt)

 I : Arus (Ampere)

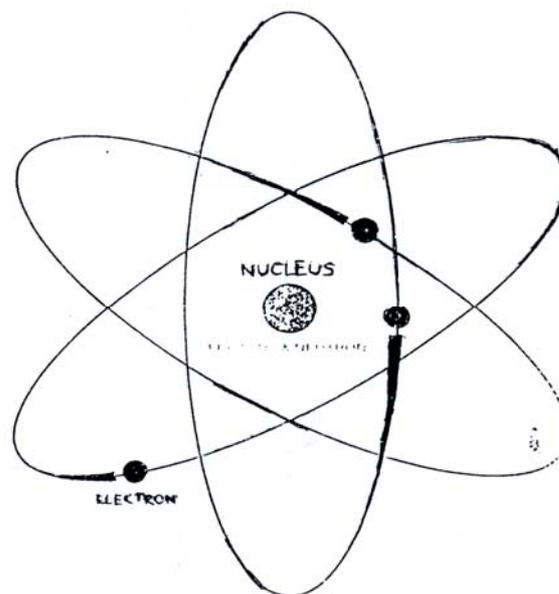
 R : Tahanan (Ohm)

Untuk mengetahui sifat konduktivitas dan hambatan listrik dari material-material yang lain, dapat dilihat pada lampiran 1.

2.2. Atom

Atom terdapat pada semua benda yang ada di dunia ini. Sebuah atom terdiri dari partikel proton bermuatan positif yang terletak ditengah-tengah atom dan partikel elektron yang bermuatan negatif mengelilingi proton pada orbitnya dan partikel neutron yang bermuatan netral. Elektron yang mengelilingi proton mengalami kombinasi gaya, yaitu gaya tarik menarik antara muatan partikel yang berlawanan yaitu antara proton dan elektron, sehingga elektron dapat tetap pada orbitnya. Gaya yang lain adalah kecenderungan dari elektron untuk meloncat meninggalkan orbitnya karena pergerakan elektron tersebut mengelilingi proton.

Ketika elektron-elektron bebas bebas berkumpul disatu tempat, maka disebut sebagai efek muatan listrik. Ketika elektron-elektron bebas mulai bergerak bersama-sama, misalnya pada sepanjang kabel disebut efek arus listrik, jadi listrik timbul akibat dari pergerakan elektron-elektron.

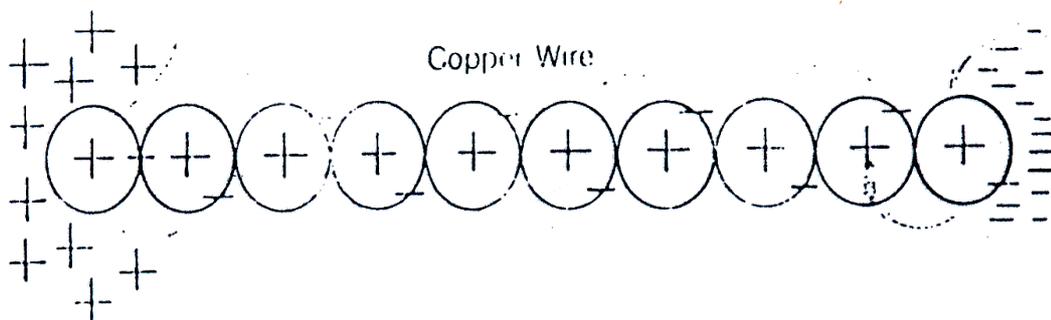


Gambar 2.1 Atom

2.2.1. Elektron Yang Bergerak

Elektron-elektron yang bebas selalu memiliki tolak menolak antara yang satu dengan yang lain. Mereka cenderung untuk saling menjauh antara satu dengan yang lain. Elektron-elektron tersebut akan selalu bergerak meninggalkan daerah yang banyak mengandung elektron menuju daerah dengan sedikit elektron.

Secara dasar generator listrik atau baterai tidak lebih suatu alat untuk mengumpulkan elektron-elektron dalam satu tempat atau terminal, dan memindahkan elektron-elektron dari suatu terminal. Bila dua terminal tersebut dihubungkan dengan sebuah kabel listrik atau rangkaian listrik, maka elektron-elektron dapat bergerak dari satu terminal ke terminal yang lain. Pergerakan elektron-elektron tersebut melalui rangkaian atau kabel disebut arus listrik. Terminal yang memiliki jumlah elektron yang banyak disebut terminal negatif. Terminal dimana elektron dipindahkan disebut terminal positif.



Gambar 2.2 Pergerakan Elektron

Secara dasar elektrik untuk semua tegangan 12 volt, kutub negatif, sistem elektrik yang beroperasi, listrik harus memiliki perjalanan pada rangkaian yang lengkap. Secara sederhana, arus yang mengalir dari kutub positif baterai harus dapat kembali ke kutub negatif baterai. Selama proses itu, arus dapat mengalir lewat kabel, *switch* (kontak), dan komponen lain seperti rangka mobil maupun mesin. Jika dalam beberapa kasus, aliran arus menuju sirkuit terganggu atau terputus, maka komponen yang menggunakan rangkaian tersebut akan terganggu atau bahkan berhenti berfungsi.

Secara gamblang untuk melihat arus tersebut dengan menggunakan *light bulb* yang mana memiliki dua kutub yang dihubungkan dengan kutub positif dan kutub negatif baterai. Dengan kedua kabel yang telah dihubungkan ke kutub baterai maka rangkaian menjadi lengkap dan lampu (*light bulb*) akan dapat menyala.

2.2.2. Volt

Arus listrik merupakan aliran dari elektron-elektron. Semakin banyak elektron dalam aliran, maka semakin kuat arusnya. Semakin besar elektron yang terdapat pada terminal generator, maka semakin besar gaya tolak menolak atau tekanan diantara elektron-elektron, dan semakin besar tekanan yang terjadi maka akan semakin banyak elektron yang akan mengalir.

Dalam hal ini tegangan mewakili arus mekanik elektron. Jadi semakin besar tegangan, maka akan semakin besar arusnya, tegangan dengan satuan volt merupakan indikator untuk mengetahui besarnya tekanan listrik. Tegangan yang tinggi berarti tekanan listrik yang tinggi atau banyaknya elektron-elektron yang terkumpul.

