

BAB II

DASAR TEORI

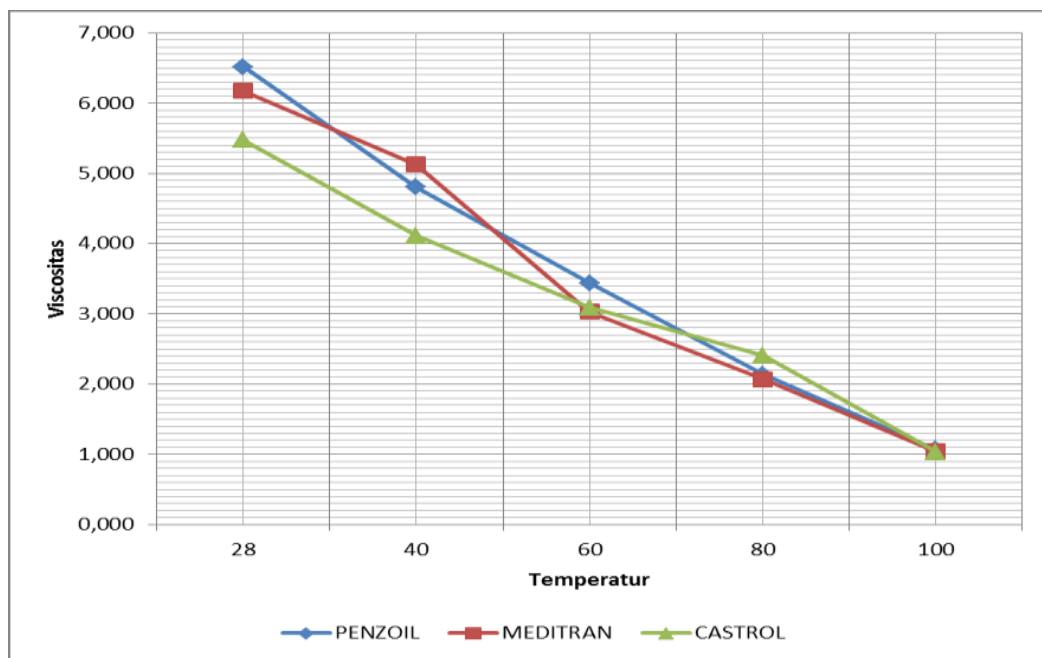
2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang terkait dan sebagai pendukung pada penyusunan tugas akhir ini digunakan sebagai referensi guna menambah sumber data untuk mengkaji dan membatasi penelitian yang akan kita lakukan, oleh karena itu kami tuliskan sumber-sumber terkait di bawah ini:

Mulyawan (2008) “Studi Kasus Sistem Pelumasan dan Pengaruhnya Terhadap Sistem Komponen Mesin”. Dalam industri otomotif, efisiensi dan efektivitas kerja mesin kendaraan bermotor sangat di pengaruhi oleh kondisi minyak pelumas yang di gunakan. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas minyak pelumas diantaranya adalah viskositas, TBN, water content dan lain-lain. Proses pengganti minyak pelumas mesin secara konvensional yang menggunakan pedoman jarak tempuh dan waktu pemakaian yang dirasakan kurang akurat, sehingga diperlukan suatu alat ukur parameter-parameter yang ada dan dapat memantau kualitas minyak pelumas secara kontinyu pada saat mesin dijalankan untuk memperoleh waktu penggantian minyak pelumas yang tepat.

Mujiman, (2011) dalam penelitian yang berjudul “Pengukuran Viskositas Oli Mesran SAE 10 W-50 Untuk Pendingin Transformator Distribusi Dengan Penampil LCD”. Diketahui bahwa pelumasan adalah penopang utama dari kerja sebuah mesin. Semakin baik kualitas oli yang digunakan, semakin baik pula performa dan daya tahan mesin. Sebagai pelumas, oli melumasi (*lubricating*) seluruh komponen yang bergerak di dalam mesin untuk mencegah terjadinya kontak langsung antar komponen yang terbuat dari logam. Dalam hal ini, unsur kekentalan (viskositas) sangat penting. Sebagai pendingin, oli juga harus mampu mengurangi panas yang ditimbulkan oleh gesekan antar logam pada mesin yang bergerak, seperti klep (katup) atau *bearing*.

Parenden (2012) tentang pengaruh temperatur terhadap viskositas minyak pelumas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai viskositas dari masing-masing minyak pelumas selalu menurun apabila temperatur dinaikkan. Data hasil menunjukkan nilai viskositas untuk minyak pelumas merek *Penzoil* pada temperatur 28°C viskositasnya sebesar 6,513 dyne.s/cm³ kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,065 dyne.s/cm³ hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai viskositas pelumas tersebut sebesar 83,11%, untuk merek *Meditran* pada temperatur 28°C viskositasnya sebesar 6,173 dyne.s/cm³ kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,039 dyne.s/cm³ terjadi penurunan viskositas sebesar 83,17 % dan untuk merek *Castrol* pada temperatur 28°C viskositasnya sebesar 5,475 dyne.s/cm³ kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,034 dyne.s/cm³ penurunan viskositas yang terjadi sebesar 81,11%. Jadi dari data hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa minyak pelumas merek *Castrol* lebih baik dari ketiga merek yang digunakan. Karena pada saat temperatur dinaikkan nilai viskositas yang turun sebesar 81,11% dibandingkan merek pelumas *Penzoil* dan *Meditran*.



Gambar 2.1 Grafik hubungan antara viskositas dengan temperatur (Parenden, 2012)

Arisandi, dkk (2012) melakukan penelitian tentang analisa pengaruh bahan dasar pelumas terhadap viskositas pelumas dan konsumsi bahan bakar. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan dasar pelumas terhadap ketahanan viskositas pelumas. Penelitian ini menggunakan tiga jenis pelumas yaitu mineral, semi sintetis dan sintetis dengan viskositas yang sama yaitu SAE20- W50. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa viskositas pelumas sintetis mempunyai kestabilan paling baik, sedangkan viskositas pada pelumas mineral paling rendah dan konsumsi bahan bakar pada penggunaan pelumas sintetis cenderung hemat dibandingkan pelumas semi sintetis dan mineral, sedangkan konsumsi bahan bakar pelumas semi sintetis lebih hemat dibanding mineral.

Lisunda (2016) melakukan penelitian tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas MPX 2 baru dan MPX 2 bekas serta pengaruhnya terhadap motor Honda Vario 110 cc. Kandungan sampel oli baru menghasilkan tren grafik yang tidak stabil karena sudah terkontaminasi zat sisa konduktivitas oli bekas diantaranya kondisi debit air yang tidak stabil saat pengambilan data, pembangkitan energi dari luar dan faktor campuran jelaga (sisa pembakaran pada kendaraan bermotor).

Wibowo (2016) kajian tentang pengaruh beberapa minyak pelumas terhadap kinerja motor 4 langkah 150 cc. Dari hasil pengujian yang dilakukan penurunan viskositas terlihat setelah naiknya temperatur. Pelumas sintetis memiliki viskositas yang lebih baik dibandingkan dengan pelumas semi sintetis dan mineral. Oli motul memiliki perubahan viskositas yang paling rendah yaitu 2,22 mPa.s/°C, sedangkan oli Yamalube Sport 2,26 mPa.s/°C dan oli Mesran memiliki perubahan viskositas yang paling tinggi yaitu 3,47 mPa.s/°C.

