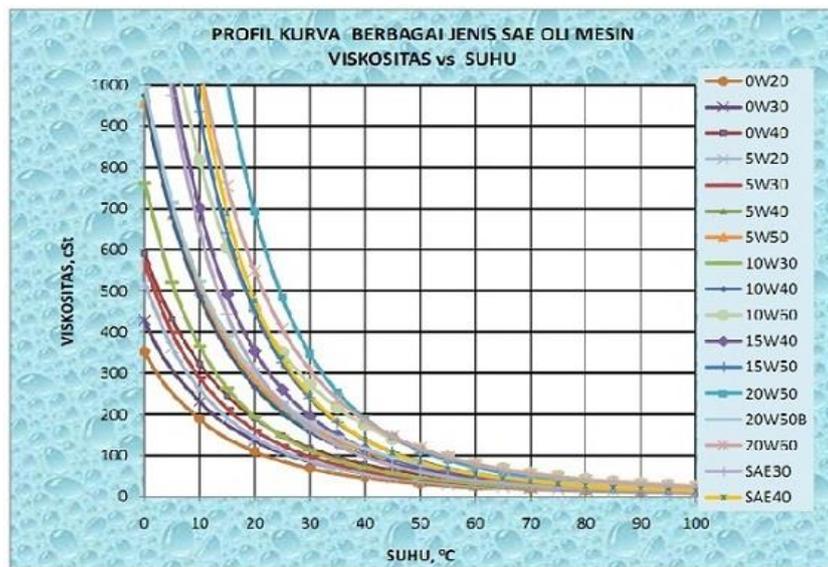


## BAB II DASAR TEORI

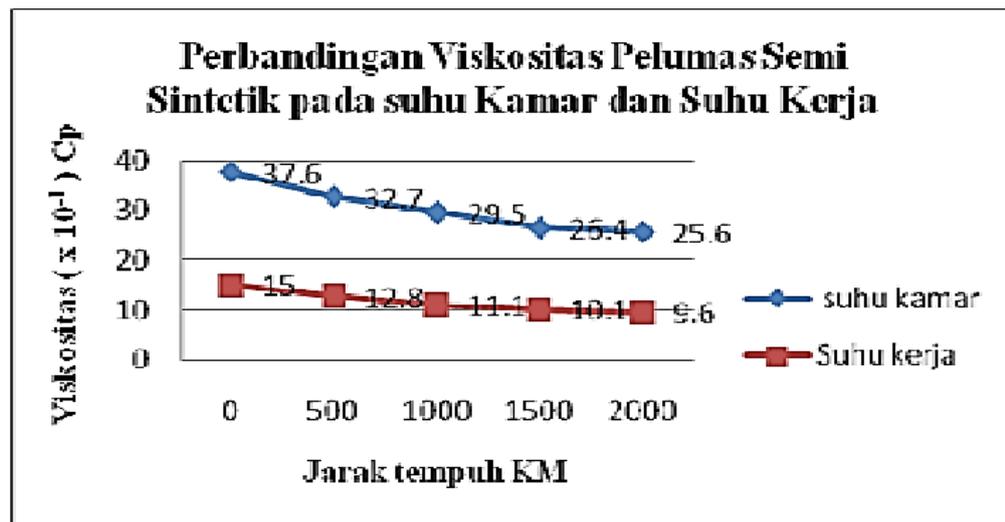
### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini membahas tentang pengaruh karakteristik dari sampel oli yang diuji beserta pengaruhnya terhadap kinerja sepeda motor. Untuk mendukung penelitian ini maka dibutuhkan beberapa penelitian terdahulu. Adapun penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini akan dijelaskan pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Kurva Viskositas Oli Mesin terhadap Suhu (M. Fuad,2011).

Gambar 2.1. menjelaskan profil kurva setiap jenis SAE oli mesin, dari mulai SAE kode rendah sampai tinggi. Dari grafik ini terlihat bahwa sesungguhnya perbedaan nyata kekentalan dari setiap jenis SAE oli mesin hanya terjadi pada suhu-suhu rendah dibawah 40<sup>0</sup>C. Tetapi diatas suhu itu, grafik kekentalan semua jenis SAE oli mesin menuju ke satu garis lurus (M.Fuad, 2011).



**Gambar 2.2.** Grafik perbandingan viskositas pelumas semi sintetik pada suhu kamar dan kerja (Arisandi, 2012)

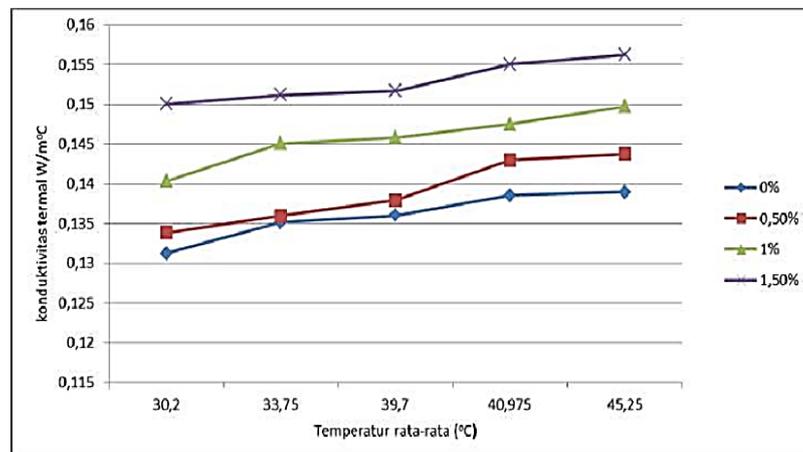
Menurut Arisandi (2012) pada pelumas semi sintetik pada suhu kamar dari 0 km sampai 2000 km mengalami penurunan yang cenderung stabil dan juga pada suhu kerja dari 0 km sampai 2000 km viskositas penurunan pelumas setabil.