2.2.3. Tahanan

Selain material, tahanan yang menghambat arus listrik juga dapat terjadi dari beberapa faktor, seperti ukuran, panjang, dan temperatur. Sebagai contoh ukuran dan panjang juga berpengaruh pada tahanan arus, misalkan sebuah kabel dengan panjang 1000 *feet* dengan diameter 0,1 *inch* mempunyai tahanan 1 ohm. Sedangkan dengan panjang 2000 *feet* mempunyai tahanan 2 ohm. Tetapi apabila diameter kabel diperbesar menjadi 0,2 *inch* maka dengan panjang 1000 *feet* hanya mempunyai tahanan $\frac{1}{4}$ ohm, sehingga membutuhkan 4000 *feet* agar tahanan menjadi 1 ohm. Dengan diameter yang diperbesar menjadi dua kali diameter mula-mula, maka luas penampang kabel menjadi empat kali lebih luas.

$$L_{o1} = \pi r^2 \quad (2.2)$$

$$L_{o2} = \pi (2r)^2 = 4 \pi r^2 \quad (2.3)$$

Sehingga dengan diameter 0,2 *inch* kabel tersebut elektron-elektron dapat bergerak 4 kali lebih mudah, juga 4 kali lebih banyak elektron-elektron bebas yang bergerak. Jadi dengan tegangan atau voltage yang sama dapat mengalir 4 kali lebih banyak arus listrik (Lunardi, A. 1997).

Untuk temperatur, ada sebagian material yang memiliki tahanan sangat besar pada temperatur yang tinggi (*positive temperature coefficient*), dan

sebaliknya ada juga material yang memiliki tahanan yang tinggi pada kondisi temperatur rendah (*negative temperature coefficient*).

2.2.4. Tahanan Konduktor

Semua konduktor yang ada memiliki tahanan, sekalipun materi konduktor baik, tahanan konduktor berbalik lurus dengan panjang konduktor dan tahanan spesifiknya dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Tahanan spesifik (ρ) adalah konstan tergantung pada jenis material yang dipakai sebagai konduktor.

Maka itu supaya tahanan konduktor kecil perlu digunakan material dengan tahanan spesifik yang kecil dengan panjang minimum dan luasan penampang yang besar seimbang dengan harga. Tahanan dengan konduktor dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad (2.4)$$

dimana : R : Tahanan konduktor (ohm)

 l : Panjang (m)

 A : Luas penampang (m²)

ρ : Tahanan spesifik (ohm m)

2.3. Sistem Elektronik Mobil

Pada setiap mobil yang ada saat ini memiliki sistem yang kompleks dan canggih. Sistem tersebut pada prinsipnya berfungsi untuk memproduksi energi listrik, menyimpan energi listrik dan menyalurkan dalam bentuk tegangan rendah maupun tegangan tinggi yang dapat mencapai 50.000 V. Banyak komponen-komponen mobil yang membutuhkan energi listrik dalam pengoperasiannya, antara lain untuk menstarter mobil, menyalakan lampu, radio, menjalankan *wiper*, dan lain-lain. selain itu juga sebagai sistem penyalaan bunga api pada masing-masing busi pada ruang bakar harus pada saat yang tepat dengan tingkat kesalahan tidak lebih dari 1 / 10.000 per detik. Tanpa adanya sistem kelistrikan tersebut, segala

sesuatu yang digerakkan atau beroperasi dengan bantuan listrik tidak akan dapat berfungsi.

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, sistem elektrik otomotif merupakan hal yang sederhana. Macam-macam sistem elektrik yang ada saat ini didasari oleh beberapa aturan-aturan dasar dari sifat-sifat listrik. Komponen-komponen pada mobil yang memakai sistem elektrik antara lain :

2.3.1. Baterai

Sistem penyimpanan seringkali disebut jantung dari sistem elektrik mobil. Tugas baterai pada mobil adalah sebagai suplai arus listrik untuk menggerakkan arus stater pada saat menyalakan mesin mobil, dan juga untuk alat-alat elektrik yang lain pada mobil saat suplai dari generator tidak mencukupi. Untuk mengisi ulang baterai dapat bertahan lama maka tiap mobil memiliki generator. Jika generator tidak mampu mengisi ulang baterai tersebut maka baterai akan segera rusak dan tidak dapat mengalirkan arus listrik lagi.

Bagian luar baterai terdiri dari :

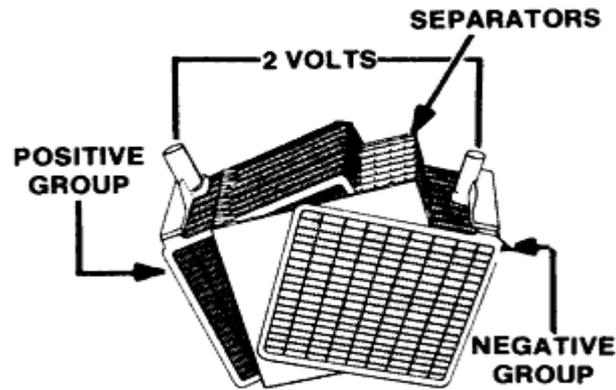
- a. plastik atau kotak karet
- b. dua terminal penghubung, diberi tanda untuk menunjukkan apakah dia terminal positif (+) atau negatif (-).
- c. tutup sel yang menyatu

umumnya baterai yang digunakan adalah tipe basah yaitu rangkaian elektrokimia yang menggunakan perubahan kimia untuk menghasilkan energi, dan melepaskan listrik ketika kontak dengan bagian luar sirkuit.

Bagian dalam baterai :

- a. pelat kisi-kisi

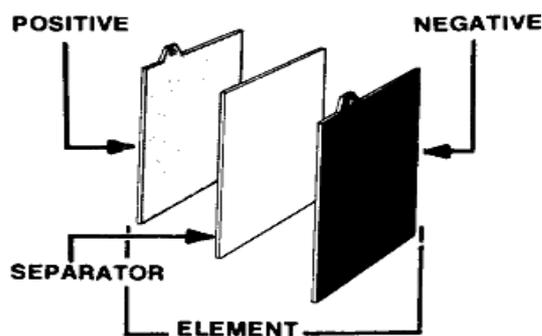
Merupakan komponen yang paling vital pada baterai, komponen ini yang berfungsi mengalirkan listrik yang diproduksi, jadi komponen ini harus berupa konduktor yang baik. Komponen ini terdiri dari dua jenis material yang berbeda untuk pelat positif dan pelat negatif.