Tandhanu (2017) melakukan penelitian tentang karakteristik viskositas dan konduktivitas termal tiga produk minyak pelumas beserta pengaruhnya terhadap motor Honda Supra X 125 cc, penelitian ini menggunakan oli MPX 2, oli BM 1, dan oli Motul 3100 pada pengujian viskositas dilakukan pada variasi temperatur

kamar, 30°C, 40°C, 50°C, dan 60°C. Pada pengujian viskositas menggunakan alat viskometer NDJ 8S. Kemudian untuk pengujian konduktivitas termal dilakukan pada 5 variasi tegangan dan arus yang mengalir ke *heater* yaitu posisi 1, posisi 2, posisi 3, posisi 4, dan posisi 5. Alat yang digunakan untuk pengujian konduktivitas termal adalah *Thermal Conductivity of Liquid and Gass Unit*. Pada pengujian torsi dan daya dilakukan di *Mototech* sedangkan konsumsi bahan bakar dilakukan di Stadion Sultan Agung Bantul dengan rute sepanjang ± 4 km dengan kecepatan ± 40 km/jam, menggunakan bahan bakar pertalite. Dari hasil pengujian ditunjukkan viskositas oli MPX 2 paling rendah dan konduktivitas termal oli BM 1 paling tinggi. Daya maksimum diperoleh oli BM 1 dengan besar 8,3 HP pada torsi 10,61 N.m dengan konsumsi bahan bakar 1 liter sejauh 53,91 km dan daya terendah diperoleh oli MPX 2 dengan besar 7,2 HP pada torsi 8,87 N.m dengan konsumsi bahan bakar 1 liter sejauh 50,13 km. Dapat disimpulkan dari data yang diperoleh bahwa oli MPX 2, oli BM 1, dan Motul 3100 memiliki karakteristik yang bervariasi.

Apriyanto (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh karakteristik viskositas dan konduktivitas termal beberapa jenis minyak pelumas terhadap temperatur mesin dan kinerja motor Yamaha Vixion 150 cc tahun 2012, penelitian ini menggunakan metode berupa pengukuran konduktivitas termal, viskositas, torsi, daya, konsumsi bahan bakar, dan temperatur mesin. Dengan menggunakan oli jenis mineral Evalube Runner SAE 10W-40, semi sintetis Yamalube Gold SAE 10W-40, dan jenis full sintetis Fedral Racing SAE 10W-40. Bahan bakar yang digunakan adalah Pertamina RON 92 dengan menempuh jarak 4 km pada kecepatan 40-45 km/jam. Dari hasil penelitian ini didapatkan viskositas oli Evalube Runner paling tinggi sedangkan konduktivitas oli Fedral Racing paling tinggi. Daya maksimum oli Fedral Racing sebesar 15 HP, oli Evalube Runner sebesar 14,8 HP, dan Yamalube 14,9 HP. Torsi maksimum oli Fedral Racing sebesar 13,2 N.m, oli Evalube Runner sebesar 13,16 N.m dan oli Yamalube Gold sebesar 13,31 N.m. Konsumsi bahan bakar oli Evalube Runner sejauh 41 km/liter dengan temperatur mesin 51,8°C dan oli Yamalube Gold sejauh 46,7 km/liter dengan temperatur 56,9°C. Dapat disimpulkan dari data yang didapatkan bahwa oli memiliki

karakteristik viskositas, konduktivitas termal, kinerja mesin, konsumsi bahan bakar dan temperatur yang berbeda.

Dari kedelapan referensi yang menjadi kajian pustaka, dua diantaranya meneliti tentang seberapa penting oli untuk kendaraan yang berperan dalam melumasi komponen-komponen kendaraan. Kemudian sisanya meneliti tentang pengaruh terhadap motor, dimana parameter yang diuji antara lain konduktivitas termal, viskositas, konsumsi bahan bakar, daya, torsi, dan salah satunya ditambah dengan pengukuran temperatur kerja. Dari semua parameter tersebut dilakukan analisis tentang hubungan antara parameter yang satu dengan lainnya tentunya dengan mengamati karakteristik tiap-tiap oli yang dilakukan pengujian.

Dari penelitian tentang minyak pelumas diatas diketahui bahwa untuk menguji kualitas suatu minyak pelumas yaitu dengan menguji kekentalannya (viskositasnya), konduktivitas termal, konsumsi bahan bakar, daya, torsi, dan temperatur kerjanya. Dari penelitian tersebut juga didapatkan bahwa minyak pelumas jenis sintetis saat ini merupakan jenis minyak pelumas yang paling baik diantara jenis lainnya (semi sintetis dan mineral).

2.2 Dasar Teori

Dalam dasar teori ini akan dibahas keterangan-keterangan yang menyangkut dari judul penelitian yang akan kami lakukan.

2.2.1 Pengertian Pelumas

Arisandi dkk (2012) pelumas/oli yaitu zat kimia yang umumnya berjenis cairan yang diberikan diantara dua benda atau lebih yang bersinggungan tujuannya untuk mengurangi gesekan yang berlebihan. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105-135 derajat celcius, umumnya unsur pelumas terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat tambahan. Oli biasanya didapat dari pengolahan minyak bumi melalui proses destilasi bertingkat berdasarkan titik didihnya. Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA's), proses pembuatan oli ada beberapa tahap, yaitu :

- a. Destilasi
- b. *Deasphalting* bertujuan untuk menghilangkan kandungan aspal pada oli.
- c. Hidrogenasi untuk menaikkan kualitas viskositas.
- d. Pencampuran katalis untuk menghilangkan kandungan lilin dan menaikkan temperatur pelumas.
- e. *Clay or Hydrogen finishing* untuk meningkatkan warna, stabilitas terhadap perubahan temperatur dan kualitas oli pelumas (Raharjo, 2010).

2.2.1.1 Tugas Pokok Pelumas

Pada dasarnya yang menjadi tugas pokok pelumas adalah mencegah atau mengurangi keausan sebagai akibat dari kontak langsung antara permukaan logam yang satu dengan permukaan logam lain yang terus menerus bergerak. Selain keausan dapat dikurangi, permukaan logam yang terlumasi akan mencegah berkurangnya tenaga yang diperlukan akibat terserap gesekan, dan panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan berkurang.

2.2.1.2 Tugas Tambahan Pelumas

Selain mempunyai tugas pokok, pelumas juga berfungsi sebagai penghantar panas. Pada mesin-mesin dengan kecepatan putaran tinggi, panas akan timbul pada bantalan-bantalan sebagai akibat dari adanya gesekan yang banyak. Dalam hal ini pelumas berfungsi sebagai penghantar panas dari bantalan untuk mencegah peningkatan temperatur atau suhu mesin.

Suhu yang tinggi akan merusak daya lumas. Apabila daya lumas berkurang, maka gesekan akan bertambah dan selanjutnya panas yang timbul akan semakin banyak sehingga suhu terus bertambah. Akibatnya pada bantalan-bantalan tersebut akan terjadi kemacetan yang secara otomatis mesin akan berhenti secara mendadak. Oleh karena itu, mesin-mesin dengan kecepatan tinggi digunakan pelumas yang titik cairnya tinggi, sehingga walaupun pada suhu yang tinggi pelumas tersebut tetap stabil dan dapat melakukan pelumasan dengan baik.

