

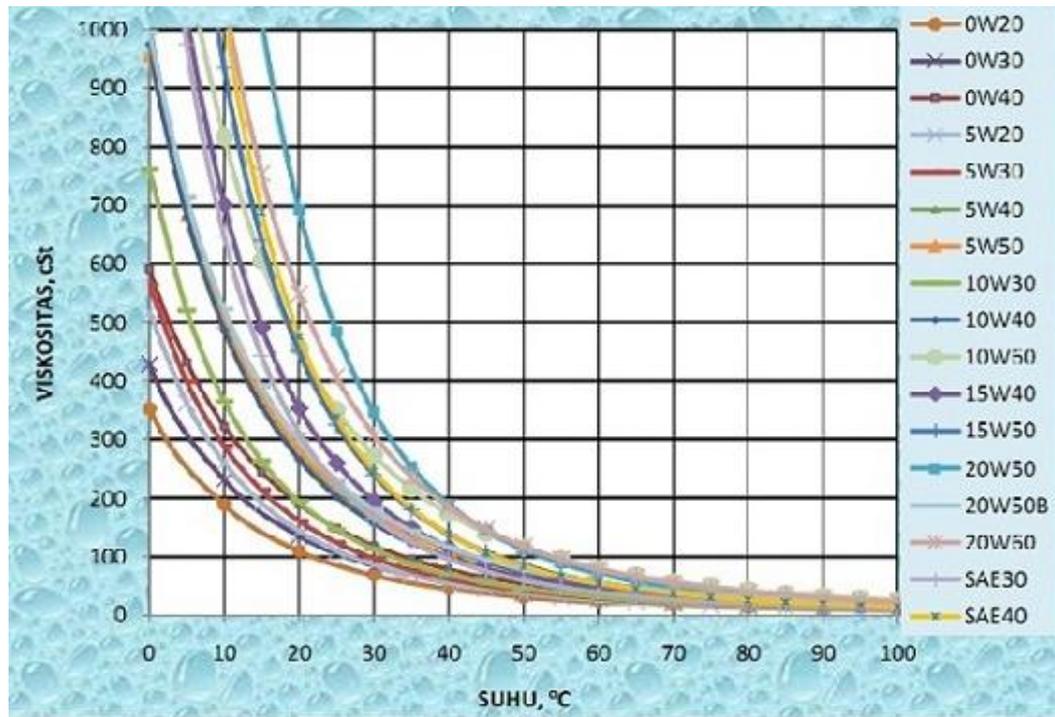
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Penelitian ini meneliti tentang pengaruh viskositas dan konduktivitas termal beberapa jenis minyak pelumas, maka dari itu untuk mendukung penelitian ini diperlukan referensi atau kajian pustaka tentang penelitian sebelumnya yang hampir sama dengan penelitian ini seperti yang sudah penulis cantumkan. Pada penelitian Lisunda (2016) tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas *MPX 2* baru dan *MPX 2* bekas beserta pengaruhnya terhadap kinerja motor honda vario 110 cc. Kandungan sampel oli baru masih belum terkontaminasi dari zat sisa hasil kinerja mesin, sehingga menghasilkan tren grafik konduktivitas yang lebih stabil. Sedangkan oli bekas menghasilkan tren grafik yang tidak stabil karena sudah terkontaminasi zat sisa dari kinerja mesin. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran 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).

Rahmawan (2016) melakukan analisa tentang pengaruh beberapa minyak pelumas terhadap kinerja motor Suzuki Satria Fu 150 cc. Dari hasil pengujian yang dilakukan penurunan viskositas terlihat setelah naiknya temperatur. Pelumas sintetik memiliki viskositas yang lebih baik dibandingkan dengan pelumas semi sintetik dan mineral. Oli sintesis memiliki perubahan viskositas yang paling rendah yaitu 15,4 mPa.s/°C sedangkan oli semi sintesis 24,2 mPa.s/°C dan oli mineral memiliki perubahan viskositas paling tinggi yaitu 29 mPa.s/°C.



**Gambar 2.1** Kurva viskositas oli mesin terhadap suhu (M. Fuad, 2011)

Gambar 2.1. menjelaskan profil kurva setiap jenis oli mesin berdasarkan nilai standar SAE (*Society of Automotive Engineers*), dari mulai SAE kode terendah sampai SAE kode tertinggi. Dari grafik diatas terlihat bahwa perbedaan kekentalan dari jenis oli dengan SAE bervariasi yang terjadi pada suhu rendah dibawah  $40^{\circ}\text{C}$ . Pada grafik diatas kekentalan semua jenis oli mesin dengan SAE bervariasi menunjukkan ke satu garis lurus (M. Fuad, 2011)

Pada penelitian Effendi dan Adawiyah (2014) tentang penurunan nilai kekentalan akibat pengaruh kenaikan temperatur pada beberapa merek minyak pelumas. Minyak pelumas yang digunakan adalah merek oli *SG 4T SAE 20W-50*, *Yamalube SAE 20W-40*, *AHM oil MPX1 SAE 10W-30*, *Shell Helix HX5 SAE 15W-50*, *Castrol Active SAE 20W-50* dan *Top One Prostar SAE 20W-40*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata perubahan kekentalan pelumas terjadi pada saat kenaikan temperatur mencapai 70 derajat *celsius* untuk ke enam merek pelumas secara signifikan adalah sama. Rata-rata *prosentase* penurunan kekentalan minyak pelumas adalah sebesar 62% untuk oli merek *SGO SAE 20W-50*, 76% untuk oli merek *AHM Oil MPX1 SAE 10W-30*, 69% untuk oli merek *Yamalube SAE 20W-40*, 76% untuk oli merek *Shell Helix HX5 SAE 15W-50*, 66%