Gambar 2.3 Pelat Positif dan Pelat Negatif

b. separator

Untuk mencegah plat positif bersentuhan dengan plat negatif, maka diantara kedua plat tersebut diberi bahan nonkonduktif tipis



Gambar 2.4 Volt Cell

c. elektrolit

Merupakan cairan campuran antara asam sulfat dengan air murni. Elektrolit yang digunakan dalam pengisian penuh terdiri dari 25% asam sulfat dan 75% air murni.

2.3.2. Generator

Generator adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator yang biasa dipakai pada mobil mempunyai tegangan antara 6-12 V dan berguna untuk mengisi kembali baterai, juga untuk menyuplai arus listrik

untuk alat-alat elektrik pada mobil saat mesin mobil tersebut beroperasi. Generator biasanya terpasang disamping blok mobil dan digerakkan blok mesin dan digerakkan oleh *van belt* yang dihubungkan dengan putaran poros engkol.

2.3.3. Regulator

Generator tanpa menggunakan regulator dapat menghasilkan arus listrik yang besar yang dapat menyebabkan baterai dan alat-alat elektrik yang lain rusak. Regulator berfungsi untuk mengatur jumlah arus balik yang dihasilkan generator yang dialirkan untuk keperluan alat-alat elektrik mobil agar tidak *overload*.

2.3.4. Motor Stater

Motor stater berguna untuk menyalakan mesin mobil pada saat pertama dengan memutar poros engkol dengan menggunakan daya listrik dari baterai sebagai sumber dayanya.

2.4. Sistem Pengapian

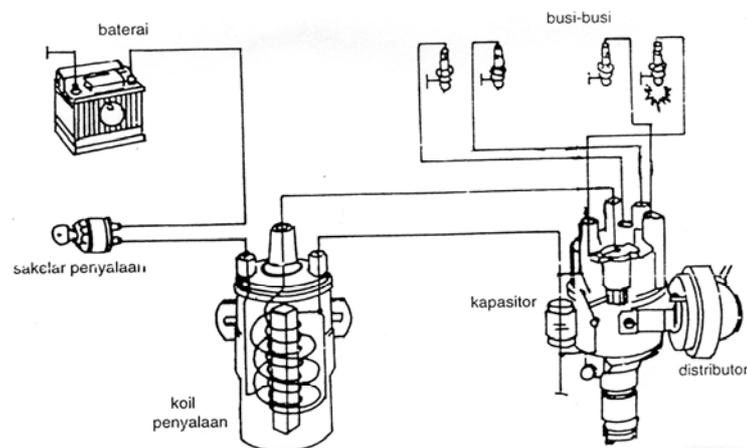
Sistem pengapian merupakan komponen yang sangat penting pada mobil. Dimulai dengan memproduksi listrik tegangan tinggi yang dapat mencapai 50.000 V dan menyalurkan pada busi yang terdapat dalam silinder. Pembakaran tersebut terjadi karena campuran antara udara dan bahan bakar dalam silinder dinyalakan oleh busi pada akhir langkah kompresi, sehingga piston akan terdorong oleh tekanan dari pembakaran yang terjadi dan gerakan dari piston tersebut menyebabkan poros engkol dapat berputar. Kemudian putaran dari poros engkol diteruskan ke sistem transmisi sampai ke roda mobil.

Campuran udara dan bahan bakar yang berada didalam ruang bakar harus dinyalakan pada saat yang tepat selama siklus pembakaran. Hal ini dapat terjadi karena adanya loncatan bunga api diantara celah busi yang berada didalam ruang bakar. Tegangan yang dibutuhkan agar arus listrik dapat meloncat antara celah busi adalah 5.000-50.000 Volt, semakin besar tegangan yang dihasilkan akan semakin sempurna pembakaran yang terjadi. Baterai yang terdapat pada mobil hanya memiliki tegangan 12 Volt, sehingga diperlukan komponen sistem pengapian untuk meningkatkan tegangan tersebut dan mengatur terjadinya loncatan

bunga api pada saat yang tepat. Waktu pengapian juga harus dapat berubah sesuai dengan putaran dan beban motor, baik bertambah atau berkurang sehingga digunakan mekanisme untuk mempercepat ataupun memperlambat pengapian.

Sistem pengapian telah mengalami perkembangan dan perubahan sesuai dengan kemajuan teknologi otomotif, sistem pengapian konvensional yang mempergunakan kontak point (platina) dan kondensator telah mengalami perkembangan menjadi sistem pengapian elektronik yang memakai semi konduktor dan transistor.

Pada saat pengapian terdapat dua sirkuit yang terpisah, yaitu sirkuit primer dan sekunder. Sirkuit primer merupakan sirkuit tegangan rendah sedangkan sirkuit sekunder biasa disebut sirkuit tegangan tinggi.



Gambar 2.5 Sistem Pengapian

Komponen-komponen pada sistem pengapian :

1. Baterai

Berguna untuk menyediakan energi listrik untuk mengoperasikan sistem pengapian. Kutub negatif dihubungkan dengan *ground* (rangka mobil) dan kutub positif dihubungkan langsung pada *ignition switch* (kontak stater).

2. *ignition switch* (kontak starter)

Sebagai alat yang menghubungkan atau memutus arus listrik yang menuju sistem pengapian. Kontak stater akan menghubungkan arus listrik secara

langsung melalui kabel *bypass* pada saat start pertama dan memulai *ballast resistor* pada saat operasi normal.

3. *Ballast Resistor*

Berfungsi untuk mengontrol aliran arus listrik menuju koil selama operasi normal. Ballast resistor akan mengurangi tegangan yang mengalir menuju koil pada saat putaran motor rendah, dan memperbesar tegangan pada saat putaran motor tinggi.

4. *Bypass Circuit*

Berguna pada saat penyalaan pertama. pada saat tersebut tegangan yang besar dibutuhkan oleh koil untuk menghasilkan bunga api pada busi. Pada saat motor sudah berfungsi, arus listrik yang mengalir menuju koil akan melalui *ballast resistor*.