**Tabel 2.1.** Prosentase Penurunan Kekentalan pada Temperatur 70<sup>0</sup>C (Effendi dan Adawiyah, 2014)

Merek Pelumas	Pengujian										Rerata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SGO SAE 20w-50	63%	60%	71%	67%	54%	65%	59%	63%	62%	63%	62%
AHM Oil MPX1 SAE 10w-30	82%	70%	81%	80%	68%	80%	75%	70%	70%	80%	76%
Yamalube SAE 20w-40	71%	66%	66%	69%	68%	80%	70%	66%	71%	63%	69%
Shell Helix HX5 SAE 15w-50	73%	72%	82%	83%	72%	69%	71%	78%	83%	77%	76%
Castrol Active SAE 20w-50	73%	64%	52%	65%	71%	66%	67%	61%	72%	67%	66%
Top One Prostar SAE 20w-40	85%	66%	69%	77%	76%	68%	77%	69%	67%	74%	73%

Menurut Effendi dan Adawiyah (2014) rata-rata perubahan kekentalan pelumas pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  pelumas merek SGO SAE 20W-50 18.58, pelumas merek AHM Oil MPX1 SAE 10w-30 16.22 Pelumas merek Yamalube SAE 20W-40 17.27, Pelumas merek Shell Helix HX5 SAE 15W-50 19.51, Pelumas merek Castrol Active SAE 20w-50 18.20, Pelumas merek Top One Prostar SAE 20W-40 18.16 dilihat pada tabel 2.1 .

Dalam penelitian Irwansyah dan Kamal, (2015) melakukan penelitian terhadap fluida nano  $\text{TiO}_2$ /oli termo XT32 dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan fraksi volume terhadap kunduktivitas termalnya. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah *thermal conductivity for liquids and gases unit* PA Hilton 1111 dengan mengamati perbedaan temperatur pada celah sempit antara plug (T1) dan jacket (T2). Pengambilan data konduktivitas termal dengan memvariasikan temperatur dan fraksi volume 0,5%, 1%, dan 1,5%. Adapun data yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Grafik hubungan antara temperatur dan fraksi volume terhadap konduktivitas termal (Irwansyah dan Kamal, 2012)

Pada gambar 2.3. menunjukkan pengaruh konsentrasi fraksi volume praktikel nano dan temperatur menyebabkan peningkatan nilai konduktivitas termal fluida nano dengan semakin tinggi konsentrasi fraksi volume dan

temperatur, semakin besar nilai konduktivitas termalnya (Irwansyah dan Kamal, 2012).

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Perawatan Mesin**

#### **2.2.1.1. Pengertian Perawatan ( *Maintenance* )**

*Maintenance* jika diartikan dalam Bahasa Indonesia ialah pemeliharaan. Namun sampai saat ini masih banyak orang yang menganggap *maintenance* itu adalah perawatan. Karena banyak yang menganggap perawatan dengan pemeliharaan itu sama, namun pada kenyataannya sangatlah berbedah antara perawatan dan pemeliharaan. Dimana pengertian dari pemeliharaan yaitu tindakan yang dilakukan terhadap suatu alat atau produk agar produk tersebut tidak mengalami kerusakan. Sedangkan pengertian perawatan yaitu suatu tindakan perbaikan yang dilakukan terhadap suatu alat yang telah mengalami kerusakan agar alat tersebut dapat digunakan kembali.

Kesimpulannya yaitu pemeliharaan dilakukan sebelum suatu alat/produk mengalami kerusakan dan mencegah terjadinya kerusakan, sedangkan perawatan yaitu dilakukan setelah suatu alat mengalami kerusakan (perbaikan).

Perawatan rutin terhadap sepeda motor harus dilakukan, sehingga performa kendaraan tetap dalam kondisi prima dan memperpanjang umur pemakaian. Jika sepeda motor digunakan setiap hari dalam perjalanan jauh akan mengakibatkan umur ekonomis sepeda motor akan lebih pendek. Secara umum, konsep perawatan ini meliputi perawatan berkala, pendeteksi kerusakan, dan service kendaraan. Perawatan berkala dilakukan dengan mengacu pada buku manual yang dikeluarkan oleh pabrikan. Sementara itu, pendeteksi kerusakan pada sepeda motor bisa dilakukan dengan memperhatikan adanya operasional kendaraan yang tidak normal. Operasional yang tidak normal bias menjadi parameter untuk mengetahui

kerusakan pada mesin. Sedangkan service berkala pada kendaraan merupakan agenda penting untuk menjaga performa sepeda motor. Jika ketiga hal tersebut rutin dilakukan, umur sepeda motor akan lebih lama.

#### **2.2.1.2. Predictive Maintenance**

*Predictive Maintenance* merupakan perawatan yang bersifat prediksi, dalam hal ini merupakan evaluasi dari perawatan berkala. Pendeteksian ini dapat dievaluasi dari indikator-indikator yang terpasang pada instalasi suatu alat dan juga dapat melakukan pengecekan vibrasi dan alignment untuk menambah data dan tindakan perbaikan selanjutnya.

#### **2.2.1.3. Analisa Minyak Pelumas**

Analisis minyak telah menjadi bantuan penting untuk pemeliharaan prediktif. Laboratorium merekomendasikan bahwa dari sampel pelumas mesin yang diambil, akan memberikan informasi tentang kondisi mesin. Biasanya pengecekan dilakukan pada 10 analisa minyak pelumas:

##### **a. Viskositas**

Ini adalah salah satu sifat yang paling penting dari minyak pelumas. Viskositas dari sampel minyak pelumas yang digunakan, dibandingkan dengan sampel minyak yang tidak terpakai untuk menentukan penipisan atau penebalan film sampel selama penggunaan. Viskositas rendah akan mengurangi kekuatan film minyak, sehingga kemampuannya untuk mencegah *metal-to-metal contact* kecil. Viskositas tinggi dapat menghambat aliran minyak ke lokasi penting dalam struktur dukungan bantalan, mengurangi kemampuannya untuk melumasi.

##### **b. Kontaminasi**

Kontaminasi minyak dengan air atau *coolant* dapat menyebabkan masalah besar di sistem pelumasan. Sekarang banyak bahan aditif yang ditambahkan dalam pelumas, unsur yang sama dengan yang digunakan dalam pendingin aditif. Oleh karena itu, laboratorium

harus memiliki analisis yang akurat tentang minyak baru untuk perbandingan.

c. Pengenceran karena BBM.