2.2.1.3 Jenis-Jenis Oli

a. Oli Mineral

Oli Mineral terbuat dari bahan dasar (*base oil*) yang diambil dari minyak bumi yang telah diolah dan disempurnakan kemudian ditambahkan dengan zat-zat aditif untuk meningkatkan kemampuan dan fungsinya. Pada mesin berteknologi lama atau keluaran lama yang sudah memiliki celah antar komponen mesin lebih renggang, maka lebih disarankan untuk menggunakan oli jenis mineral. Beberapa ahli/pakar mesin memberikan saran apabila menggunakan oli mineral selama bertahun-tahun maka jangan langsung menggantinya dengan oli sintetis karena oli sintetis umumnya mengikis sisa komponen dan peertikel yang ditinggalkan oli mineral sehingga sisa partikel tersebut terangkat dan mengalir ke celah-celah mesin sehingga dapat mengganggu performa mesin (Sumber : Wikipedia.org).

b. Oli *Synthetic*

Oli *Synthetic* merupakan hasil campuran dari *Poly Alpha Olefin* dengan oli mineral. Pada dasarnya, oli sintetis didesain untuk menghasilkan kinerja yang lebih efektif dibandingkan dengan oli mineral. Oli *Synthetic* lebih direkomendasikan untuk mesin teknologi baru seperti mesin turbo, *supercharge*, DOHC (*Double Over Head Camshaft*) dimana mesin tersebut membutuhkan pelumasan lebih baik karena celah komponen mesin lebih kecil (Sumber : Wikipedia.org).

c. Oli Semi *Synthetic*

Synthetic Blend Oil atau oli *Semi Synthetic* yang merupakan oli dengan campuran antara oli mineral dan oli sintetis. Kadar oli sintetis yang terdapat pada oli ini antara 10% hingga 25%. Kelebihan dari oli semi sintetis ini adalah harganya yang relatif lebih murah dari pada oli sintetis dan kualitasnya juga lebih baik dari pada oli mineral. Untuk oli *Semi Synthetic* sendiri penggunaannya berada diantara oli mineral dan *Synthetic* (Sumber : Otorider.net).

2.2.1.4 Penggunaan Pelumas

Untuk memperoleh hasil yang maksimal atau memuaskan di dalam sistem pelumasan ini maka mutlak diperlukan adanya selektifitas penggunaan pelumas itu sendiri, yaitu menentukan jenis pelumas yang tepat untuk mesin dan peralatan yang akan dilumasi. Hal ini untuk mencegah salah pilih dari pelumas yang akan dipakai yang dapat berakibat fatal.

1. Hal hal yang perlu diperhatikan :

a. Rekomendasi pabrik pembuat mesin

Biasanya pabrik pembuat mesin seperti pabrik kendaraan bermotor dan pabrik mesin-mesin industri memberi petunjuk jenis pelumas yang direkomendasikan untuk digunakan. Petunjuk ini sangat terperinci sedemikian rupa bagi pelumasan masing-masing bagian dalam jangka waktu tertentu.

b. Bahan bakar yang digunakan

Dalam hal ini yang perlu diperhatikan adalah bahwa pelumasan untuk mesin dengan bahan bakar bensin berbeda dengan pelumasan untuk mesin berbahan bakar solar atau gas. Apabila tidak ada ketentuan ukuran atau aturan penggunaan pelumas oleh pembuat mesin, maka anjuran dalam penggunaan pelumas biasanya dilaksanakan oleh para teknisi pabrik dengan melihat pada :

- Data teknis dari mesin
- Pengetahuan tentang pelumasan dari para teknisi
- Pengalaman dari para teknisi

c. Perkembangan teknis pelumas

Hasil kemajuan yang dicapai di bidang pelumas ini, pada dasarnya adalah hasil kerjasama antara pabrik pembuat mesin, pembuat pelumas, dan pembuat bahan tambahan (additif). Walaupun terdapat beragam pelumas berkualitas tinggi, namun pada intinya yang menentukan mutu dan daya guna suatu pelumas terdiri dari 3 faktor :

1. Bahan dasar minyak pelumas (*based oil*).
2. Teknik dan pengolahan bahan dasar dalam pembuatan pelumas.
3. Bahan bahan additif yang digunakan atau dicampurkan kedalam bahan dasar untuk mengembangkan sifat tertentu guna tujuan tertentu.

Sebenarnya *base oil* mempunyai segala kemampuan dasar yang dibutuhkan dalam pelumasan. Tanpa aditifpun, sebenarnya minyak dasar sudah mampu menjalankan tugas-tugas pelumasan. Namun unjuk kerjanya belum begitu sempurna dan tidak dapat digunakan dalam waktu lama.

2.2.1.5 Analisa Minyak Pelumas

Analisa yang dilakukan pada sampel minyak pelumas yaitu dengan cara sebagai berikut:

- a. Nilai Viskositas adalah sifat yang paling penting dari minyak pelumas. Viskositas rendah akan mengurangi kekuatan film pelumas, melemahnya kemampuan pelumas untuk mencegah gesekan yang terjadi antara komponen yang bergesekan. Viskositas tinggi dapat menghambat aliran minyak pelumas untuk melumasi bagian yang sempit dalam komponen mesin.
- b. Kontaminasi antara pelumas dengan air/*coolant* dapat menyebabkan masalah besar pada sistem pelumasan.
- c. Pengenceran karena BBM. Pengenceran pelumas di dalam mesin akan melemahkan kekuatan film suatu pelumas dan deterjen. Hal tersebut dapat disebabkan oleh operasi pelumas yang tidak benar, kebocoran pada sistem bahan bakar, masalah pengapian tidak tepat waktu, atau kekurangan lainnya.
- d. Padatan konten adalah padatan yang ada pada sistem pelumas yang dapat secara langsung meningkatkan keausan pada bagian yang dilumasi.

- e. Jelaga BBM merupakan indikator yang dapat digunakan untuk menganalisa minyak pelumas pada mesin berbahan bakar minyak. Jelaga bahan bakar selalu ada dalam proses pembakaran.
- f. Oksidasi pelumas dapat menyebabkan endapan, korosi logam, atau penebalan minyak pelumas.
- g. Nitrase. Bahan bakar pembakaran di mesin hasil dari nitrase. Produk yang terbentuk sangat asam dan dapat meninggalkan endapan di daerah pembakaran.
- h. *Total Acid Number* adalah ukuran dari jumlah asam atau *acidlike* materi dalam sampel minyak.
- i. *Total Base Number* adalah kemampuan suatu minyak untuk menetralkan keasaman. Semakin tinggi nilai TBN (*Total Base Number*), maka akan semakin besar kemampuannya untuk menetralkan keasaman.
- j. Kandungan partikel merupakan analisis penghitungan partikel yang menjadi bagian dari analisis minyak pelumas. Dalam tes ini, jumlah partikel yang tinggi mengindikasikan bahwa suatu mesin dengan pemakaian yang normal (Moblely, 2008).

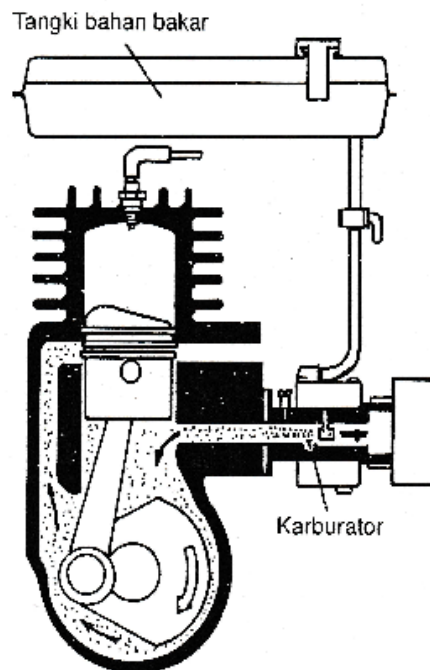
2.2.1.6 Jenis-Jenis Pelumasan

Daryanto (2004) ada tiga macam sistem pelumasan, yaitu

- a. Bentuk kabut

Sistem pelumasan kabut ini dipakai pada mesin dua langkah, yaitu:

1. Mesin pemotong rumput



Gambar 2.2 Pelumasan campur bahan bakar (Daryanto, 2004)