5. Gulungan koil primer

Berguna untuk mengubah energi listrik menjadi medan magnet. Ketika arus listrik mengalir melalui gulungan primer maka menghasilkan medan magnet yang mengelilingi gulungan sekunder.

6. Kontak point (platina)

Berguna untuk menutup dan membuka sirkuit primer. Porosnya distributor yang berputar menyebabkan platina membuka dan menutup. Ketika platina menutup maka arus listrik pada sirkuit primer membentuk medan magnet pada koil. Ketika kontak platina membuka maka arus listrik akan terputus. Hal tersebut menyebabkan medan magnet pada koil menghilang secara tiba-tiba sehingga membentuk tegangan tinggi pada sekunder.

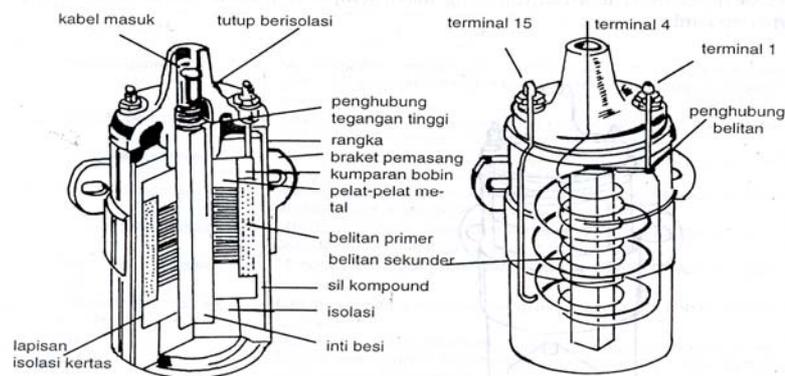
7. Kondensor

Berfungsi untuk mengurangi busur listrik pada saat posisi platina terbuka. Busur listrik tersebut dapat menyebabkan permukaan platina berlubang

dan terkikis. Kondensor membantu untuk mengurangi terkikisnya permukaan platina.

8. Gulungan koil sekunder

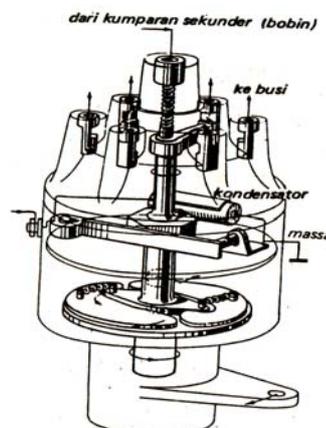
Berfungsi untuk menghasilkan tegangan tinggi pada koil saat tegangan pada gulungan primer menghilangkan secara tiba-tiba. Tegangan tersebut kemudian diteruskan menuju distributor.



Gambar 2.6 Koil

9. Distributor

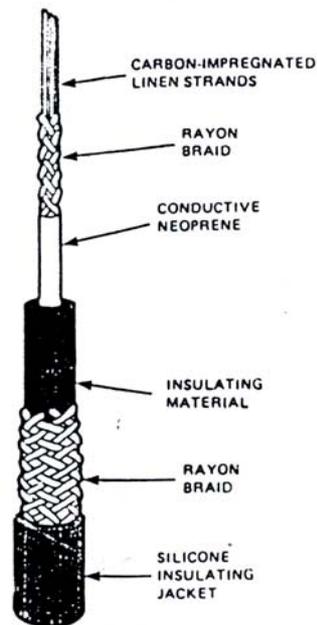
Berfungsi untuk mendistribusikan tegangan tinggi dari koil kepada masing-masing busi secara bergantian pada keseimbangan yang tinggi dan pada ketepatan waktu. Jarak antara elektroda yang dipasang dengan rotor elektroda kurang lebih 0,5 mm, agar energi pengapian dapat dipindahkan ke busi.



Gambar 2.7 Distributor

10. Kabel Busi

Menghubungkan antara tutup *distributor* busi sehingga tegangan tinggi dari *distributor* dapat diteruskan kepada masing-masing busi.



Gambar 2.8 Penampang Kabel Busi

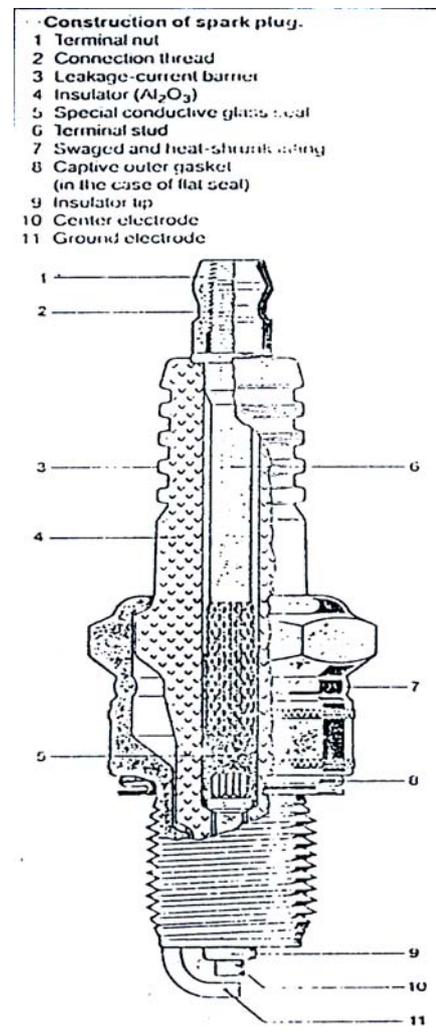
Untuk setiap jenis material logam berbeda yang digunakan, tahanan arus listriknya juga berbeda. Data yang menunjukkan tahanan arus pada material logam berbeda dapat dilihat pada lampiran 1.