Pengenceran minyak dalam mesin melemahkan kekuatan film minyak, kemampuan penyegelan, dan sifat deterjen. Ini mungkin disebabkan oleh operasi yang tidak benar, kebocoran sistem bahan bakar, masalah pengapian, tidak tepat waktu, atau kekurangan lainnya. Pengenceran bahan bakar dianggap berlebihan saat mencapai tingkat 2.5 sampai 5 persen.

d. Endapan

Adanya padatan dalam sistem pelumas dapat secara signifikan meningkatkan keausan pada bagian yang dilumasi. Setiap kenaikan padatan yang dilaporkan adalah memprihatinkan.

e. Jelaga BBM

Indikator penting untuk minyak yang digunakan dalam mesin diesel, jelaga bahan bakar selalu hadir untuk beberapa tingkat. Sebuah tes untuk mengukur jelaga bahan bakar di minyak mesin diesel sangat penting, karena menunjukkan efisiensi pembakaran bahan bakar mesin. Kebanyakan tes untuk jelaga bahan bakar dilakukan dengan analisis inframerah.

f. Oksidasi

Pelumas oksidasi minyak dapat menyebabkan endapan, korosi logam, atau penebalan minyak. Kebanyakan pelumas mengandung inhibitor oksidasi.

g. Nitrasi.

Bahan bakar pembakaran di mesin hasil dari nitrasi. Produk yang terbentuk sangat asam dan dapat meninggalkan endapan di daerah pembakaran. Nitrasi akan mempercepat oksidasi minyak. Analisis inframerah digunakan untuk mendeteksi dan mengukur produk nitrasi.

h. *Total Acid Number.*

Ini adalah ukuran dari jumlah asam atau *acidlike* materi dalam sampel minyak. Karena minyak baru mengandung aditif yang mempengaruhi jumlah total asam (TAN), penting untuk membandingkan sampel oli bekas dengan yang baru, tidak terpakai, minyak dari jenis yang sama.

i. *Total Base Number*

Jumlah ini menunjukkan kemampuan minyak untuk menetralkan keasaman. Semakin tinggi Jumlah dasar (TBN) semakin besar kemampuannya untuk menetralkan keasaman. Penyebab khas TBN rendah termasuk menggunakan minyak yang tidak tepat untuk sebuah aplikasi, menunggu terlalu lama antara perubahan minyak, *overheating*, dan menggunakan bahan bakar yang sulfurnya tinggi.

j. Kandungan partikel

Tes penghitungan partikel yang penting untuk mengantisipasi sistem potensial atau masalah mesin. Hal ini terutama berlaku dalam sistem hidrolik. Analisis penghitungan partikel menjadi bagian dari analisis minyak pelumas yang normal, sangat berbeda dari analisis memakai partikel. Dalam tes ini, jumlah partikel yang tinggi mengindikasikan mesin dengan pemakaian normal atau bahwa kegagalan mungkin terjadi sebagai akibat dari lubang sementara atau permanen diblokir. Tidak ada upaya dilakukan untuk menentukan pola pakaian, ukuran, dan faktor-faktor lain yang akan mengidentifikasi modus kegagalan dalam mesin (Moble, 2008).

#### 2.2.1.4. Oli

Oli (Pelumas) adalah zat kimia yang umumnya cairan, yang diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu  $105^{\circ}\text{C}$  -  $135^{\circ}\text{C}$ . Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua

permukaan yang berhubungan. Umumnya pelumas terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat tambahan. Salah satu penggunaan pelumas paling utama adalah oli mesin yang dipakai mesin dengan kinerja pembakaran dalam. Fungsi utamanya adalah untuk melumasi dan mengurangi gesekan, meningkatkan efisiensi dan mengurangi keausan mesin, sebagai pendingin mesin dari panas yang timbul akibat gesekan.



**Gambar 2.4.** Oli (Sumber Motor Plus)

Jenis minyak pelumas yang sesuai dapat digunakan menurut tipe, performa, maupun kebutuhan penggunaannya. Mesin yang bekerja pada kecepatan tinggi memerlukan nilai viskositas yang rendah dan mesin dengan kecepatan rendah memerlukan nilai viskositas yang tinggi.

Menurut *Environmental Protection Agency* (EPAS) dalam jurnal proses pembuatan oli melalui berapa tahap, yaitu :

1. *Distilasi*
2. *Deasphalting* untuk menghilangkan kandungan aspal dalam minyak.
3. *Hidrogenasi* untuk menaikkan viskositas dan kualitas.
4. Pencampuran katalis untuk menghilangkan lilin dan menaikkan temperatur pelumas parafin.

5. *Clay or hydrogen finishing* untuk meningkatkan warna, stabilitas dan kualitas oli pelumas (Raharjo, 2010).

Kode pengenal oli adalah SAE (*Society of Automotive Engineers*), suatu asosiasi yang mengatur standarisasi di berbagai bidang seperti bidang desain teknik, manufaktur, dll. 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. Sedangkan huruf W (*Winter*). SAE 10W-50, berarti pelumas tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 10 untuk kondisi suhu dingin dan SAE 50 pada kondisi suhu panas (Wijaya dkk, 2012).

#### **2.2.1.5. Fungsi dan Syarat-Syarat Minyak Pelumas.**

Menurut Maimuzar dan Hanwar (2005), komponen mesin yang bergerak perlu dilumasi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan. Bahan pelumas tersebut berperan sebagaipengganti permukaan bidang gesek, karena dua bidang yang saling membuat gerak relatif sesamanya akan menimbulkan gesekan. Hal ini banyak sekali terdapat pada suatu motor bensin misalnya antara piston dengan dinding silindernya, antara poros engkol dengan bearing antara cam shaft dengan tappet antara pena piston dengan bushingnya, dan sebagainya. Berkaitan dengan minyak pelumas ini, PT. Toyota dalam bukunya “Toyota, Materi Pelajaran Engine Group” menyatakan bahwa fungsi minyak pelumas dalam operasi mesin (motor) adalah :

1. Mengurangi keausan dan kerugian daya gesek.
2. Sebagai perapat antara dua benda yang bergesekan.
3. Meredam kejutan-kejutan antara dua bidang yang bergesekan.
4. Membantu sistem pendinginan mesin karena pelumas juga menyerap panas.