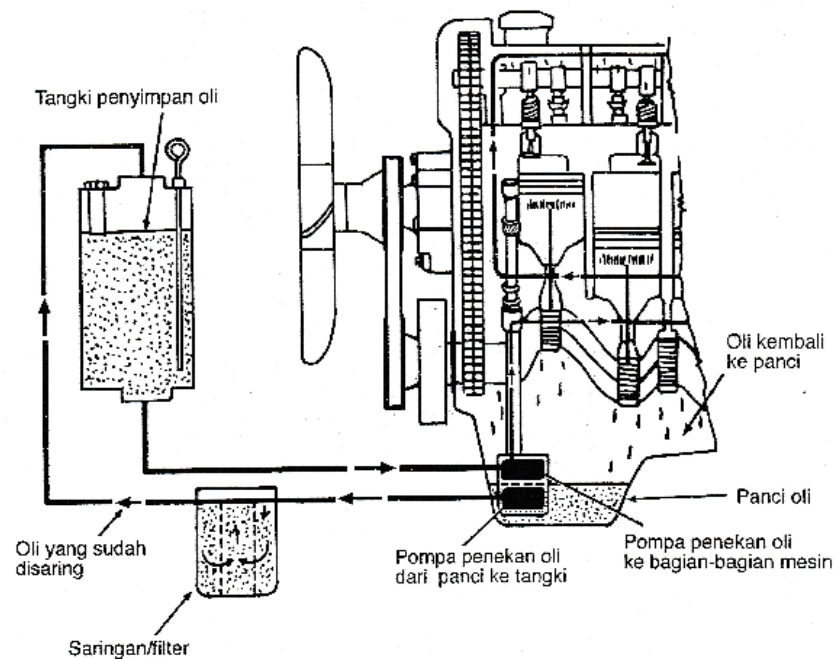
2. Sepeda motor.
3. Kapal boat.
4. Generator dan kompresor.

Pelumasan kabut merupakan pelumasan yang dimana suatu minyak pelumas tersebut dicampurkan terhadap bensin dengan perbandingan tertentu dan dimasukkan ke dalam tangki bensin. Campuran bensin dan oli ini dimasukkan melalui karburator ke dalam ruang pemutar mesin dalam bentuk kabut sehingga oli tersebut dapat memberi pelumasan kepada mesin-mesin yang berputar akibat pembakaran. Cara lainnya ialah memakai pompa oli yang menekan oli ke dalam aliran udara. Jumlah oli yang dimasukkan/diinjeksikan itu dikontrol oleh katup.

b. Bentuk kering

Sistem pelumasan kering jarang digunakan pada kendaraan bermotor, tetapi beberapa kendaraan besar seperti truk masih menggunakan pelumasan bentuk kering. Pelumasan kering banyak digunakan pada :

1. Sepeda Motor
2. Traktor penggali tanah
3. Mesin-mesin tak bergerak (*stationer*), contohnya generator.

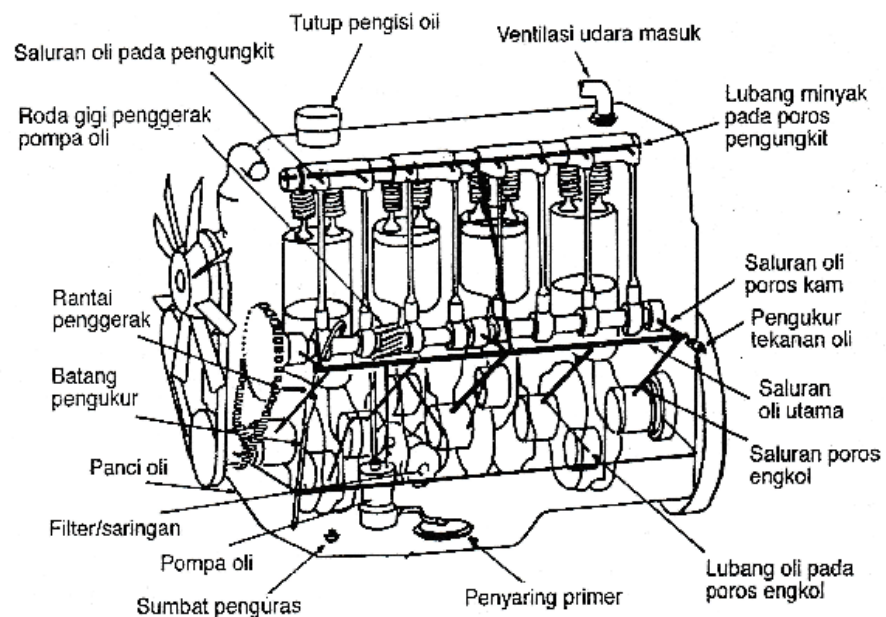


Gambar 2.3 Sistem pelumasan tipe kering (Daryanto, 2004)

Pelumas tersebut ditempatkan pada tangki atau tempat pelumas yang berada di luar mesin. Kemudian pelumas tersebut dialirkan dengan tekanan pompa dan dialirkan kebagian-bagian mesin yang bergerak melalui pipa atau alur-alur yang terdapat di dalam blok mesin. Setelah seluruh komponen diberi pelumas, oli tersebut akan jatuh ke tempat penampungan oli di bagian bawah sebuah pompa atau gayung tempat oli itu dinaikkan lagi ke panci untuk kemudian dialirkan lagi seperti tadi (bersirkulasi).

c. Bentuk basah

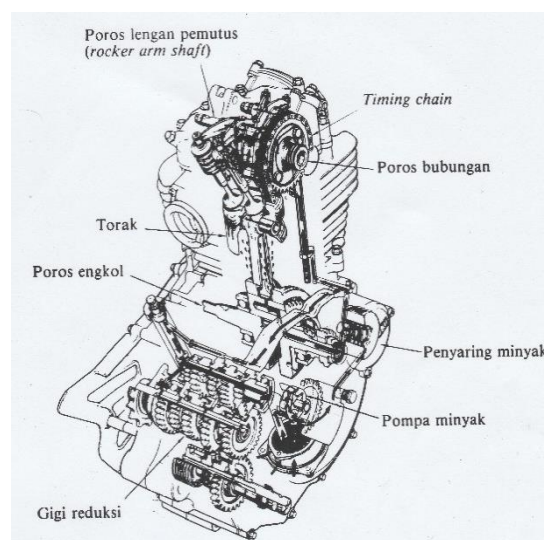
Sistem ini sering digunakan pada kendaraan bermotor dan mobil-mobil modern. Pelumas tersebut ditempatkan pada tangki oli yang terdapat di bagian bawah dari ruang mesin penggerak (poros engkol). Kemudian pelumas dialirkan ke bagian mesin yang bergerak dengan kombinasi dari penyemprotan dan tekanan. Waktu poros engkol dari mesin itu berputar, ujung dari poros batang torak tercelup oli yang terdapat di dasar ruang mesin dan menyiramkan oli ke seluruh komponen yang terdapat di dalam mesin. Terkadang pada ujung dari poros batang torak terdapat penggaruk oli yang berfungsi membantu pengambilan oli. Jika putaran mesin meningkat tinggi maka oli berubah menjadi kabut lembut sehingga oli tersebut bisa masuk ke bagian bawah mesin.