11. Busi

Berfungsi untuk menghasilkan loncatan bunga api diantara celah elektrode busi didalam ruang bakar, sehingga campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar. Busi terdiri dari logam, keramik, dan kaca. Meterial-material ini memiliki sifat yang berbeda-beda. Terminal *stud*, *insulator*, *shell*, *ground electrode* (elektrode negatif) dan *centre electrode* (elektrode pusat) merupakan bagian terpenting dari sebuah busi

11.1. Konstruksi Busi

Bagian-bagian busi dapat kita lihat dari gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Konstruksi Busi

a. Terminal *stud*

Terminal *stud* terletak didalam *insulator*. Terminal *stud* ini dihubungkan dengan si kaca konduktif yang khusus yang berhubungan juga dengan *center* elektrode secara listrik. Bagian dari ujung terminal *stud* yang keluar dari insulator memiliki alir yang berfungsi untuk memasang kabel tegangan tinggi (kabel busi). Pada ulir dipasang sebuah terminal yang digunakan untuk memasang kabel busi.

b. Insulator

Insulator terbuat dari material keramik yang diproduksi dengan nama dagang seperti sintox, pyranit, corundite, dan sebagainya. Biasanya *insulator* berbahan dasar aluminium *oxide* yang dicampur dengan keramik. Insulator berfungsi untuk mengisolasi elektrode pusat dan terminal *stud* dari *shell*, supaya tidak terjadi hubungan singkat, insulator harus memiliki kekuatan mekanik kekuatan mekanik yang cukup, tahanan listrik yang tinggi, dan konduktivitas panas yang tinggi untuk memuhi kondisi kerjanya.

c. Shell

*Shell*erbaut dari baja dan berfungsi untuk memasang busi pada kepala silinder dari motor. Bagian atas dari *shell* memiliki suatu sisi segi enam dan bagian yang dibawah berulir. Pada bagian yang berulir dipasangkan cincin penahan (*sealring*) yang berfungsi supaya tidak terjadi kebocoran campuran udara dan bahan bakar melalui lubangnya.

d. Ground Electrode

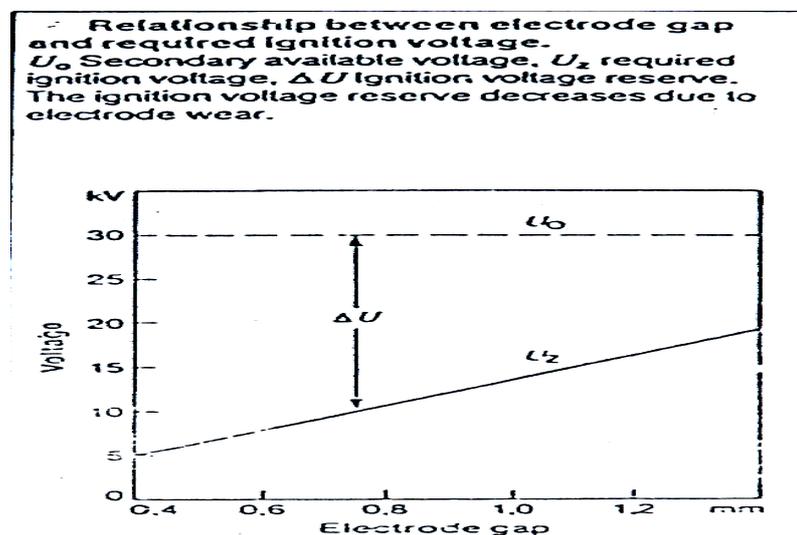
Elektrode negatif dipasangkan pada *shell*, yang mana *shell* melekat pada kepala silinder, sedangkan kepala silinder sendiri terhubung dengan kutub negatif pada sumber tegangan. Elektrode negatif harus dipilih dari bahan yang memiliki konduktivitas panas yang tinggi karena pada kondisi kerjanya elektrode ini langsung berhubungan dengan campuran udara dan bahan bakar yang terbakar.

e. Centre Electrode

Electrode pusat terletak dalam insulator. Diamater dari elektrode pusat ini lebih kecil dari pada diameter lubang insulator. Ujung dari elektrode ini sebagian keluar dari hidung insulator. Elektrode pusat terbuat dari logam khusus yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Selain itu elektrode ini juga harus dipilih dari bahan yang memiliki ketahanan erosi yang tinggi.

f. Celah Elektrode

Celah elektrode adalah jarak terpendek antara elektrode pusat dengan elektrode negatif, dimana busur api listrik dapat meloncat. Ada suatu hubungan antara tegangan penyalanan yang dibutuhkan dengan lebarnya celah elektrode. Apabila celah elektrodenya kecil maka tegangan penyalanan yang diperlukan supaya busur api listrik dapat meloncat juga kecil, sedangkan apabila celah elektrodenya lebar maka tegangan penyalanan yang dibutuhkan juga semakin besar. Celah elektrode yang umum digunakan adalah sekitar 0,5 – 1,0 mm. Tetapi ketepatan celah elektrode yang paling optimal masing-masing mesin tergantung pada desain dari tiap-tiap mesin itu sendiri.



Gambar 2.10 Hubungan Celah Electrode dengan Tegangan yang Dibutuhkan

11.2. Jangkauan Panas Busi

Jangkauan panas adalah kapasitas pembebanan pada busi. Hal tersebut harus sesuai dengan karakteristik motor.

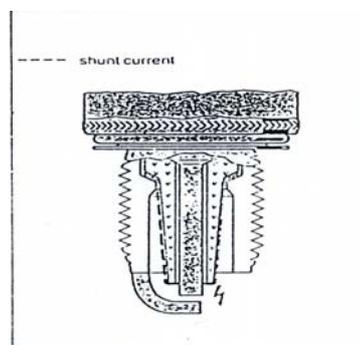
11.2.1. Temperatur Operasi

Bagian dari ujung insulator yang berada di ruang bakar tidak boleh memiliki temperatur dibawah 400°C untuk menjamin terjadinya pembersihan sendiri (*Shell cleaning*) oleh busi, dan tidak boleh temperaturnya melampaui 850°C untuk mencegah terjadinya penyalanan sendiri (*auto ignition*).

Komponen-komponen bahan bakar dan minyak pelumas akan dilepaskan atau dibuang dalam bentuk jelaga selama pembakaran dalam ruang bakar. Meskipun sebagian besar deposit dikeluarkan dari ruang bakar bersama-sama dengan gas buang, tetapi sebagian ada yang tertinggal didalam ruang bakar dan ada juga menempel pada busi. Deposit tersebut dapat mengotori hidung isolator (*insulator nose*) sehingga membentuk hubungan konduksi listrik antara elektrode pusat dan *shell*. Hubungan tersebut dapat menyebabkan percabangan energi penyalan dalam bentuk arus *shunt* (*shunt current*) sehingga melemahkan bunga api pada elektrode busi. Jika penumpukan deposit menjadi semakin banyak dapat memungkinkan terjadinya kehilangan seluruh energi penyalan, sehingga tidak ada loncatan bunga api yang terjadi.