5. Membantu membersihkan bidang-bidang lumas dengan cara menghanyutkan kotoran atau serpihan akibat gesekan kedalam ruang penampung pelumas (karter).

Selanjutnya disebutkan agar minyak pelumas dapat memenuhi fungsi tersebut diatas diperlukan syarat-syarat yaitu :

1. Mempunyai viskositas (kekentalan) yang cocok.
2. Mempunyai daya sekat, yaitu minyak pelumas harus dapat melekat pada bidang yang dilumasi.
3. Dapat membentuk lapisan tipis (oil film) agar sentuhan langsung antar logam dapat dihindari.
4. Dapat mencegah timbulnya karat pada logam yang dilumasi.
5. Titik alirnya rendah, yaitu agar minyak pelumas tetap dapat mengalir walaupun suhu kerjanya rendah.
6. Titik nyalanya tinggi, yaitu agar minyak pelumas tidak mudah terbakar karena suhu kerja mesin.
7. Tahan terhadap pembentukan endapan partikel tertentu dalam air, udara, bahan dan gas-gas hasil pembakaran.
8. Mempunyai kemampuan untuk atau menghanyutkan partikel-partikel kecil tanpa menimbulkan pengendapan.
9. Tidak berbuih (tidak berbusa) dan tidak beracun.

#### **2.2.1.6. Klasifikasi Oli**

Berdasarkan wujudnya, minyak pelumas dapat digolongkan menjadi dua bentuk, yaitu cair (*liquid*) atau biasa disebut oli, dan setengah padat (*semi solid*) atau biasa disebut gemuk. Minyak pelumas cair (oli) dapat digolongkan berdasarkan beberapa hal, yaitu:

1. Berdasarkan bahan pelumas
  - a. Pelumas mineral yang berasal dari minyak bumi. Mineral yang terbaik digunakan untuk pelumas mesin-mesin diesel otomotif, kapal, dan industri.

- b. Pelumas semi sintetis, campuran minyak mineral.
  - c. Pelumas sintetis, yaitu pelumas yang bukan berasal dari nabati ataupun mineral. Minyak pelumas ini berasal dari suatu bahan yang dihasilkan dari pengolahan tersendiri. Pada umumnya pelumas sintetis mempunyai sifat- sifat khusus, seperti daya tahan terhadap suhu tinggi yang lebih baik daripada pelumas mineral atau nabati, daya tahan terhadap asam.
2. Berdasarkan viscosity atau kekentalan minyak pelumas yang dinyatakan dalam nomor-nomor SAE (*Society of Automotive Engineer*). Angka SAE yang lebih besar menunjukkan minyak pelumas yang lebih kental.
- a. Oli *monograde*, yaitu oli yang indek kekentalannya dinyatakan hanya satu angka.
  - b. Oli *multigrade*, yaitu oli yang indek kekentalannya dinyatakan dalam lebih dari satu angka.
3. Berdasarkan penggunaan minyak pelumas (diatur oleh *The American Petroleum Institute Engine Service Classification*)
- a. Penggunaan minyak pelumas untuk mesin bensin.
  - b. Penggunaan minyak pelumas untuk mesin diesel.

#### **2.2.1.7. Sifat Penting Minyak Pelumas**

Beberapa sifat minyak pelumas dibawah ini perlu diperhatikan jika diinginkan minyak pelumas memenuhi fungsinya, khusus pada motor bakar torak.

1. Kekentalan, kekentalan minyak pelumas harus sesuai dengan fungsi minyak itu untuk mencegah keausan permukaan bagian yang bergesekan, terutama pada beban yang besar dan pada putaran rendah. Minyak pelumas yang terlalu kental sukar mengalir melalui salurannya, disamping menyebabkan kerugian daya mesin yang terlalu besar. Biasanya kekentalan minyak

pelumas diuji pada temperatur 210 °F dan dinyatakan dengan bilangan SAE : misalnya SAE 30, SAE 40, SAE 50, dan seterusnya. Makin kental makin tinggi bilangan itu. Ada kalanya pengujian tersebut dilakukan pada temperatur 0°F. Untuk membedakannya, dibelakang bilangan SAE tadi ditambahkan huruf W, misalnya, SAE 20W.

2. Indeks kekentalan, kekentalan minyak pelumas itu berubah ubah menurut perubahan temperatur. Dengan sendirinya minyak pelumas yang baik tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur, sehingga dapat berfungsi sebagaimana mestinya, baik dalam keadaan dingin, pada waktu mesin mulai berputar maupun pada temperatur kerja.
3. Titik tuang pada temperatur tertentu, yang disebut titik tuang adalah minyak pelumas akan membentuk jaringan kristal yang menyebabkan minyak itu sukar mengalir. Karena itu sebaiknya dipergunakan minyak pelumas dengan titik tuang yang serendah-rendahnya untuk menjamin agar pelumas dapat mengalir dengan lancar kedalam pompa dan salurannya pada setiap keadaan operasi.
4. Stabilitas, beberapa minyak pelumas pada temperatur tinggi akan berubah susunan kimianya sehingga terjadilah endapan yang mengakibatkan cincin torak melekat pada alurnya. Dalam beberapa hal minyak pelumas dapat membentuk lumpur apabila bercampur dengan air dan beberapa komponen hasil pembakaran. Selain itu lumpur tersebut akan mengubah kekentalan dan menutup saluran minyak. Karena itu bak minyak pelumas haruslah mendapat ventilasi yang cukup baik agar minyak pelumas atau gas pembakaran dapat keluar dengan leluasa dari bak minyak pelumas.
5. Minyak pelumas harus memiliki sifat melumasi yang cukup baik, yaitu dapat membasahi permukaan logam. Hal ini berarti

bahwa dalam segala keadaan selalu akan terdapat lapisan minyak pada permukaan bagian mesin yang bersatukan. Sifat ini sangat penting untuk melindungi permukaan bagian tersebut, misalnya pada waktu *start* pada saat minyak pelumas belum cukup banyak atau pompa minyak pelumas belum bekerja sebagai mana mestinya (Wiranto, 1988).