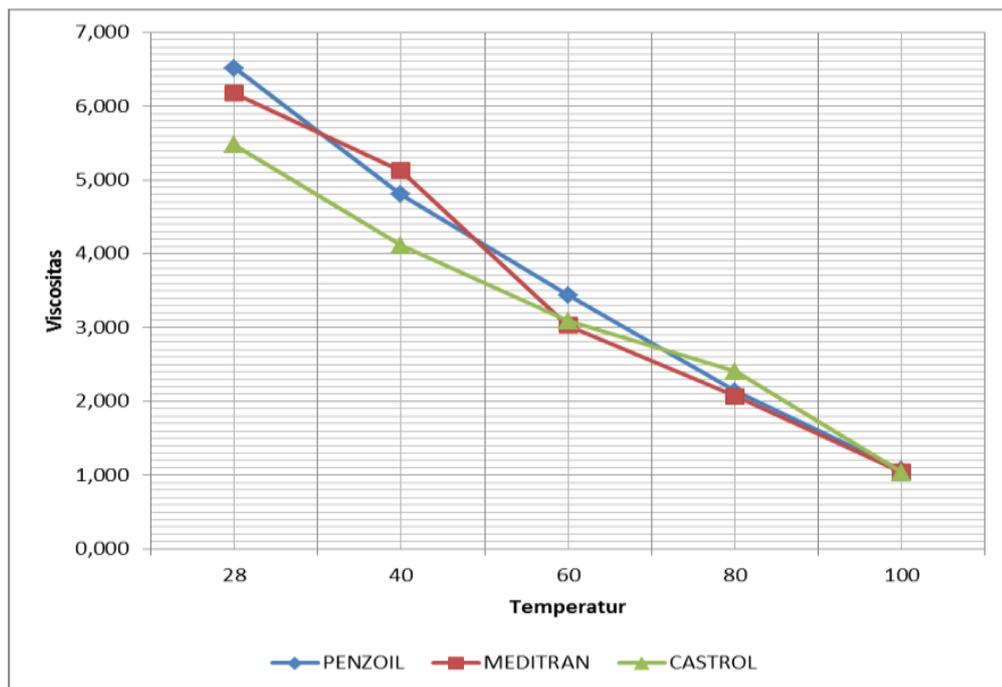
untuk oli merek *Castrol Active SAE 20W-50* dan 73% untuk oli merek *Top One Prostar SAE 20W-40*.

**Tabel 2.1** Presentase penurunan kekentalan pada temperatur 70°C  
(Effendi dan Adawiyah, 2014)

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

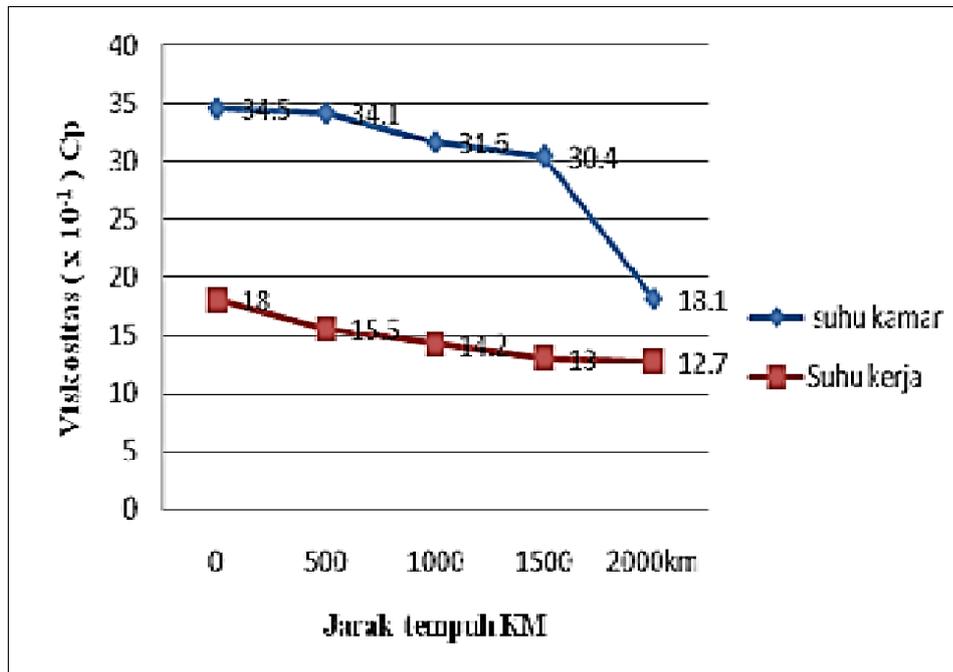
Pada penelitian Parenden (2012) tentang pengaruh temperatur terhadap viskositas minyak pelumas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai viskositas dari masing-masing minyak pelumas selalu menurun apabila temperatur dinaikkan. Data hasil menunjukkan nilai viskositas untuk minyak pelumas merek *Penzoil* pada temperatur 28°C viskositasnya sebesar 6,513 dyne.s/cm<sup>3</sup> kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,065 dyne.s/cm<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup> kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,039 dyne.s/cm<sup>3</sup> terjadi penurunan viskositas sebesar 83,17 % dan untuk merek *Castrol* pada temperatur 28°C viskositasnya

sebesar 5,475 dyne.s/cm<sup>3</sup> kemudian temperatur dinaikkan menjadi 100°C dan viskositasnya menjadi 1,034 dyne.s/cm<sup>3</sup> 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 visositas yang turun sebesar 81,11% dibandingkan merek pelumas *Penzoil* dan *Meditran*.



**Gambar 2.2** Grafik hubungan antara Viskositas dengan temperatur (Parenden, 2012)

Arisandi dkk (2012) melakukan penelitian terhadap berbagai jenis pelumas, yaitu mineral, sintetis dan semi sintetis dengan bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan dasar pelumas terhadap viskositas dan konsumsi bahan bakar.