Gambar 2.4 Sistem pelumasan basah (Daryanto, 2004)

d. Sistem Pelumasan Motor 4 Langkah

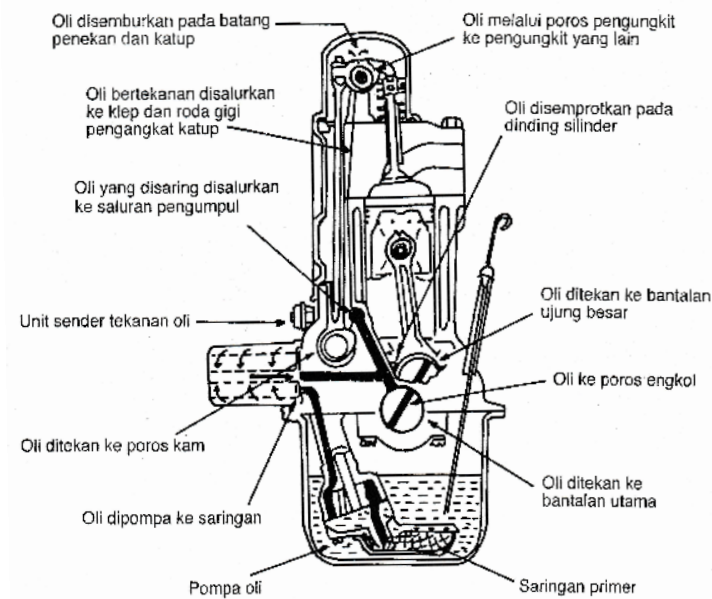
Daryanto (2004) menyatakan bahwa minyak pelumas motor ini di simpan pada tangki oli dan mengalirkannya ke bagian yang berputar di dalam mesin motor dengan menggunakan pompa oli. Saluran dan sistem pengaliran minyak pada motor satu tidak sama dengan motor yang lain tetapi umumnya seperti terlihat pada gambar dibawah ini dengan menggunakan 3 cara.:



Gambar 2.5 Sistem pelumasan motor 4-langkah (Dayanto, 2004)

- a. Pelumas mengalir melalui bantalan utama dari poros engkol menuju ke kepala batang torak dan dari sini pelumas tersebut disemprotkan untuk melumasi torak dan *silinder head*.
- b. Pelumas dialirkan melalui saluran yang terdapat di dalam silinder kemudian melalui poros penghubung dan kemudian pelumas tersebut disemprotkan untuk melumasi lengan pemutus dan porosnya.
- c. Pelumasnya dipompakan oleh kedua poros yang terdapat pada rumah transmisi dan kemudian setelah pelumas tersebut melumasi roda gigi, pelumas tersebut mengalir kembali melalui celah antar poros yang pada akhirnya melumasi kopling.

Panci oli merupakan reservoir untuk oli/minyak pelumas. Isinya diukur dengan jumlah oli menggunakan batang pengukur yang terdapat pada bagian samping mesin yang harus mencukupi pada saringan *pick up* yang terdapat di bagian bawah mesin sesuai dengan pengoperasian yang normal.



Gambar 2.6 Sistem pelumasan (Daryanto, 2004)

2.2.2 Kekentalan (viskositas)

Silaban (2011) Viskositas/kekentalan merupakan sifat terpenting dari minyak pelumas/oli, yang merupakan ukuran yang menunjukkan tahanan minyak/oli terhadap suatu aliran. Pelumas dengan viskositas tinggi adalah kental, berat dan memiliki kemampu aliran yang rendah. Viskositas tinggi mempunyai tahanan yang tinggi terhadap gerakannya sendiri serta lebih banyak gesekan di dalam dari molekul-molekul pelumas yang saling meluncur satu diatas yang lain. Jika digunakan pada bagian-bagian mesin yang bergerak, pelumas dengan kekekentalan tinggi kurang cocok karena tahanannya terhadap gerakan rendah. Keuntungannya adalah dihasilkan lapisan pelumas yang tebal selama penggunaan sehingga mesin cenderung lebih dingin. Pelumas dengan kekentalan rendah mempunyai gesekan didalam dan tahanan yang kecil

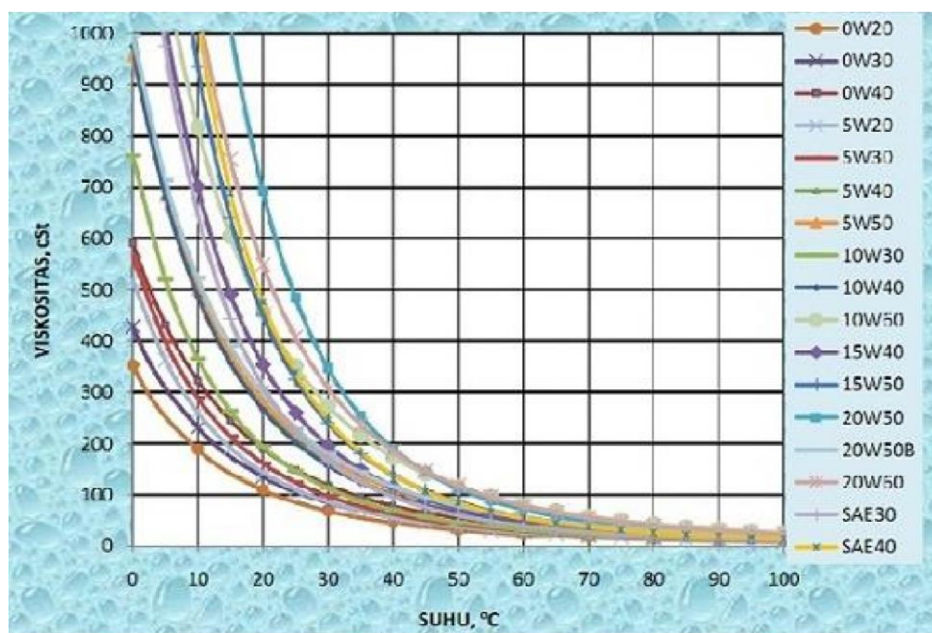
terhadap aliran. Suatu pelumas dengan kekentalan rendah mengalir lebih tipis. Pelumas ini dipergunakan pada bagian peralatan yang mempunyai kecepatan tinggi dimana permukaannya perlu saling berdekatan seperti pada bantalan turbin.

Kekentalan dapat dinyatakan sebagai tahanan aliran fluida yang merupakan gesekan antara molekul–molekul cairan satu dengan yang lain. Suatu jenis cairan yang mudah mengalir, dapat dikatakan memiliki kekentalan yang rendah, dan sebaliknya bahan–bahan yang sulit mengalir dikatakan memiliki kekentalan yang tinggi. Pelumas cenderung menjadi encer dan mudah mengalir ketika panas dan cenderung menjadi kental dan tidak mudah mengalir ketika dingin. Ada tingkatan permulaan kental dan ada yang dibuat encer (tingkat kekentalannya rendah). Suatu badan internasional SAE (*Society of Automotive Engineers*) yang khusus membidangi pelumas dalam menyatakan standar kekentalan dengan awalan SAE didepan indek kekentalan, umumnya menentukan temperatur yang sesuai dimana pelumas tersebut dapat digunakan. Selanjutnya angka yang mengikuti dibelakangnya, menunjukkan tingkat kekentalan pelumas tersebut. Parameter ini biasanya sudah tercantum pada masing-masing kemasan oli dengan kode SAE, Angka yang mengikuti di belakangnya, menunjukkan tingkat kekentalan oli tersebut. SAE 40 atau SAE 10W-50, semakin besar angka yang mengikuti kode oli menandakan semakin kentalnya oli tersebut. Huruf W (*Winter*) untuk SAE 10W-50, berarti pelumas tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 10 untuk kondisi suhu dingin dan SAE 50 pada kondisi suhu panas (Nugroho dan Sunarno, 2012).

Arnoldi (2009) SAE 10W-50, berarti oli tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 10 untuk kondisi suhu dingin dan SAE 50 pada kondisi suhu panas. Dengan kondisi seperti ini, oli akan memberikan perlindungan optimal saat mesin start pada kondisi ekstrim sekalipun. Sementara itu dalam kondisi panas normal, idealnya oli akan bekerja pada kisaran angka kekentalan 40-50 menurut standar SAE.

Sebagai contoh dibawah ini adalah tipe viskositas dan *ambient* temperatur dalam derajat celcius yang bisa digunakan sebagai standar oli di berbagai kawasan:

- a. 5W-30 untuk negara dingin seperti di Swedia,
- b. 10W-30 untuk iklim sedang seperti di kawasan Inggris,
- c. 15W-30 untuk iklim panas seperti di indonesia.



Gambar 2.7 Grafik viskositas oli mesin terhadap suhu (Fuad, 2011)

2.2.2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Viskositas

Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut (Bird, 1987):

- a. Tekanan

Viskositas cairan naik dengan naiknya tekanan, sedangkan viskositas gas tidak terpengaruh oleh tekanan.