## **2.2.2. Viskositas**

### **2.2.2.1. Definisi Viskositas**

Viskositas adalah suatu cara untuk menyatakan berapa daya tahan dari aliran yang diberikan oleh suatu cairan. Kebanyakan viskometer mengukur kecepatan dari suatu cairan mengalir melalui pipa gelas (gelas kapiler). Definisi lain dari viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida.kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan untuk mengalir. Viskositas cairan akan menimbulkan gaya gesekan antara bagian atau lapisan cairan yang bergerak satu terhadap yang lain. Hambatan atau gesekan yang terjadi ditimbulkan oleh gaya kohesi dalam zat cair (Yazid, 2005).

### **2.2.2.2. Faktor-Faktor mempengaruhi Viskositas**

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

#### **a. Tekanan**

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

#### **b. Temperatur**

Viskositas 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 alirnya semakin cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

Viskositas naik dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, larutan minyak laju aliran lambat dan kekentalanya 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.

### 2.2.2.3. Pelumas Viskositas

Menurut Shigley (2004) viskositas pelumas didefinisikan dalam dua cara yang berbeda, dan kedua definisi ini sangat banyak digunakan.

1. Kekentalan Dinamik atau Absolute Viskositas

Dinamik atau absolute adalah rasio tegangan geser yang dihasilkan ketika fluida mengalir. Dalam satuan SI diukur dalam pascal-detik atau newton detik per meter persegi, tapi centimeter-gram-detik (cgs) unit, centipoise itu, lebih diterima secara luas.

$$1 \text{ centipoise (cP)} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

Centipoise adalah satuan viskositas yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan Reynolds persamaan dan berbagai persamaan pelumasan *elastohydro dynamic*.

## 2. Viskositas Dinematik

Viskositas kinematik adalah sama dengan viskositas dinamis dibagi dengan kepadatan. Dalam Unit SI adalah meter persegi per detik, akan tetapi satuan cgs, Centistoke, lebih luas diterima.

$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Centistoke adalah unit yang paling sering dikutip oleh pemasok pelumas dan pengguna. Dalam prakteknya, perbedaan antara viskositas kinematik dan dinamis penting untuk minyak pelumas, karena kepadatan mereka pada suhu operasi biasanya terletak antara 0,8 dan 1,2. Namun, untuk beberapa sintetis fluorinated minyak dengan kepadatan tinggi, dan untuk gas, perbedaannya bisa sangat signifikan. Viskositas dari minyak pelumas kebanyakan adalah antara 10 dan 600 cSt pada suhu operasi, dengan angka rata-rata sekitar 90 cSt.

Viskositas rendah lebih berlaku untuk bantalan dari pada gigi, serta dimana beban yang ringan, dan kecepatan tinggi atau sistem tertutup sepenuhnya. Sebaliknya, viskositas yang lebih tinggi dipilih untuk gigi dan dimana kecepatan rendah, beban yang tinggi, atau sistem ini berventilasi baik.

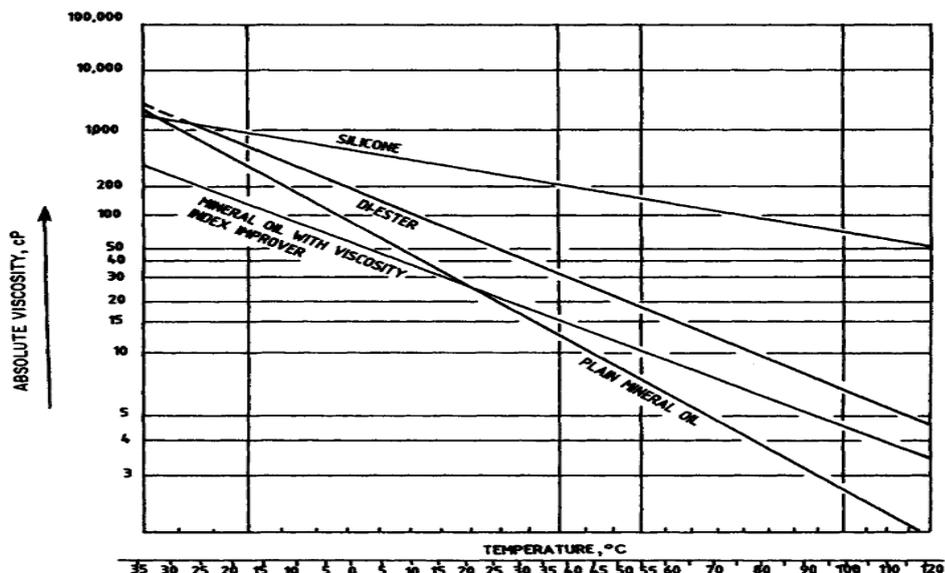
Beberapa ciri viskositas yang berkisar pada suhu operasi ditunjukkan pada tabel 2.2. Variasi viskositas minyak dengan suhu akan sangat penting dalam beberapa sistem, dimana suhu operasi baik bervariasi ataupun tidak bervariasi sangat berbeda dengan suhu acuan viskositas minyak. setiap penurunan viskositas suatu cairan diiringi dengan naiknya suhu, namun tingkat penurunan dapat bervariasi dari satu cairan dengan cairan yang lain.

Tabel 2.2. *Typical Operating Viscosity Range*

Lubricant	Viscosity range, cSt
Clocks and instrument oils	5–20
Motor oils	10–50
Roller bearing oils	10–300
Plain bearing oils	20–1500
Medium-speed gear oils	50–150
Hypoid gear oils	50–600
Worm gear oils	200–1000

Tabel 2.2. menunjukkan perubahan viskositas dengan suhu untuk beberapa minyak pelumas yang khas. Sebuah grafis presentasi jenis ini adalah cara yang paling berguna untuk menampilkan informasi ini, tetapi jauh lebih umum untuk mengutip indeks viskositas (VI).