**Gambar 2.3** Grafik perbandingan viskositas pelumas mineral pada temperatur kamar dan kerja (Arisandi dkk, 2012)

Kestabilan nilai viskositas pada temperatur kamar cenderung lebih buruk dibandingkan dengan temperatur kerja, hal tersebut berlaku untuk semua jenis pelumas. Konsumsi bahan bakar dengan menggunakan pelumas sintesis lebih hemat di bandingkan dengan pelumas mineral. (Arisandi dkk, 2012)

Nurhadiyanto dkk (2011) penelitian yang dilakukan bertujuan mengetahui pengaruh temperatur kerja (pada temperatur 35°C, 55°C, 95°C dan 130°C) pada pelumas jenis SAE 10W-40, SAE 20W-50 dan jenis SAE 40W terhadap viskositas. Untuk menentukan kekentalan fluida (termasuk oli) digunakan suatu alat yang disebut viscosimeter. Bahan pelumas dimasukkan dalam Viscometer sekitar 200 ml (atau sampai penuh) kemudian dipanaskan dengan variasi temperatur: 28°C, 55°C, 95°C dan 130°C. Hasil pengujian memperlihatkan kenaikan temperatur kerja pada minyak pelumas terutama jenis SAE 10W-40, SAE 20W-50, dan SAE 40W akan mengurangi tingkat kekentalan yang ditandai dengan kenaikan kecepatan rotor dengan beban yang sama. Viskositas pelumas pada suhu rendah berbeda untuk jenis SAE 10W-40, SAE 20W-50, dan SAE

40W, pada suhu tinggi ketiga jenis pelumas memiliki viskositas yang hampir sama.

Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa dari penelitian sebelumnya yang telah penulis kaji, diperoleh bahwa viskositas oli baru lebih tinggi dari oli bekas, konduktivitas termal oli baru lebih rendah dari oli bekas, oli baru mampu menghasilkan daya tertinggi dan nilai torsi terendah dengan konsumsi bahan bakar tergolong irit. Kekentalan dari jenis oli dengan nilai SAE yang bervariasi terjadi pada suhu dibawah 40°C. Rata-rata perubahan kekentalan pelumas terjadi pada saat kenaikan temperatur mencapai 70°C dengan kekentalan sama secara signifikan. Nilai viskositas dari masing-masing minyak pelumas selalu menurun apabila temperatur dinaikkan. Viskositas pelumas pada suhu rendah berbeda untuk jenis SAE berbeda, namun pada suhu tinggi pelumas cenderung memiliki viskositas yang hampir sama. Pelumas jenis *Full Synthetic* mampu melumasi komponen mesin pada suhu tinggi dengan baik.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Minyak Pelumas**

#### **2.2.1.1. Pengertian Pelumas**

Oli atau Pelumas adalah zat kimia yang berupa cairan, yang digunakan untuk mengurangi gesekan antara dua permukaan benda yang bergerak. Zat ini merupakan hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105°C - 135°C. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan. Umumnya pelumas terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat tambahan. Contoh penggunaan pelumas paling utama adalah oli yang dipakai pada 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** Contoh beberapa pelumas di Indonesia (Otorider, 2015)

Kode pengenal untuk oli adalah SAE (*Society of Automotive Engineers*), suatu asosiasi yang mengatur tentang standarisasi di berbagai bidang seperti bidang desain teknik, manufaktur, dll. Parameter ini biasanya sudah tercantum pada masing-masing kemasan oli, sebagai contoh SAE 40 atau SAE 10W-50, semakin besar angka yang mengikuti kode oli menandakan semakin kentalnya oli tersebut. Angka yang mengikuti di belakangnya, menunjukkan tingkat kekentalan oli tersebut. Sedangkan huruf W (*Winter*). Contoh: SAE 10W-50, berarti pelumas tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 10 untuk kondisi temperatur suhu dingin dan SAE 50 pada kondisi temperatur suhu panas (Nugroho dan Sunarno, 2012).

#### 2.2.1.2. Fungsi Oli

Menurut penelitian Arisandi (2012), jenis oli yang digunakan pada mesin motor atau mobil harus memiliki fungsi sebagai berikut :

##### a. Memperkecil koefisien gesek

Salah satu fungsi minyak pelumas adalah untuk melumasi bagian-bagian mesin yang bergerak untuk mencegah keausan akibat dua benda yang bergesekan. Minyak pelumas membentuk *Oil film* di dalam dua benda yang bergerak sehingga dapat mencegah gesekan atau kontak langsung diantara dua benda yang bergesekan.

b. Pendingin (*Cooling*)

Minyak pelumas mengalir di sekeliling komponen yang bergerak, sehingga menjadikan panas yang timbul dari gesekan dua benda tersebut akan merambat secara konveksi ke minyak pelumas, sehingga minyak pelumas pada kondisi ini berfungsi sebagai pendingin untuk komponen mesin.

c. Pembersih (*Cleaning*)

Kotoran atau geram yang timbul akibat gesekan, akan terbawa oleh minyak pelumas menuju *crank case*/karter yang selanjutnya akan mengendap di bagian bawah *crank case* dan ditarik oleh magnet pada dasar *crank case*. Kotoran yang ikut mengalir dengan minyak pelumas akan disaring oleh filter oli agar tidak terbawa dan terdistribusikan kebagian-bagian mesin lain yang dapat mengakibatkan kerusakan atau mengganggu kinerja mesin tersebut.

d. Perapat (*Sealing*)

Minyak pelumas yang terbentuk di bagian-bagian yang presisi dari mesin kendaraan berfungsi sebagai perapat, yaitu mencegah terjadinya kebocoran gas (*blow by gas*) misalnya pada bagian antara piston dan dinding silinder.

e. Sebagai Penyerap Tegangan

Oli mesin menyerap dan menekan tekanan yang terjadi pada komponen yang dilumasi, serta melindungi agar komponen tersebut tidak menjadi tajam saat terjadinya gesekan-gesekan pada bagian-bagian yang bersinggungan.

f. Pencegahan Korosi

Peran pelumas adalah mencegah korosi. Pada saat mesin bekerja, minyak pelumas dapat melapisi bagian mesin dengan suatu lapisan pelindung yang mengandung aditif untuk menetralkan bahan/komponen yang bersifat korosif.