- b. Temperatur

Viskositas cair akan turun dengan naiknya suhu, sedangkan viskositas gas naik dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya memperoleh energi. Molekul-molekul cairan bergerak

sehingga gaya interaksi antar molekul melemah. Dengan demikian viskositas cairan akan turun dengan kenaikan temperatur.

c. Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu meningkatkan viskositas air, adanya bahan tambahan seperti bahan suspensi menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun *gliserin* adanya penambahan air akan menyebabkan viskositas turun karena *gliserin* maupun minyak akan semakin encer, waktu alirannya semakin cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

Viskositas naik dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, larutan minyak laju aliran lambat dan kekentalannya tinggi serta laju aliran lambat sehingga viskositasnya juga tinggi.

e. Berat molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap semakin banyak.

f. Kekuatan antar molekul

Viskositas air naik dengan adanya ikatan hidrogen.

g. Konsentrasi larutan

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

2.2.2.2 Alat Ukur Viskositas

Viskometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur viskositas atau kekentalan suatu larutan. Kebanyakan viskometer mengukur kecepatan dari suatu cairan mengalir melalui pipa gelas (gelas kapiler), bila cairan itu mengalir cepat maka viskositas cairan itu rendah seperti air dan bila cairan itu mengalir lambat maka dikatakan viskositasnya tinggi seperti madu. Viskositas dapat diukur dengan laju aliran cairan yang melalui lubang berbentuk silinder. Ini merupakan salah

satu cara yang paling mudah dan dapat digunakan baik untuk cairan maupun gas. Ada 3 tipe viskometer yang biasa digunakan antara lain:

1. *Viscometer Hoppler*

Pada *viscometer hoppler* yang diukur adalah waktu yang diperlukan oleh sebuah bola untuk melewati cairan pada jarak untuk tinggi tertentu. Karena adanya gravitasi benda yang jatuh melalui medium yang berviskositas dengan kecepatan yang semakin besar sampai mencapai kecepatan maksimum.

Kecepatan maksimum akan dicapai jika gravitasi (g) sama dengan tahanan medium (1) besarnya gaya tahanan *frictional restitence* untuk benda yang berbentuk bola stokes.

2. *Viskometer Cone and Plate*

Viskometer *cone and plate* adalah alat ukur kekentalan yang memberikan peneliti suatu instrumen yang canggih untuk menentukan secara rutin viskositas absolut cairan dalam volume sampel kecil.

Cara pemakaiannya adalah sampel ditempatkan ditengah-tengah papan, kemudin dinaikkan hingga posisi bawah kerucut. Kerucut digerakkan oleh motor dengan bermacam kecepatan dan sampelnya digeser dalam ruang sempit antara papan yang diam dan kemudian kerucut yang berputar.

Ada beberapa yang mempengaruhi akurasi dari alat ini, misalnya:

1. Dipakai pada *cone and plate*
2. Ukuran sampel
3. Waktu yang dibutuhkan untuk memungkinkan sampel untuk menstabilkan pada plat sebelum terbaca.
4. Kebersihan kerucut dan plat
5. Jenis bahan, tinggi atau rendah viskositas, ukuran prtikel
6. Tipe *cone*, *cone* rentang yang lebih rendah memberikan akurasi yang lebih tinggi
7. *Shear rate* ditempatkan untuk sampel

Prosedur kalibrasi untuk viskometer *cone/plate*:

1. Atur jarak antara *cone spindle* dengan *plate* sesuai dengan *instruction Manual*
2. Pilih *viscosity standard* yang akan memberikan nilai pembacaan antar 10% hingga 100% dari *Full Scale Range (FSR)*. Sebaiknya pilih *standard* dengan nilai mendekati 100% FSR.
3. Masukkan sampel ke dalam *cup* dan biarkan selama 15 menit untuk mencapai suhu *setting*
4. Lakukan pengukuran dan catat hasilnya baik % *torque* dan cP.

Catatan:

- a. *Spindle* harus berputar minimum 5 putaran sebelum pengukuran diambil.
- b. Penggunaan *standard* pada rentang 5 cP s.d 5000 cP dianjurkan untuk *instrument cone/plate*. Jangan gunakan *viscosity standard* diatas 5000 cP.

FSR adalah nilai maksimum yang mampu diukur oleh alat dengan kombinasi setting Spindle dan kecepatan putar *spindle* yang kita tetapkan. Sedangkan toleransi dari cairan standar adalah 1% dari nilai *viscosity* cairan yang bersangkutan (Moechtar, 1990).

3. Viskometer *Cup and Bob*

Prinsip kerjanya sampel digeser dalam ruangan antara dinding luar dari *bob* dan dinding dalam dari *cup* dimana *bob* masuk persis ditengah-tengah. Kelemahan viskometer ini adalah terjadinya aliran sumbat yang disebabkan gesekan tinggi disepanjang keliling bagian *tube* sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi. Penurunan konsentrasi ini menyebabkan bagian tengah zat yang ditekan keluar memadat. Hal ini disebut aliran sumbat (Moechtar, 1990).

Dalam viskometer ini sampel dimasukkan dalam ruang antara dinding luar bob/motor dan dinding dalam mangkuk cup yang pas dengan rotor tersebut. Berbagai alat yang tersedia berbeda dalam hal

bagian yang berputar, ada alat dimana yang berputar adalah rotornya, ada juga bagian mangkuknya yang berputar.

4. Viskometer *Ostwald*

Digunakan untuk menentukan laju aliran kuat kapiler. Pada viskositas *Ostwald* yang diukur adalah waktu yang diperlukan oleh sejumlah cairan tertentu untuk mengalir melalui pipa kapiler dengan gaya yang disebabkan oleh berat cairan itu sendiri.

2.2.3 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah ilmu untuk mempelajari perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material, dan menunjukkan baik buruknya suatu material. Material yang dapat menghantarkan panas dengan baik disebut konduktor sedangkan penghantar yang kurang baik disebut isolator. Dalam proses perpindahan kalor tersebut terdapat kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan kalor. Bila dalam suatu sistem perpindahan panas terdapat gradien suhu, atau apabila terdapat dua sistem yang suhunya berbeda dan saling bersinggungan, maka akan terjadi perpindahan panas (*Heat transfer*).

Tabel 2.1 Konduktivitas Termal (Holman, 1993)

Zat Cair	W/m. °C	Btu/h. ft. °F
Air raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
<i>Amonia</i>	0,540	0,312
Minyak lumas, SAE 50	0,147	0,085
<i>Freon 12, 22FCCI</i>	0,073	0,042

Terdapat tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. (Holman, 1993)

Berikut adalah metoda perpindahan panas yang terjadi :

a. Perpindahan Panas Konduksi

Holman (1993) menyatakan apabila suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), akan terjadi perpindahan energi dari suhu tinggi menuju suhu rendah. Maka energi akan berpindah secara konduksi atau hantaran dan laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan gradient suhu normal. Berdasarkan daya hantarnya, perpindahan kalor konduksi memiliki dua zat yaitu:

- Konduktor yaitu zat yang mudah menghantarkan kalor

Contoh : Aluminium

- Isolator yaitu zat yang sulit menghantarkan kalor

Contoh : Kayu

b. Perpindahan Panas Konveksi

Holman (1993) menyatakan bahwa suatu plat logam panas akan menjadi lebih cepat dingin apabila diletakan di depan kipas angin dibandingkan dengan di letakan dan terkena udara bebas. Karena kalor tersebut dikonveksi ke luar dan proses tersebut dinamakan proses perpindahan kalor secara konveksi. Perpindahan kalor konveksi dibagi menjadi 2, yaitu :

- Konveksi Alami

Proses perpindahan kalor melalui zat yang disertai dengan perpindahan partikel zat akibat perbedaan massa jenis. Contoh : Pemanasan Air

- Konveksi Paksa

Proses perpindahan kalor melalui zat yang disertai dengan perpindahan partikel zat akibat suhu tinggi. Contoh : Pendinginan Mesin Mobil.