Indek viskositas mendefinisikan hubungan viskositas suhu minyak pada skala tinggi dibandingkan dengan dua minyak standar.



Gambar 2.5. Indek Viskositas

Salah satunya minyak standar memiliki indeks viskositas 0, mewakili perubahan yang paling cepat viskositas dengan suhu biasanya ditemukan dengan minyak mineral. Minyak standar kedua memiliki viskositas Indeks dari 100, yang mewakili perubahan terendah viskositas dengan suhu ditemukan dengan minyak mineral dengan tidak adanya aditif yang relevan.

Persamaan untuk perhitungan indeks viskositas sampel minyak :

$$VI = \frac{100(L - U)}{L - H} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana U = viskositas sampel dicentistokes di 40<sup>0</sup>C, L = viskositas dicentistokes di 40<sup>0</sup>C minyak dari 0 VI memiliki viskositas yang sama di 100<sup>0</sup>C sebagai minyak tes, dan H = viskositas pada 40<sup>0</sup>C minyak dari 100 VI memiliki viskositas yang sama di 100<sup>0</sup>C sebagai minyak tes.

Beberapa minyak sintetis dapat memiliki indeks viskositas lebih dari 150 dengan definisi di atas, tetapi penerapan definisi pada nilai tinggi seperti diragukan. Indeks viskositas minyak dapat ditingkatkan dengan melarutkan di dalamnya kuantitas (kadang-kadang setinggi 20 persen) dari polimer yang cocok, disebut viskositas indeks perbaiki. SAE adalah Peringkat skala viskositas yang sangat luas digunakan dan direproduksi pada **Tabel 2.3** .

Hal ini dimungkinkan untuk memenuhi minyak lebih dari satu rating. Kriteria indeks viskositas tinggi A minyak mineral dapat memenuhi 20W dan 30 dan kemudian akan disebut 20W/30 multigrade oil. Lebih umum, minyak VI ditingkatkan bisa memenuhi 20W dan 50 kriteria dan kemudian akan disebut 20W/50 minyak rangkap. Perhatikan bahwa pengukuran viskositas digunakan untuk menetapkan peringkat SAE dilakukan keluar pada laju geser yang rendah.

Tabel 2.3. SAE Oil Ratings

SAE no.	Maximum viscosity at -18°C, cP	Viscosity at 100°C, cSt	
		Minimum	Maximum
<b>Engine oils</b>			
5W	1 250	3.8	
10W	2 500	4.1	
20W†	10 000	5.6	
20	.....	5.6	<9.3
30	.....	9.3	<12.5
40	.....	12.5	<16.3
50	.....	16.3	<21.9
<b>Gear oils</b>			
75	3 250		
80	21 600		
90	.....	14	<25
140	.....	25	<43
250	.....	43	

†15W may be used to identify 20W oils which have a maximum viscosity of 5000 cP.

Pada laju geser tinggi bantalan, efek dari polimer mungkin Pelumasan menghilang, dan minyak 20W/50 pada laju geser yang sangat tinggi dapat berperilaku sebagai minyak tipis dari 20W yaitu, sebuah 15W atau bahkan 10W. Dalam prakteknya, ini mungkin tidak penting, karena dalam kecepatan tinggi bantalan viskositas mungkin akan tetap menghasilkan film minyak yang memadai ketebalan. Secara teoritis indek viskositas penting hanya di mana suhu yang signifikan variasi berlaku, tetapi sebenarnya ada kecenderungan untuk hanya menggunakan minyak viskositas indek tinggi dalam pembuatan berkualitas tinggi pelumas. Akibatnya, indek viskositas tinggi sering dianggap sebagai kriteria kualitas pelumas, bahkan di mana indeks viskositas seperti adalah sedikit atau tidak penting.

Sebelum kita meninggalkan subyek viskositas pelumas, mungkin beberapa unit viskositas usang harus disebutkan. Ini adalah viskositas *Saybolt* (SUS) di *North Amerika*, *Redwood viscosity* di *Inggris*, dan *Engler viscosity* di benua Eropa. Ketiga adalah utilitas praktis kecil, tapi sudah sangat luas digunakan, dan usaha keras telah dilakukan dengan standarisasi organisasi

untuk bertahun-tahun untuk menggantikan mereka seluruhnya oleh viskositas kinematik.

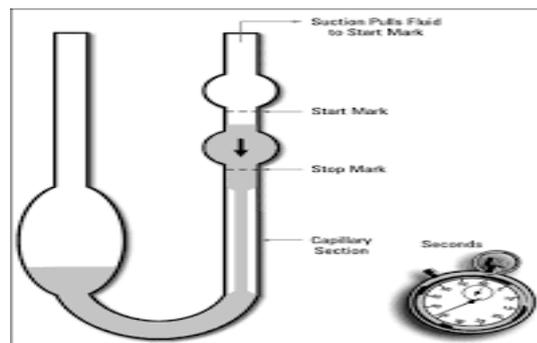
#### 2.2.2.4. Pengukuran Viskositas

Viskometer adalah alat yang dipergunakan 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 (misalnya cair) dan bila cairan itu mengalir lambat maka dikatakan viskositasnya tinggi (misalnya madu). Viskositas dapat diukur dengan mengukur laju aliran cairan yang melalui tabung berbentuk silinder. Ini merupakan salah satu cara yang paling mudah dan dapat digunakan baik untuk cairan maupun gas.

Cara menentukan viskositas suatu zat menggunakan alat yang dinamakan viskometer. Ada beberapa tipe viskometer yang bias digunakan antara lain :

##### 1. Viskometer Oswald

Yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan oleh sejumlah cairan tertentu untuk mengalir melalui pipa kapiler dengan gaya yang disebabkan oleh berat cairan itu sendiri.