### 2.2.1.3. Jenis-Jenis Oli

Oli terbagi menjadi beberapa jenis yaitu Oli Mineral, Oli *Synthetic* dan Oli Semi *Synthetic*.

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. (id.wikipedia.org, 2017)

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. (id.wikipedia.org, 2017)

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*. (www.otorider.net, 2015)

#### **2.2.1.4. Sifat Penting Pelumas**

Dalam penelitiannya Arismunandar (1988), menyatakan bahwa beberapa sifat yang perlu diperhatikan minyak pelumas untuk memenuhi fungsinya adalah:

a. Kekentalan

Minyak pelumas harus sesuai dengan fungsinya yaitu mencegah keausan permukaan bagian yang bergesekan, terutama pada beban yang besar dan pada putaran mesin rendah. Minyak pelumas yang terlalu kental dan sulit untuk

mengalir, disamping itu dapat menyebabkan kerugian berupa daya mesin yang menjadi terlalu besar.

b. Indeks Kekentalan

Kekentalan minyak pelumas itu berubah-ubah terhadap temperatur mesin. Minyak pelumas yang baik tidak terlalu sensitif terhadap perubahan temperatur, sehingga dapat berfungsi sebagaimana mestinya, baik dalam keadaan dingin, pada waktu mesin mulai berputar maupun pada temperatur kerja tinggi.

c. Titik Tuang

Pada temperatur tertentu, minyak pelumas akan membentuk jaringan kristal yang menyebabkan minyak itu sulit mengalir. Karena itu sebaiknya gunakan minyak pelumas dengan titik tuang yang serendah-rendahnya untuk menjamin agar pelumas dapat mengalir pada keadaan operasi.

d. Stabilitas

Beberapa minyak pelumas pada temperatur tinggi, tingkat stabilitasnya akan berubah susunan kimianya sehingga terjadi endapan yang mengakibatkan cincin torak/*ring piston* melekat pada alurnya. Dalam beberapa hal minyak pelumas dapat membentuk lumpur apabila bercampur dengan air dan beberapa komponen hasil pembakaran.

e. Kemampuan pelumasan

Minyak pelumas harus memiliki kelumasan, atau sifat melumasi, yang cukup baik, yaitu dapat membasahi permukaan logam. Sifat ini sangat penting untuk melindungi permukaan bagian mesin.

#### **2.2.1.5. Analisa Minyak Pelumas**

Dalam penelitiannya Mobley (2008) menyatakan bahwa analisa yang dilakukan pada sampel minyak pelumas yaitu dengan cara:

- 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, kemampuan penyegelan, 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 kontan 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.

#### **2.2.1.6. Jenis-Jenis Pelumasan**

Menurut Daryanto (2004), ada beberapa macam sistem pelumasan, yaitu:

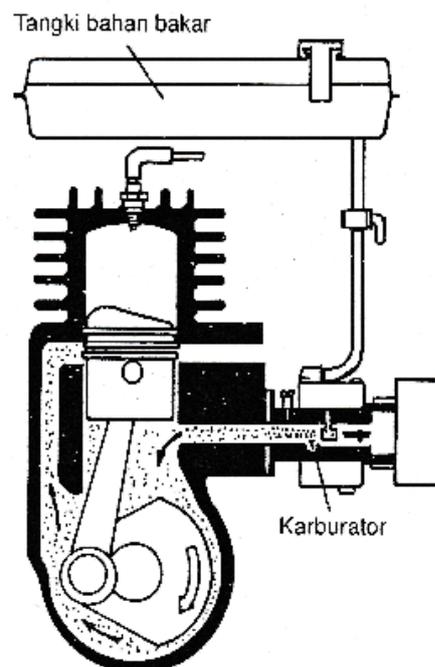
- a. Bentuk kabut

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.

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

1. Mesin pemotong rumput.
2. Kapal boat.
3. Generator dan kompresor.
4. Sepeda motor 2 tak. Contohnya seperti motor vespa yang dengan sistem pelumasan yang bercampur dengan bahan bakar seperti pada gambar 2.5.

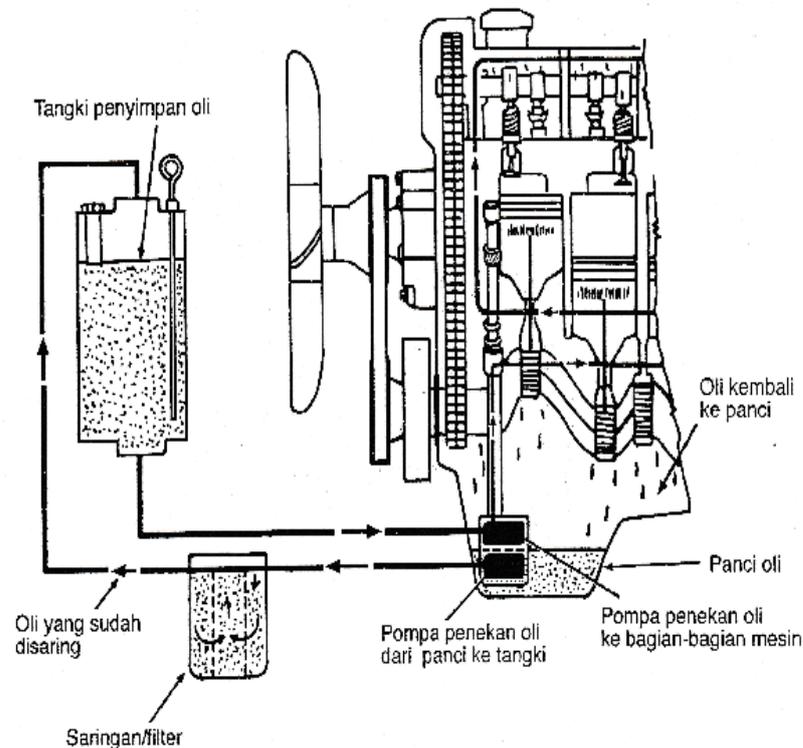


**Gambar 2.5** Pelumasan campur bahan bakar (Daryanto, 2004)

b. Bentuk kering

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). Contoh sistem pelumasan tipe kering dapat dilihat seperti pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Sistem pelumasan tipe kering (Daryanto, 2004)