Penumpukan deposit dari sisa pembakaran pada hidung insulator tergantung pada temperatur dan akan terjadi penumpukan apabila temperatur berada dibawah 400°C . Pada temperatur yang lebih tinggi, karbon yang terdapat pada sisa pembakaran ikut terbakar sehingga tidak terjadi penumpukan deposit pada hidung insulator. Temperatur pembersihan sendiri harus cepat dicapai setelah penyalan (*strat*) pertama.

Batas temperatur atas pada insulator adalah 900°C karena diatas temperatur tersebut campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar sendiri (*auto ignition*) akibat terlalu panasnya ujung insulator. Pembakaran yang tidak terkontrol tersebut sangat merugikan mesin dan terdapat menyebabkan kerusakan pada piston yang tidak dapat diperbaiki dalam waktu yang singkat. Karena alasan tersebut maka temperatur kerja busi harus dijaga dalam batas-batas yang telah disebut diatas.



Gambar 2.11 Arus “*shunt*”

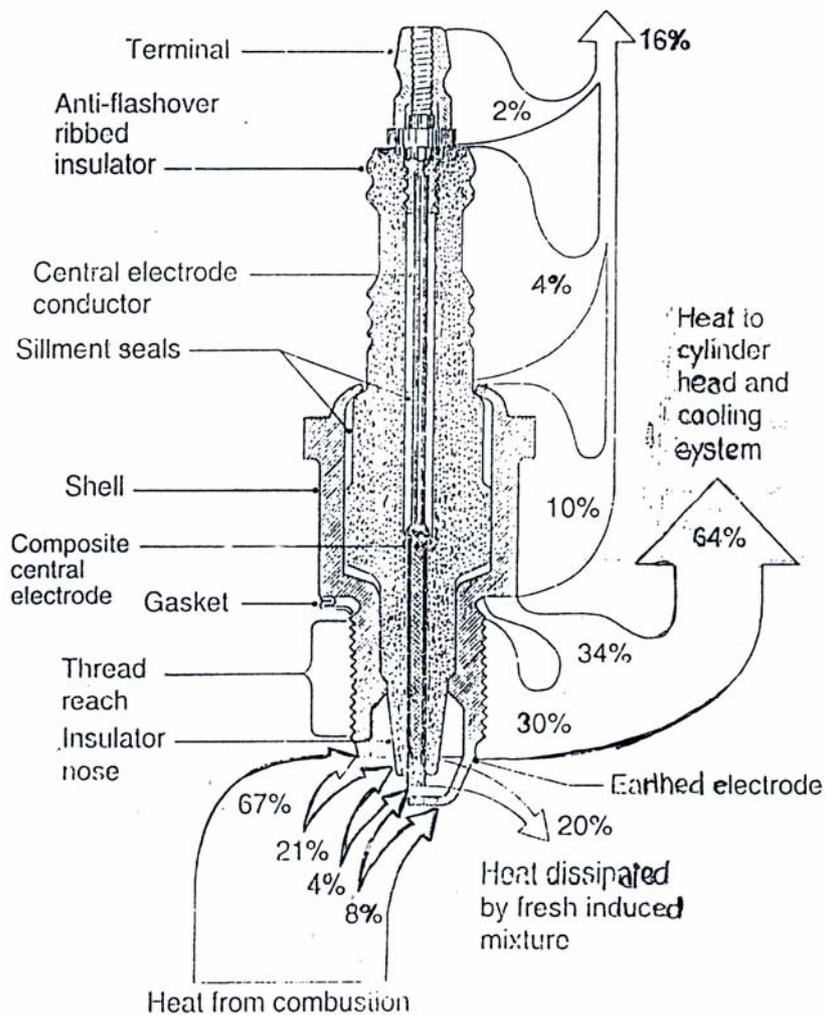
Untuk melihat arah rambat penyalaan pada ruang bakar, dapat dilihat pada lampiran 2.

11.2.2. Kapasitas Pembebanan Panas

Temperatur kerja adalah temperatur keseimbangan antara penyerapan panas dan pembuangan panas. Busi memperoleh pemanasan selama operasi pembakaran didalam ruang bakar. Temperatur *shell* kurang lebih sama dengan temperatur kepala silinder, sedangkan temperatur yang dicapai oleh *insulator* lebih tinggi. Sebagian panas yang diserap oleh busi dibuang melalui aliran masuk dari campuran bahan bakar dan udara pada saat langkah hisap ($\pm 20\%$). Sebagian besar panas dilepaskan oleh elektrode pusat dan insulator melalui *shell*, kemudian diteruskan pada kepala silinder. Panas yang diterima oleh busi tergantung pada karakteristik motor. Motor yang berdaya besar biasanya memiliki temperatur ruang bakar yang lebih tinggi dibandingkan motor berdaya kecil. Maka kemampuan penyerapan panas oleh busi harus sesuai dengan karakteristik motor.

11.2.3. Jangkauan Panas Motor

Karakteristik motor yang berada membuat satu macam busi tidak dapat digunakan pada semua jenis mesin. Busi yang sama dapat menjadi terlalu panas pada satu macam mesin dan hanya dapat mencapai temperatur yang rendah pada mesin yang lain. Supaya busi tidak bekerja pada temperatur yang terlalu panas maupun terlalu dingin maka dikembangkan busi dengan karakteristik yang berbeda-beda. Hal ini disebut jangkauan panas busi yang tercatat pada masing-masing busi, sehingga memudahkan pemilihan busi yang sesuai dengan karakteristik mesin.