**Gambar 2.6.** Viskometer Oswald

Didalam percobaan diukur waktu aliran untuk volume  $V$  melalui pipa kapiler yang vertical. Jumlah tekanan ( $P$ ) dalam hukum Poiseuille adalah perbedaan tekanan antara kedua permukaan cairan, dan berbanding lurus dengan berat jenis cairan ( $\rho$ ). Dalam praktek  $R$  dan  $L$  sukar diukur

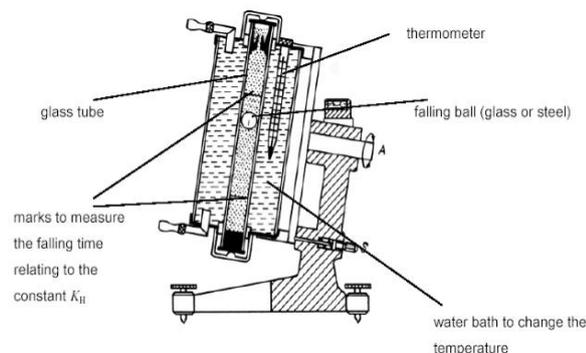
secara teliti dalam persamaan Poiseuille. Karenanya viskositas cairan ditetapkan dengan cara membandingkan dengan cairan yang mempunyai viskositas tertentu, misalnya air.

Cara penggunaannya adalah :

1. Penggunaan viskometer yang sudah bersih.
2. Pipetkan cairan ke dalam viskometer dengan menggunakan pipet.
3. Lalu hisap cairan dengan menggunakan *push ball* sampai melewati 2 batas.
4. Siapkan *stopwatch* , kendurkan cairan sampai batas pertama lalu mulai penghitungan.
5. Catat hasil, dan lakukan penghitungan dengan rumus.
6. Usahakan saat melakukan penghitungan kita menggenggam di lengan yang tidak berisi cairan.

## 2. Viskometer 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.



**Gambar 2.7.** Viskometer Hoppler

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

Prosedur penggunaannya adalah :

1. Ukur diameter bola
  2. Timbang massa bola
  3. Ukur panjang tabung viskometer dari batas atas - batas bawah
  4. Tentukan massa jenis masing- masing cairan
  5. Ukur temperatur alat viskositas Hoppler
  6. Isi tabung dengan aquades dan dimasukkan bola
  7. Pada saat bola diatas, *stopwatch* dihidupkan
  8. Pada saat bola dibawah, *stopwatch* dimatikan
  9. Catat waktu bola jatuh dari batas atas sampai batas bawah
  10. Tabung dibalik
  11. Ulangi prosedur 3-6 sebanyak 3 kali berturut- turut, pada temperatur lain dan cairan yang lain
3. Viskometer *Cup* dan *Bob*

Prinsip kerjanya sampel digeser dalam ruangan antara dinding luar dari bob dan dinding dalam dari *cup* dimana *bob* masuk persis ditengah – tengah.



**Gambar 2.8.** Viskometer *Cup* dan *Bob*

Kelemahan viskometer ini adalah terjadinya aliran sumbat yang disebabkan geseran yang tinggi di sepanjang keliling bagian tube sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi. Penurunan konsentrasi ini menyebabkan bagian tengah zat yang ditekan keluar memadat. Hal ini disebut aliran sumbat.

#### 4. Viskometer *Cone* dan *Plate*

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

Viskometer *Cone/Plate* adalah alat ukur kekentalan yang memberikan peneliti suatu instrumen yang canggih untuk menentukan secara rutin viskositas absolut cairan dalam volume sampel kecil. *Cone* dan *plate* memberikan presisi yang diperlukan untuk pengembangan data rheologi lengkap.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi akurasi dari alat ini, misalnya:

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



**Gambar 2.9.** Viskometer *Cone* dan *Plate*

### Prosedur Kalibrasi untuk *Cone/Plate Viskometer*

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

### 2.2.3. Konduktivitas Termal

Konduksi termal adalah suatu fenomena *transport* di mana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salahsatu dari tiga metoda yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Metode perpindahan kalor :

#### a. Perpindahan Kalor Konduksi

(Holman, 1993) menyatakan bahwa pada suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), maka menurut pengalaman akan terjadi perpindahan energy dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal.

#### b. Perpindahan Kalor Konveksi

(Holman, 1993) menyatakan plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat bila ditaruh di depan kipas angin dibandingkan dengan ditaruh di udara tenang. Dari kasus itu dapat dikatakan bahwa kalor dikonveksi ke luar, dan proses ini dinamakan perpindahan kalor secara konveksi. Kecepatan udara yang ditiupkan ke plat panas ini akan mempengaruhi laju perpindahan kalor.

c. Perpindahan kalor Radiasi

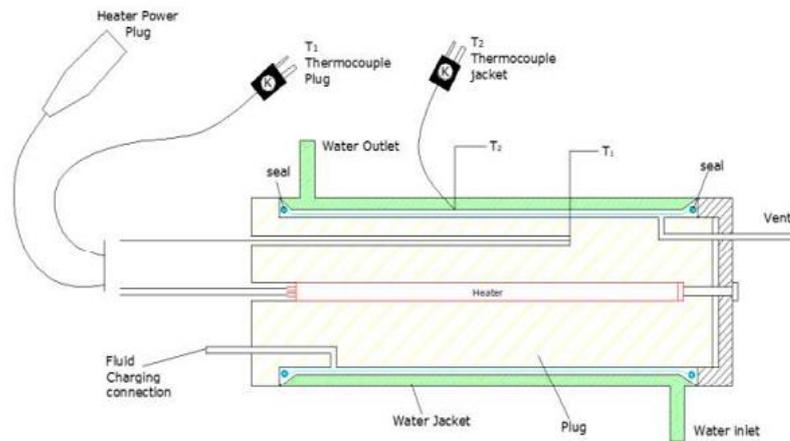
(Holman, 1993) menyatakan bahwa berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi, dimana perpindahan energy terjadi melalui bahan antara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya di sini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik.