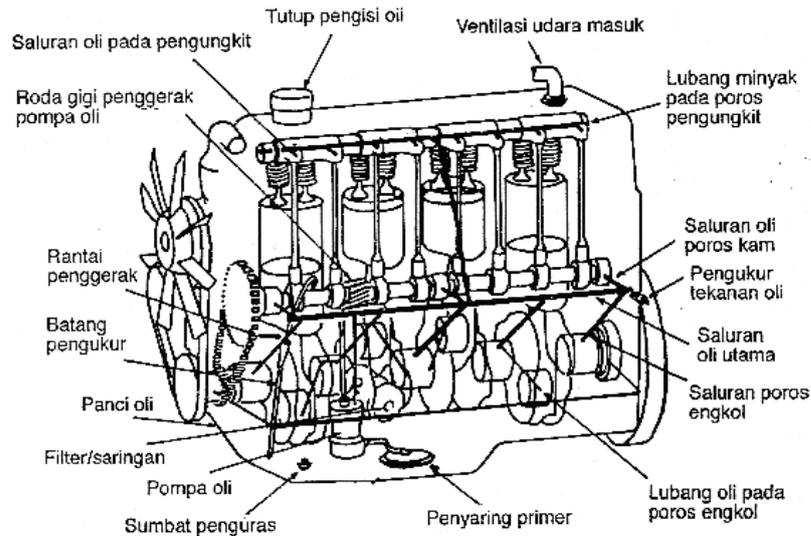
Sistem pelumasan kering jarang digunakan pada kendaraan bermotor, tetapi beberapa kendaraan besar seperti truk masih menggunakan pelumasan bentuk kering. Pelumasan kering banyak digunakan pada :

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

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

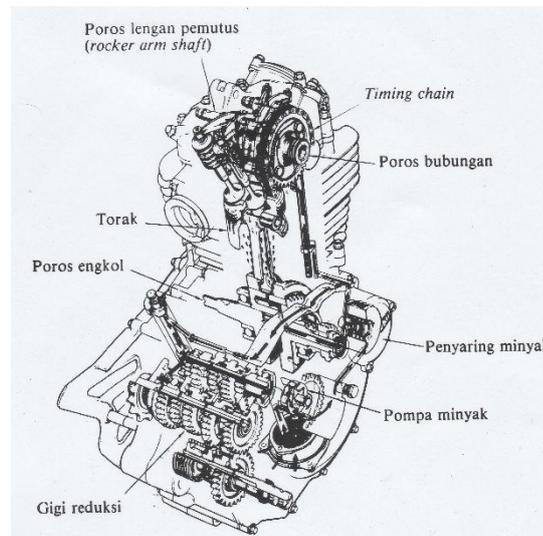
seluruh komponen yang terdapat di dalam mesin. Terkadang pada ujung dari poros batang torak terdapat penggaruk oli yang berfungsi membantu pengambilan oli. Jika putaran mesin meningkat tinggi maka oli berubah menjadi kabut lembut sehingga oli tersebut bisa masuk ke bagian bawah mesin. Contoh sistem pelumasan basah dapat dilihat seperti pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Sistem pelumasan basah (Daryanto, 2004)

#### d. Sistem Pelumasan Motor 4 Langkah

Daryanto (2004) 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 2.8** Sistem pelumasan motor 4-langkah (Daryanto, 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 kopleng.

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.



b) Temperatur

Viskositas akan turun dengan naiknya suhu, sedangkan viskositas gas akan naik dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya memperoleh energi. Molekul-molekul cairan bergerak sehingga menimbulkan gaya interaksi antar molekul menjadi melemah. Dengan demikian viskositas suatu zat cair akan turun dengan naiknya temperatur.

c) Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu dapat mengakibatkan meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambah seperti bahan suspensi akan menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin, adanya penambahan air akan menyebabkan viskositasnya menurun karena gliserin maupun minyak akan semakin encer pada waktu alirannya cepat.

d) Ukuran dan berat molekul

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

e) Berat molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

f) Kekuatan antar molekul

Viskositas air akan naik dengan adanya ikatan molekul hidrogen, viskositas molekul CPO dengan gugus OH pada *trigliserida* naik dalam keadaan sama.

g) Konsentrasi larutan

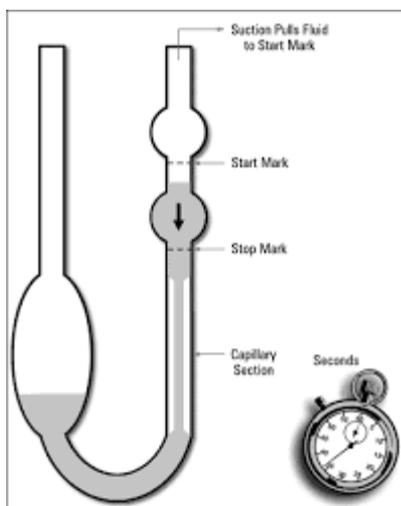
Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan bahwa banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Semakin banyak pula partikel yang terlarut, gesekan antar partikel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

### 2.2.2.3. Alat Ukur Viskositas

Menurut Liyan (2016), Cara menentukan nilai viskositas suatu zat dapat menggunakan alat yang dinamakan viskometer. Ada beberapa tipe dari viskometer yang digunakan antara lain:

#### 1) *Viscometer Oswald*

Viskositas dari cairan yang ditentukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan bagi cairan tersebut untuk lewat antara dua tanda ketika mengalir karena gravitasi melalui viskometer *ostwald*. Waktu alir dari cairan yang diuji dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan bagi suatu zat yang viskositasnya sudah diketahui (biasanya air) untuk lewat dua tanda tersebut.