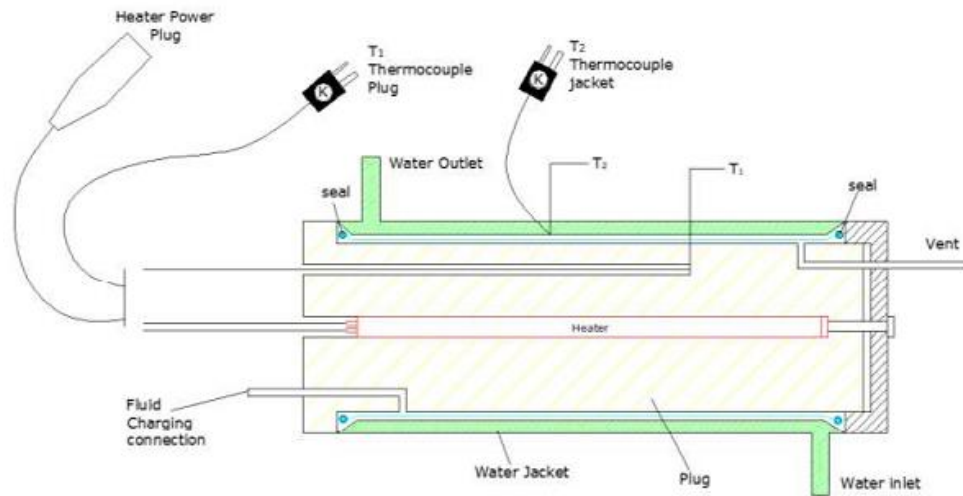
c. Perpindahan Panas Radiasi

Proses perpindahan panas yang mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah apabila benda tersebut terpisah di dalam ruangan dan terdapat ruang hampa antara benda-benda tersebut. Holman (1993) menyatakan bahwa konduksi dan konveksi terjadi di mana terjadi

perpindahan melalui bahan perantara, kalor tersebut juga dapat berpindah melalui ruang hampa. Mekanismenya di sini adalah radiasi elektromagnetik.

2.2.3.1 Pengukuran Konduktivitas Termal

Pengukuran konduktivitas dapat dilakukan dengan metode *steady state cylindrical cell*. Dasar dari pengukuran konduktivitas termal efektif ini berdasarkan pada perbedaan temperatur dari sampel fluida dalam sebuah ruang sempit berbentuk annular (*radial clearance*). Sampel fluida yang konduktivitas termal efektifnya akan diukur harus mengisi ruang kecil di antara sebuah *plug* yang dipanaskan dan sebuah selubung (*jacket*) yang didinginkan oleh air. *Plug* tersebut dipanaskan dengan menggunakan sebuah pemanas bernama *catridge* yang dihasilkan oleh daya yang dikendalikan melalui voltmeter dan ampermeter standar yang terpasang pada panel. *Plug* tersebut dibuat dari bahan alumunium untuk mengurangi konduktivitas termal dan variasi temperatur yang mengandung elemen pemanas berbentuk silinder yang resistensinya dalam suhu kerja (*working temperature*) dan dapat diukur dengan akurat. Ruang bebas tersebut cukup kecil untuk mencegah terjadinya konveksi secara alamiah (*natural convection*) dalam sampel fluida tersebut. Karena *radial clearance* yang relatif kecil, sampel fluida di dalam ruang tersebut dapat digambarkan sebagai lapisan tipis (*lamina*) dari area permukaan (*face area*) l dan ketebalan r terhadap perpindahan panas yang berasal dari *plug* menuju ke selubung (*jacket*). Perhitungan yang diperlukan untuk mengukur konduktivitas termal adalah temperatur *plug* (T_1) dan *jacket* (T_2) dengan menyesuaikan variabel *transformer* (Irawansyah dan Kamal, 2015).



Gambar 2.8 Skema alat konduktivitas termal (Santosa dan Nurcahyadi, 2016)

Persamaan untuk perhitungan konduktivitas termal sebagai berikut :

1. *Elemen Heat Input*

$$Q_e = V \cdot I \dots\dots\dots (2.8)$$

2. *Temperatur Different*

$$\Delta t = T_1 - T_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

3. *Conduction Heat Transfer Rate*

$$Q_c = Q_e - Q_i \dots\dots\dots (2.10)$$

4. *Thermal Conductivity*

$$K = \frac{Q_c \cdot \Delta r}{A \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

Δr = *Radial clearance*, jarak antara *plug* dan *jacket* 0,34 mm

T_1 = *Temperatur Plug* ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = *Temperatur Jacket* ($^{\circ}\text{C}$)

V = *Voltage* (V)

I = *Current* (A)

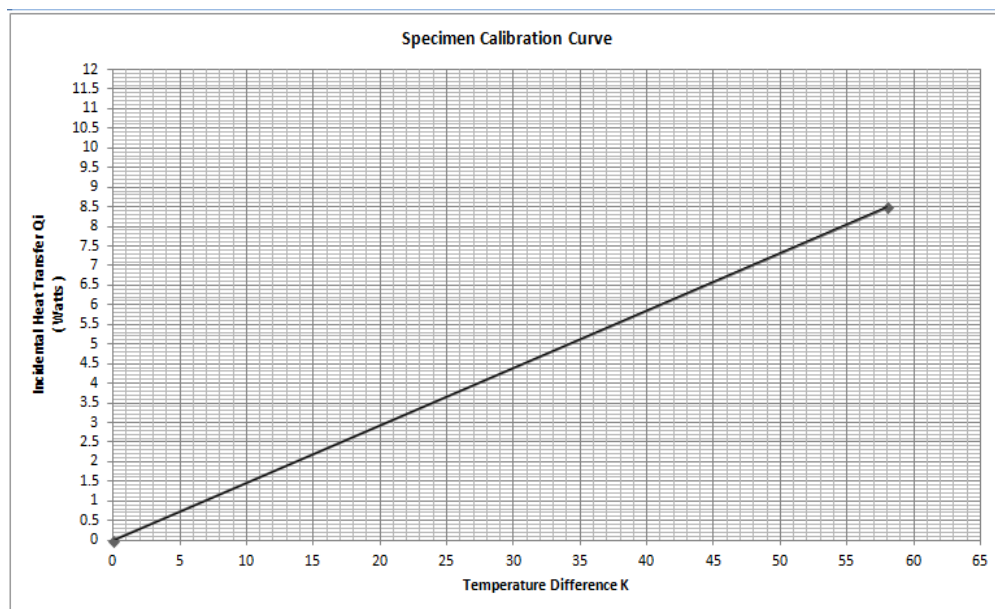
Q_e = *Element Heat Input* (W)

Δt = *Temperatur Different* (K)

Q_i = *Incidental heat transfer rate* (W)

Q_c = *Conduction heat transfer rate* (W)

- A = Luas efektif antara *plug* dan *jacket* 0,0133 m²
 K = *Thermal conductivity* (W/m.K)



Gambar 2.9 Grafik kalibrasi Q_i (Santosa dan Nurcahyadi, 2016)

2.2.4 Dinamometer

Dinamometer atau *dyno test*, adalah sebuah alat yang juga digunakan untuk mengukur putaran mesin (rpm) dan torsi dimana tenaga/daya yang dihasilkan dari suatu mesin atau alat yang berputar dapat dihitung.