**Tabel 2.4.** Konduktivitas termal zat cair (Holman, 1993)

Bahan		
Zat Cair	W/m.°C	Btu/h. ft. °f
Air raksa	8.21	4.74
Air	0.556	0.327
Amonia	0.540	0.312
Minyak pelumas, SAE	0.147	0.085
Freon 12, 22FCCI	0.073	0.042

**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 pengesetan perbedaan temperatur dari sampel fluida yang ada di dalam sebuah ruang sempit berbentuk annular (*radial clearance*). Sampel fluida yang konduktivitas thermal efektifnya akan diukur memenuhi/mengisi ruang kecil di antara sebuah plug yang dipanaskan dan sebuah selubung (*jacket*) yang didinginkan oleh air. Plug tersebut dipanaskan dengan menggunakan sebuah pemanas *catridge* yang dihasilkan dengan daya yang dikendalikan oleh voltmeter dan ammeter standar yang terpasang pada panel. *Plug* tersebut dibuat dari aluminium untuk mengurangi kelembapan termal dan variasi temperatur yang ada dan mengandung sebuah elemen pemanas yang berbentuk silinder yang mana resistensinya dalam suhu kerja (*working temperature*) diukur dengan akurat.



**Gambar 2.10.** Gambar skema alat pengukur konduktivitas termal

Ruang bebas tersebut cukup kecil untuk mencegah adanya konveksi alamiah (*natural convection*) di dalam sampel fluida tersebut. Karena radial *clearance* yang relatif kecil tersebut, sampel fluida yang ada di dalam ruang tersebut dapat digambarkan sebagai sebuah pelapis tipis (*lamina*) dari area permukaan (*face area*)  $l$  dan ketebalan  $r$  terhadap perpindahan panas dari panas yang berasal dari *plug* ke selubung (*jacket*). Perhitungan yang diperlukan untuk mengukur konduktivitas termalnya adalah temperatur *plug* ( $T_1$ ) dan *jacket* ( $T_2$ ) dengan menyesuaikan variabel transformer (Irwansyah dan Kamal, 2015).

Persamaan untuk perhitungan konduktivitas termal sebagai berikut:

1. *Elemen Heat Input*

$$Q_e = V \cdot I \dots \dots \dots (2.2)$$

2. *Temperatur Different*

$$\Delta t = T_1 - T_2 \dots \dots \dots (2.3)$$

3. *Conduction Heat Transfer Rate*

$$Q_c = Q_e - Q_i \dots \dots \dots (2.4)$$

4. *Thermal Conductivity*

$$K_{\text{fluida}} = \frac{Q_c \cdot \Delta r}{A \cdot \Delta t} \dots \dots \dots (2.5)$$

$\Delta r$  = Radial clearance, jarak antara plug dan jacket sebesar 0,34 mm

A = Luas efektif antara plug dan jacket sebesar 0,0133 m<sup>2</sup>

Keterangan :

T1 = *Temperature Plug* (°C)

T2 = *Temperature Jacket* (°C)

V = *Voltage* (V)

I = *Current* (A)

Qe = *Element Heat Input* (W)

$\Delta t$  = *Temperatur Different* (K)

$\Delta r$  = *radial clearance* (mm) = 0.34 mm

Qi = *Incidental Heat Transfer Rate* (W)

Qc = *Conduction Heat Transfer Rate* (W)

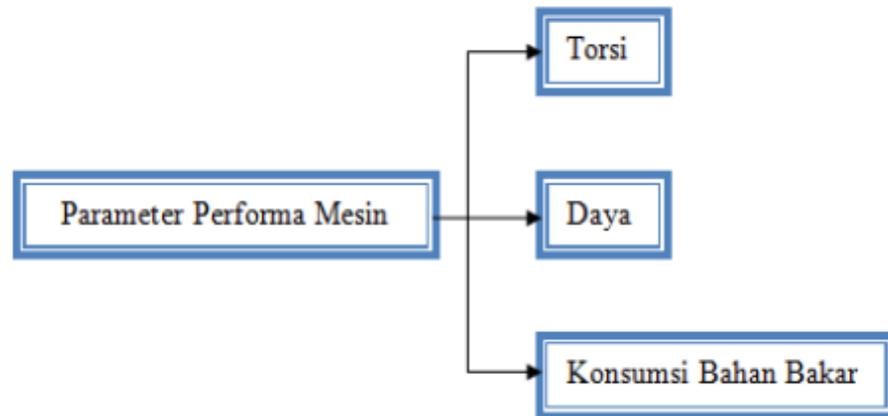
A = Luas efektif antara *Plug* dan *Jacket* (m<sup>2</sup>) = 0.0133 m<sup>2</sup>

k = *Thermal Conductivity* (W/m.K)

#### 2.2.4. Kinerja mesin

Menganalisa performa mesin berfungsi untuk mengetahui nilai torsi, nilai daya, dan nilai konsumsi bahan bakar dari mesin tersebut (Nurdianto, 2015).

Parameter performa mesin dapat dilihat dari berbagai hal diantara yang terdapat dalam diagram dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11.** Parameter Performa Mesin

#### 2.2.4.1. Torsi

Torsi atau momen putar motor adalah gaya dikalikan dengan jarak panjang lengan, pada motor bakar gaya adalah daya motor sedangkan panjang lengan adalah panjang langkah torak. Torsi dapat diperoleh dari hasil kali antara gaya dengan jarak (Arends dan Berenschot, 1980).

$$(T=Fxr).....(2.6)$$

Dimana:

$T$  = Torsi (N.m)

$F$  = Gaya penyeimbang yang diberikan (N)

$r$  = Jarak lengan torsi (mm)

#### 2.2.4.2. Daya

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu (Arends dan Berenschot, 1980).

Untuk menghitung besarnya daya motor 4 langkah digunakan rumus:

$$P = \frac{2\pi.n.T}{60000} (kW).....(2.7)$$

Dimana:

$P$  = Daya (kW)

$N$  = Putaran Mesin (rpm)

$T$  = Torsi (Nm)

(Winarno, 2001)

#### 2.2.4.3. **Konsumsi Bahan Bakar**

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah bakar terpakai tiap daya yang dihasilkan (Wiranto, 1988).

$$SFC \frac{M_f}{p} (kgkwh) \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

SF = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kwh)

Mf = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

B = Volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)

Tt = Waktu yang diperlukan kosongan bured dalam detik (s)

$\rho_{bb}$  = Massa jenis bahan bakar (kg/l)