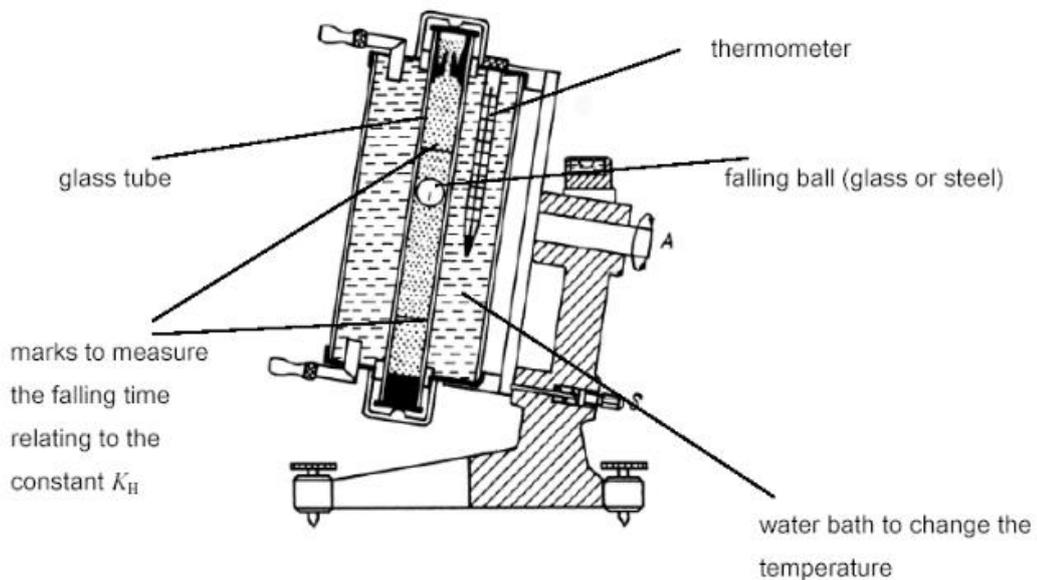
**Gambar 2.10** Viskometer *Oswald*

Cara penggunaannya adalah :

1. Penggunaan viskometer yang sudah bersih.
2. Masukkan cairan ke dalam viskometer dengan menggunakan pipet.
3. Lalu hisap cairan dengan menggunakan *pushball* sampai melewati 2 batas.
4. Siapkan *stopwatch*, naikkan 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) *Viscometer Hoppler*

Berdasarkan hukum stokes pada kecepatan bola maksimum, terjadi keseimbangan sehingga gaya gesek = gaya berat. Prinsip kerjanya adalah menggelindingkan bola (yang terbuat dari kaca) melalui tabung gelas yang berisi zat cair yang diselidiki. Kecepatan jatuhnya bola merupakan fungsi dari resiprok sampel.



**Gambar 2.11** Viskometer *Hoppler*

Prosedur penggunaannya adalah :

1. Ukur diameter bola
2. Timbang massa bola
3. Ukur panjang tabung *viscometer* 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 temperature lain dan cairan yang lain.

3) *Viscometer Cup dan Bob*

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



**Gambar 2.12** *Viskometer Cup dan Bob*

Kelemahan *viscometer* 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) *Viscometer Cone dan Plate*

Cara pemakaian adalah sampel ditempatkan di tengah-tengah papan, kemudian dinaikkan hingga posisi dibawah kerucut. Kerucut digerakkan oleh motor dengan bermacam kecepatan dan sampelnya digeser di dalam ruang semi transparan yang diam dan kemudian kerucut yang berputar.

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 plat 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 2.13** Viskometer *Cone dan Plate*

Prosedur Kalibrasi untuk Viskometer *Cone/Plate*

1. Atur jarak antara *cone spindle* dengan *plate* sesuai dengan instruksi 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 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 standar pada rentang 5 cP s.d 5.000 cP dianjurkan untuk *instrument cone/plate*. Jangan gunakan viskositas standar diatas 5.000 cP.

Toleransi dari viskometer *Brookfield* adalah 1% dari *Full Scale Range* (FSR). 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 Viskositas cairan yang bersangkutan.

#### 2.2.3.4. Viskositas Pelumas

Menurut Shigley (2004), Viskositas pelumas dibagi dalam dua jenis yang berbeda, diantaranya adalah:

- a) Viskositas Dinamis (mutlak/absolut)

Viskositas dinamis atau absolut adalah gaya tangensial per satuan luas yang dibutuhkan untuk memindahkan suatu bidang horisontal terhadap lainnya, dalam unit velositas (*velocity*), ketika mempertahankan jarak dalam cairan. Menurut Newton, bahwa tegangan geser dalam suatu cairan sebanding dengan laju perubahan kecepatan normal aliran, laju kecepatan ini disebut sebagai gradien kecepatan. Rumus untuk mencari viskositas dinamis adalah:

$$T = \mu (dc / dy) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

T = Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  = Viskositas dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

dc = satuan kecepatan (m/s)

dy = satuan jarak antara (m)

Dalam sistem SI satuan viskositas dinamis  $\text{Ns/m}^2$ , Pa s atau  $\text{kg}/(\text{ms})$ ,  
dimana:

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ Ns/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{ms})$$

Jika dinyatakan dalam metrik sistem CGS (centimeter, gram, seconds / detik)  
yaitu:  $\text{g}/(\text{cm s})$ ,  $\text{dyne s}/\text{cm}^2$  atau centipoise (cP), maka:

$$1 \text{ centipoise} = 1 \text{ dyne s}/\text{cm}^2 = 1 \text{ g}/(\text{cm s}) = 1/10 \text{ Pa s} = 1/10 \text{ Ns/m}^2$$

Untuk pemakaian poise akan menghasilkan angka yang terlalu besar sehingga  
sering dibagi 100 yaitu dalam centipoise (cP), menjadi:

$$1 \text{ P} = 100 \text{ cP}$$

$$1 \text{ cP} = 0,01 \text{ poise} = 0,01 \text{ g}/(\text{cm s}) = 0,001 \text{ Pascal} = 1 \text{ miliPascal} = 0,001 \text{ Ns/m}^2$$

Air pada suhu  $20,2^\circ\text{C}$  ( $68,4\text{F}$ ) memiliki viskositas mutlak 1 centipoise.