2.2.4.1 Jenis Dinamometer

Suatu alat yang digunakan untuk mengukur tenaga atau daya yang dikeluarkan atau dihasilkan dari suatu mesin kendaraan bermotor. Dinamometer atau *dyno test*, adalah sebuah alat yang juga digunakan untuk mengukur putaran mesin/rpm dan torsi dimana tenaga/daya yang dihasilkan dari suatu mesin atau alat yang berputar dapat dihitung. Dinamometer menggunakan sensor untuk mengindikasikan kecepatan dan torsi. Untuk mengukur tenaga mesin secara langsung belum bisa digunakan. Dua metode yang bisa digunakan dalam industri mesin adalah:

1. Dinamometer mesin

Jika kita ingin mengetahui tenaga dari mesin, maka kita menggunakan *dynamometer* yang dikhususkan untuk mesin. Ini menyerupai pada manufaktur *output shaft* dari mesin kendaraan. Mesin diletakkan pada dudukan kemudian dihubungkan pada dinamometer, biasanya menggunakan *propeller shaft* (as kopel) yang dihubungkan pada bagian belakang dari poros engkol atau pada roda gila. Hasil dari power yang diukur dengan cara ini umumnya disebut sebagai *flywheel power*, dinamometer ini membutuhkan pengereman dimana digunakan untuk mengetahui torsi atau beban dari mesin tersebut. Pada saat mesin di tahap pada kecepatan tetap dengan beban yang diberikan oleh dinamometer kemudian torsi yang telah diberikan oleh dinamometer harus dengan tepat menyamakan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Dari sini kita akan mendapatkan grafik-grafik torsi dari keseluruhan putaran mesin.

2. Chasis Dinamometer

Rolling road dynamometer dipergunakan untuk mengukur daya *output* mesin dengan menguji kendaraan dalam bentuk seutuhnya, digunakan untuk mengetahui *performa output*, *effisiensi energy* maksimum dan tingkat kebisingan. Penggunaan *chasis dynamometer* kini digunakan oleh manufaktur otomotif terkemuka dunia. Bagaimanapun juga, hal ini berarti gambaran *power* yang terbentuk akan lebih rendah dibandingkan dengan *fly wheel power* karena adanya *frictional losses* pada transmisi dan ban.

2.2.5 Kerja Motor 4-Langkah

Proses kerja motor empat langkah diperoleh dalam empat langkah berturut-turut dalam dua putaran poros engkol. Untuk lebih jelasnya langkah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Langkah Hisap

Piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah), sekaligus menghisap campuran udara dan bahan bakar melalui lubang pemasukan. Pada saat ini katup masuk terbuka dan katup buang dalam keadaan tertutup.

2. Langkah Kompresi

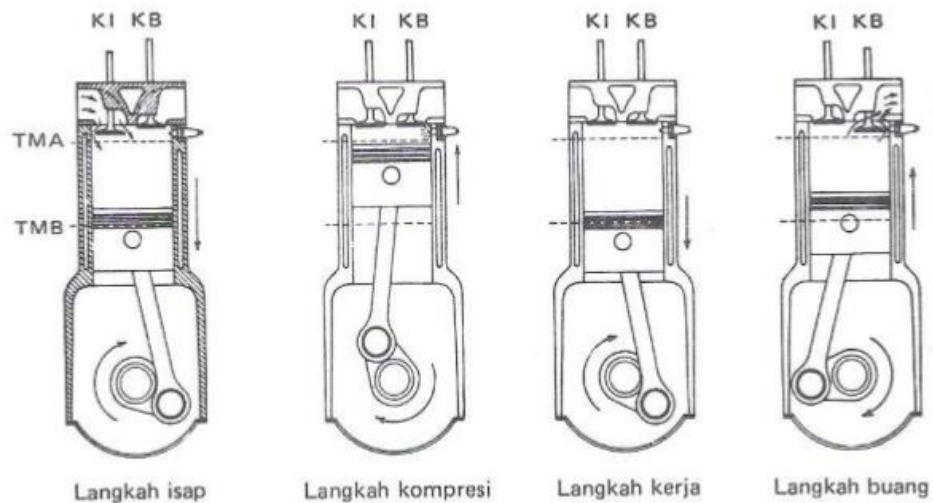
Pada langkah ini piston bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) ke TMA (Titik Mati Atas), menekan campuran bahan bakar dan udara yang menyebabkan peningkatan suhu dan tekanannya. Pada saat ini kedua katup dalam keadaan tertutup.

3. Langkah Kerja

Pada langkah akhir kompresi busi memercikkan bunga api sehingga campuran bahan bakar dan udara terbakar. Gas hasil pembakaran menghasilkan tekanan untuk mendorong torak ke bawah dari TMA ke TMB, selama langkah ini kedua katup masih dalam keadaan tertutup.

4. Langkah Buang

Gerakan torak bergerak dari TMB ke TMA untuk mendorong gas sisa ekspansi pembakaran dalam silinder. Selama langkah buang ini, katup buang saja yang terbuka. Bila torak mencapai TMA maka motor telah melakukan satu siklus kerja dan poros engkol berputar dua putaran. Proses kerja motor bensin empat langkah dapat dilihat pada diagram katup dan gambar di bawah ini :



Gambar 2.10 Siklus kerja motor bakar empat langkah (Arismunandar, 2002)

2.2.6 Torsi

Torsi adalah perkalian antara gaya dengan jarak. Selama proses usaha maka tekanan-tekanan yang terjadi di dalam silinder motor menimbulkan suatu gaya yang luar biasa kuatnya pada torak. Gaya tersebut dipindahkan kepada pena engkol melalui batang torak, dan mengakibatkan adanya momen putar atau torsi pada poros engkol. Untuk mengetahui besarnya torsi digunakan alat dynamometer.

Suatu dynamometer mengukur hasil motor pembakaran yang seimbang dengan hambatan atau beban pada kecepatan putaran konstan. Biasanya motor pembakaran ini dihubungkan dengan dynamometer dengan maksud mendapatkan keluaran dari motor pembakaran dengan cara menghubungkan poros motor pembakaran dengan poros dynamometer dengan menggunakan kopeling elastik.

Dengan demikian besarnya torsi tersebut adalah:

$$T = F.I = m.g.L \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

T = torsi (N.m)

m = massa yang diukur pada *dynamometer* (kg)

g = percepatan grafitasi (m/s^2)

L = panjang tuas pada *dynamometer* (m)

2.2.7 Daya

Daya mesin adalah besarnya kerja mesin selama waktu tertentu. Pada motor bakar daya yang berguna adalah daya poros, dikarenakan poros tersebut menggerakkan beban. Daya poros dibangkitkan oleh daya indikator, yang merupakan daya gas pembakaran yang menggerakkan torak selanjutnya menggerakkan semua mekanisme, sebagian daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, seperti pada torak dan dinding silinder dan gesekan antara poros dan bantalan. Prestasi motor bakar pertama-tama tergantung dari daya yang dapat ditimbulkannya. Gambar 2.8 memperlihatkan semakin tinggi frekuensi putar motor makin tinggi daya yang diberikan hal ini disebabkan oleh semakin besarnya frekuensi semakin banyak langkah kerja yang dialami pada waktu yang sama.

Tujuan utama dari penggunaan engine adalah daya. Daya didefinisikan sebagai laju kerja dan sama dengan perkalian antara gaya dengan kecepatan *linear* atau torsi dengan kecepatan *angular*. Sehingga dalam pengukuran daya melibatkan pengukuran daya atau torsi dan kecepatan. Pengukuran dilakukan menggunakan *dynamometer* dan *tachometer* atau alat lain dengan fungsi yang sama.

Daya (Bhp)= ditemukan pada persamaan (2.5):

$$P = \frac{2\pi \times n \times T}{60.000} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

P = Daya (kW)

n = Putran Mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

2.2.8 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar merupakan salah satu parameter prestasi yang penting di dalam suatu motor bakar. Parameter ini biasa dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar yang terpakai per jam untuk setiap daya kuda yang dihasilkan.

$$M_f = \frac{s}{v} \text{ (km/liter)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Mf = Konsumsi bahan bakar (km/liter)

s = Jarak tempuh (km)

v = Volume bahan bakar (liter)