Gambar 2.12 penyerapan dan pembuangan panas

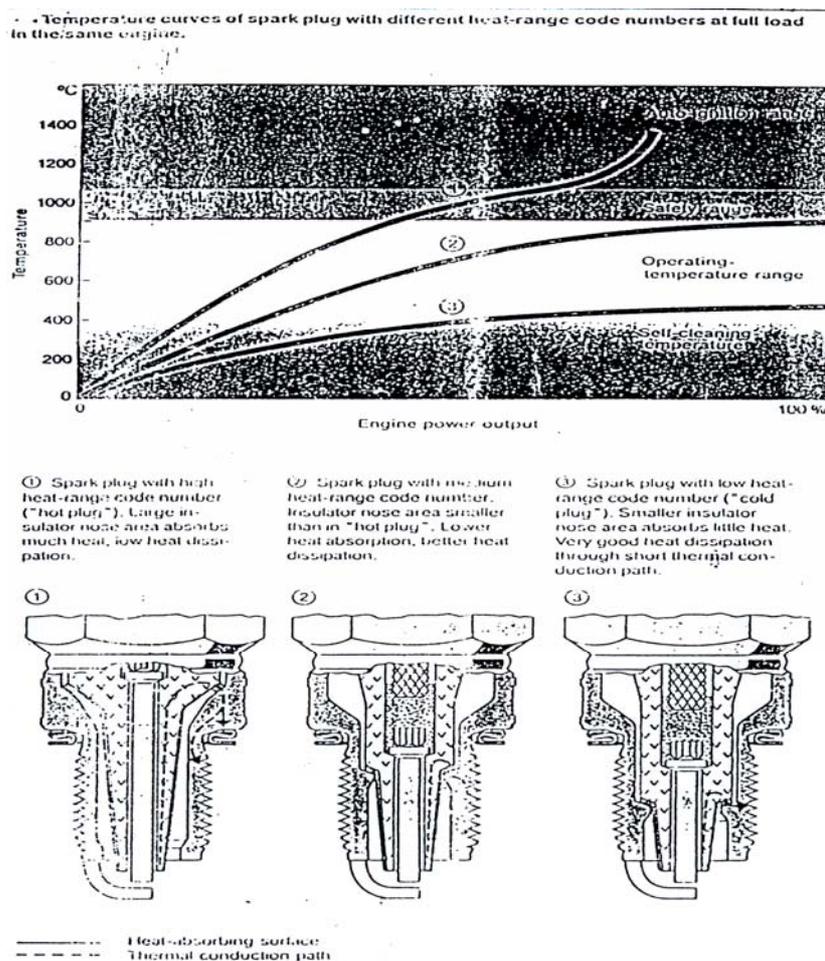
11.2.4. Jangkauan Panas Busi

Sebagai gambaran, busi tidak boleh memiliki temperatur melebihi maupun kurang dari jangkauan panas yang diberikan. Jadi busi untuk motor yang panas harus dapat secara efisien melepaskan panas supaya tetap berada dalam jangkauan temperatur kerja. Sedangkan busi untuk motor dingin harus dapat menyerap lebih banyak panas supaya dapat mencapai temperatur kerja. Hal ini disebut keseimbangan ini dan jangkauan panas busi dapat dipengaruhi oleh dua hal yang penting yaitu bentuk hidung insulator dan jenis material elektrode.

11.2.5. Pengaruh Hidung Insulator

Penyerapan panas ditentukan oleh ukuran luas permukaan insulator. Jika busi memiliki hidung insulator yang panjang maka temperatur insulator menjadi sangat panas, kebalikannya apabila hidung insulator pendek luasannya, akan semakin kecil dan temperatur insulator berkurang panasnya.

Panas dilepaskan dari hidung insulator melalui elektrode pusat dan melalui *seal ring* pada *shell*. Jika hidung insulator panjang maka perpindahan panas dari titik panas dari titik terpanas pada ujung insulator menuju ke *seal ring* lebih jauh dibandingkan busi dengan hidung dengan insulator pendek. Maka busi dengan insulator panjang dapat menyerap lebih banyak panas dan melepas sedikit panas daripada busi dengan insulator pendek. Perbedaan panjang hidung insulator menghasilkan perbedaan jangkaun panas pada busi.



Gambar 2.13 Pengaruh Panjang Insulator terhadap Temperatur Kerja Busi

11.3. Tipe-Tipe Busi

Berdasar kemampuan mentransfer panas, busi dibagi dalam dua tipe yaitu :

- Panas

Busi tipe panas adalah busi yang lebih lambat untuk mentransfer panas yang diterima. Cepat mencapai temperatur kerja yang optimal namun jika untuk pemakaian yang berat bisa terbakar. Biasa digunakan pada motor standart untuk penggunaan jarak dekat.

- Dingin

Busi tipe dingin lebih mudah mentransfer panas ke bagian silinder kepala. Biasanya digunakan untuk penggunaan yang lebih berat misalnya untuk balap atau pemakaian jarak jauh karena sifatnya mudah dalam pendinginan.

Klarifikasi tipe busi ini didasarkan oleh faktor-faktor :

- Jarak antara elektrode tengah dengan insulator (ukuran volume gas). Busi tipe panas mempunyai volume yang lebih besar.
- Konduktifitas *thermal* insulator dan elektrode.
- Konstruksi elektrode.
- Dimensi gap pada ujung elektrode.

Pemilihan tipe busi yang sesuai didasarkan pada :

- Campuran bahan bakar yang digunakan.
- Perbandingan kompresi.
- Waktu pengapian.
- Kualitas bahan bakar dari kadar oktannya.
- Kondisi pemakaian seperti untuk balap atau pemakaian sehari-hari.
- Pola ulir dari kepala busi.

Berdasar keterangan diatas, maka penggunaan busi yang berbeda dari standar harus disesuaikan dengan spesifikasi mesin. Untuk mengetahui jenis atau tipe busi, dapat dilihat dari kode yang tertera pada busi. Namun kode tiap jenis busi (*merk*) berbeda.

2.5. Gas Buang

Pada proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara pada ruang bakar, akan selalu menghasilkan gas-gas hasil dari pembakaran tersebut maupun sisa dari pembakaran yang tidak terbakar sempurna, yang nantinya dibuang lewat saluran gas buang. Gas-gas tersebut antarlain:

2.5.1. Karbonmonoksida (CO)

Gas ini tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa tetapi beracun jika dihirup. Jika terhirup ke dalam paru-paru akan bercampur dengan darah dan mencegah darah untuk menyerap oksigen.

Konsentrasi rendah dari karbon monoksida (CO) dapat menyebabkan sakit kepala dan menurunkan mental maupun aktivitas fisik, jika konsentrasi CO tinggi dapat menyebabkan tidak sadar dan kematian.