#### b) Viskositas Kinematis

Viskositas kinematik adalah rasio antara viskositas absolut untuk  
kepadatan (densitas) dengan jumlah dimana tidak ada kekuatan yang terlibat.  
Dihitung dengan membagi viskositas absolut cairan dengan densitas massa cairan.  
Rumus untuk mencari viskositas kinematis adalah:

$$v = \mu/\rho \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

$v$  = viskositas kinematis ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\mu$  = viskositas absolut / dinamis ( $\text{Ns}/\text{m}^2$ )

$\rho$  = densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Dalam sistem SI satuan viskositas kinematis adalah  $\text{m}^2/\text{s}$  atau Stoke (St),  
dimana:

$$1 \text{ St (Stoke)} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Karena Stoke adalah satuan unit yang besar maka perlu di bagi 100, agar menjadi  
unit yang lebih kecil, yaitu: centiStoke (cSt), maka akan berubah :

$$1 \text{ St} = 100 \text{ cSt}$$

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

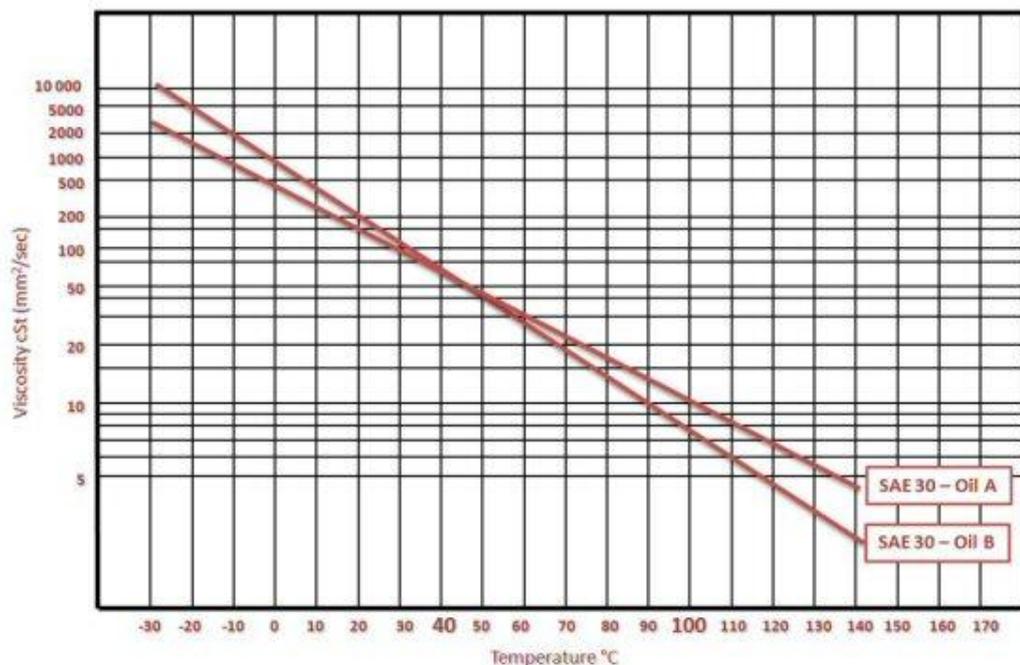
Berat jenis air pada suhu  $20,2^\circ\text{C}$  ( $68,4\text{F}$ ) adalah hampir satu dan viskositas  
kinematik air pada suhu  $20,2^\circ\text{C}$  ( $68,4\text{F}$ ) adalah  $1,0 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt).

Beberapa ciri viskositas yang berkisar pada suhu operasi ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** *Typical Operating Viscosity Ranges* (Shigley, 2004)

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

Indeks Viskositas mendefinisikan tingkat perubahan viskositas dengan perbedaan temperatur. Semakin rendah nilai indeks viskositas, semakin banyak penurunan viskositas pada saat minyak tersebut dipanaskan. Semakin tinggi nilai indeks viskositas, semakin sedikit penurunan viskositas pada saat minyak tersebut dipanaskan.



**Gambar 2.14** Indeks viskositas dan temperatur (www.kewengineering.co.uk, 2009)

Gambar 2.14 menunjukkan perbandingan indeks viskositas dua minyak dengan SAE 30. SAE (*Society of Automotive Engineer*) 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.

Persamaan untuk perhitungan indeks viskositas sampel minyak adalah

$$VI = \frac{100(L-U)}{L-H} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

IV = Indeks viskositas

U = Viskositas sampel di centistokes di 40°C

L = Viskositas kinematika (cSt) pada 40°C dari minyak yang indeks viskositasnya = 0, yang mempunyai viskositas pada 100°C dengan minyak yang indeks viskositasnya dicari.

H = Viskositas kinematika (cSt) pada 40°C dari minyak yang indeks viskositas = 100 yang mempunyai viskositas kinematika yang sama pada 100°C dengan minyak yang dicari IV-nya.