Oleh sebab itu kadar CO yang tinggi pada gas buang motor bakar berusaha untuk dikurangi. Hal-hal yang menyebabkan kadar CO yng tinggi pada motor antara lain :

- a. *Setting* campuran bahan bakar yang kaya,
- b. Putaran idle yang tidak benar,
- c. Saringan udara yang kotor,
- d. Peralatan *choke* yang tidak sempurna pada saat motor masih dingin.

2.5.2. Hidrokarbon (HC)

Gas buang mengandung macam-macam campuran hidrokarbon yang pada umumnya berbahaya tetapi mudah menyala. Ada beberapa hidrokarbon yang diketahui sebagai *carcinogens*, yaitu gas-gas tersebut dapat menyebabkan kanker. Sebagai tambahan, beberapa HC cenderung menyebabkan iritasi mata. Selain itu hidrokarbon juga ikut menyebabkan terjadinya hujan asam.

Oleh sebab itu kada HC pada gas buang harus ditekankan serendah mungkin hal-hal yang menyebabkan kadar hidrokarbon tinggi antara lain :

- a. Waktu pengapian yang tidak tepat,
- b. Sistem pengapian yang tidak sempurna,
- c. Campuran bahan bakar yang miskin ataupun kaya secara berlebihan,

- d. Kondisi mesin yang kurang sempurna, yaitu : kompresi yang lemah, gasket yang bocor, katup yang rusak, dan lain-lain.

2.5.3. Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida adalah gas yang tidak berwarna dengan bau maupun rasa yang lemah dan tidak beracun. Hasil pembakaran motor bakar yang sempurna menghasilkan kadar karbondioksida yang tinggi dibandingkan karbonmonoksida maupun hidrokarbon.

Tabel 2.1 komposisi gas buang

exhaust Constituent	Driving mode			
	idle	Accleration	Cruise	Deceleration
Hidrokarbon (ppm)	300 - 1000	300 - 800	250 - 550	3000 - 12000
karbonmonoksida (%)	4.0 - 9.0	1.0 - 8.0	1.0 - 7.0	3.0 - 4.0
Karbondioksida (%)	10	12	12.5	6
Oksigen	2	1.5	1.5	8
kecepatan alir (m ² /mm)	0.185 - 0.95	1.5 - 7.5	0.95 - 2.25	0.185 - 0.95
temperatur	150 - 300	450 - 600	400 - 600	200 - 400

2.5.4. Rasio Udara-Bahan Bakar (λ)

Rasio *stoichiometric* udara bahan bakar dibatasi oleh jumlah bagian dari udara yang secara teori diperlukan untuk membakar secara lengkap bagian dari bahan bakar. Untuk bahan bakar, perbandingan rasio udara-bahan bakar yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna adalah 14,7 Kg udara dengan 1 Kg bahan bakar.

Jika rasio udara-bahan bakar simbol yang masuk ke silinder berada dari rasio *stoichiometric*, maka akan ada kekurangan atau kelebihan udara didalam silinder. Oleh sebab itu menunjukkan kekurangan ataupun kelebihan udara dipakai simbol lamda (λ). Rasio udara tersebut ataupun sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{pemakaian udara aktual}}{\text{kebutuhan udara teoritis}} = \frac{A_a}{A_t} \quad (2.5)$$

dimana :

λ : 1 (untuk campuran *stoichimetric*)

λ : 0,95 (untuk campuran kaya yang memiliki kekurangan udara 5 %)

λ : 1,05 (untuk campuran miskin yang memiliki kelebihan udara 5 %)

2.6. TORSI DAN DAYA

Merupakan kemampuan atau unjuk kerja mesin, yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dengan udara pada sistem, yang disalurkan menuju poros engkol, transmisi, dan roda.

2.6.1. Brake Horse power (Bhp)

Brake Horse power (Bhp) adalah daya yang diberikan ke poros penggerak oleh motor, Bhp dinyatakan dalam daya kuda (dk), dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$N = \text{BHP} = \frac{2.\pi.Nd.P.R}{60.746} \quad (2.6)$$

dimana : N = BHP : *Brake horse power* (dk)

P : gaya aksi dynamometer (Newton)

R : Panjang lengan dynamometer = 0,9738 (m)

Nd : putaran motor (Rpm)

2.6.2. Torsi

Torsi yang dihasilkan dihitung dengan persamaan:

$$T = P.R \text{ (Nm)} \quad (2.7)$$

2.6.3. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

Specific fuel consumption (sfc) adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya satu dk selama satu jam. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$B_{sfc} = \frac{3600 m}{B_{hp} t} \text{ (kg/ Hp jam)} \quad (2.8)$$

dimana : m = masa bahan bakar sebanyak 50 ml (kg)

$$= P \times V \text{ kg}$$

$$SG \text{ bensin} = 0,728 \text{ (1 atm, 31 } ^\circ \text{C)}$$

$$P_{\text{bensin}} = p \times SG \text{ bensin} = 999 \times 0,728$$

$$= 727.272 \text{ kg / m}^3$$

$$V = \text{Volume bahan bakar} = 50 \text{ ml}$$

$$= 50 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m = p.v = 727,272 \times 50 \times 10^{-6}$$

$$= 0,036363 \text{ kg}$$

$$t = \text{waktu dibutuhkan untuk mengonsumsi 5 ml bahan bakar (dt)}$$

2.6.4. Efisiensi Termis

Merupakan efisiensi pemanfaatan kalor dari bahan bakar untuk diubah menjadi energi mekanis. Dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{641,567}{S_{fc} \cdot LHV} \times 100\% \quad (2.9)$$

dimana : η_{th} = Efisiensi termal (%)

$$LHV = \text{Kalor pembakaran bawah (Kkal/kg)}$$

$$LHV = (1660 + 40 \cdot \text{API}) 555,36152 \text{ kal/kg} \quad (2.10)$$

dimana :

$$^\circ \text{API} = \frac{141,5}{SG(60^\circ F)} - 131,5 \quad (2.11)$$

$$\text{dengan } SG = \text{Specific Gravity bensin } 60^\circ \text{F} = 0,74$$

$$^\circ \text{API} = \frac{141,5}{0,74} - 131,5$$

$$^\circ \text{API} = 59,72$$

sehingga :

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= (1660 + 40 \times 59,72)555,36152 \text{ kal/kg} \\ &= 10551,20245 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$