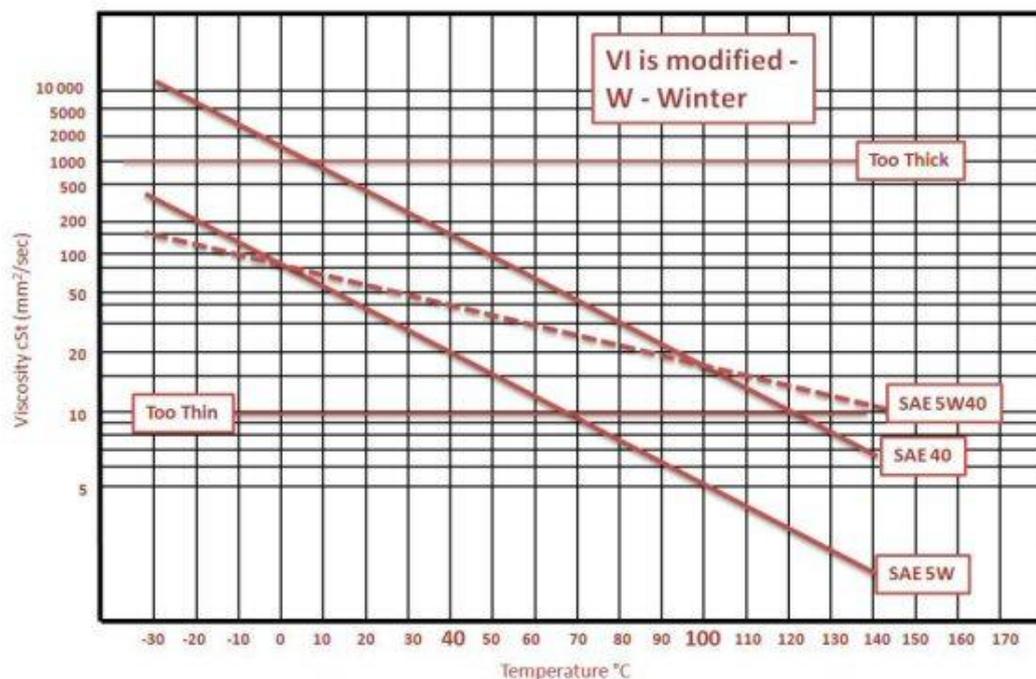
**Tabel 2.3.** Peringkat oli SAE ([www.kewengineering.co.uk](http://www.kewengineering.co.uk), 2009)

SAE Viscosity Grades for Engine Oils (SAE J300) - December 1999					
Grade	Absolute Viscosity (cP)		Kinematic Viscosity (cSt)		HTHS (cP) 150°C
	Maximum Cold Cranking	Maximum Cold Pumping	Minimum	Maximum	High-Temperature-High-Shear
<b>0 W</b>	6 200 @ -35°C	60 000 @ -40°C	3,8	-	-
<b>5 W</b>	6 600 @ -30°C	60 000 @ -35°C	3,8	-	-
<b>10 W</b>	7 000 @ -25°C	60 000 @ -30°C	4,1	-	-

**Tabel 2.3.** Peringkat oli SAE lanjutan (www.kewengineering.co.uk, 2009)

Grade	Absolute Viscosity (cP)		Kinematic Viscosity (cSt)		HTHS (cP) 150°C
	Maximum Cold Cranking	Maximum Cold Pumping	Minimum	Maximum	High-Temperature-High-Shear
15 W	7 000 @ -20°C	60 000 @ -25°C	5,6	-	-
20 W	9 500 @ -15°C	60 000 @ -20°C	5,6	-	-
25 W	13 000 @ -10°C	60 000 @ -15°C	9,3	-	-
20	-	-	5,6	<9,3	2,6
30	-	-	9,3	<12,5	2,9
40	-	-	12,5	<16,3	2,9 (1)
40	-	-	12,5	<16,3	3,7 (2)
50	-	-	16,3	<21,9	3,7
60	-	-	21,9	<26,1	3,7
<b>Note</b>					
(1) - for 0W-40, 5W-40 & 10W-40 oils					
(2) - for 15W-40, 20W-40, 25W-40 and SAE 40 oils					

Minyak dengan kekentalan ganda (*multi grade*) pada tahun 1960 tergantung pada musim dan buku pedoman yang direkomendasikan yaitu SAE 5W untuk kondisi dingin. SAE 30 dan 40 digunakan untuk kondisi musim panas, dan terkadang menggunakan SAE 50. Para ilmuwan menemukan penggunaan polimer dan berusaha mengembangkannya. Indeks viskositas pada polimer akan berpengaruh seiring dengan pemanasan pada minyak tersebut. Bukan berarti minyak tersebut memiliki ketebalan film seperti yang sering dikemukakan. Fungsi ini hanya memperlambat laju aliran minyak pada saat temperatur tinggi. Minyak dasar yang digunakan untuk minyak ganda adalah dengan kode awal 10W atau 20W, dimana kode selanjutnya adalah kekentalan yang dicapai pada indeks viskositas improvers (seperti 40 atau 50). Contoh SAE 20W-50 adalah SAE 20W adalah minyak dasarnya dan SAE 50 adalah kadar viskositas pada temperatur kerja. (www.kewengineering, 2009)



**Gambar 2.15** Grafik viskositas SAE 5W-40 (www.kewengineering.co.uk, 2009)

Mobil modern sekarang dirancang untuk menggunakan oli dengan kekentalan 10W-30 atau 0W-30. Hal ini disebabkan oleh kelonggaran pada celah antar komponen lebih presisi atau lebih kecil. kekentalan 20W-50 juga masih digunakan pada mobil moderen hanya saja panas yang dihasilkan lebih tinggi karena pada saat awal mengoperasikan minyak tersebut belum sepenuhnya dapat mengalir pada celah komponen mesin. SAE 20W-50 sering kali digunakan pada oli kendaraan yang lebih tua karena memiliki kelonggaran pada gearbox akibat kerusakan geser yang terjadi dan keausan. (www.kewengineering.co.uk, 2009)

### 2.2.3. Konduktivitas Termal

#### 2.2.3.1. Perpindahan Kalor

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 2.4** 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 menjadi 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 : Alumunium
- 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 dikonveksi tersebut 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.

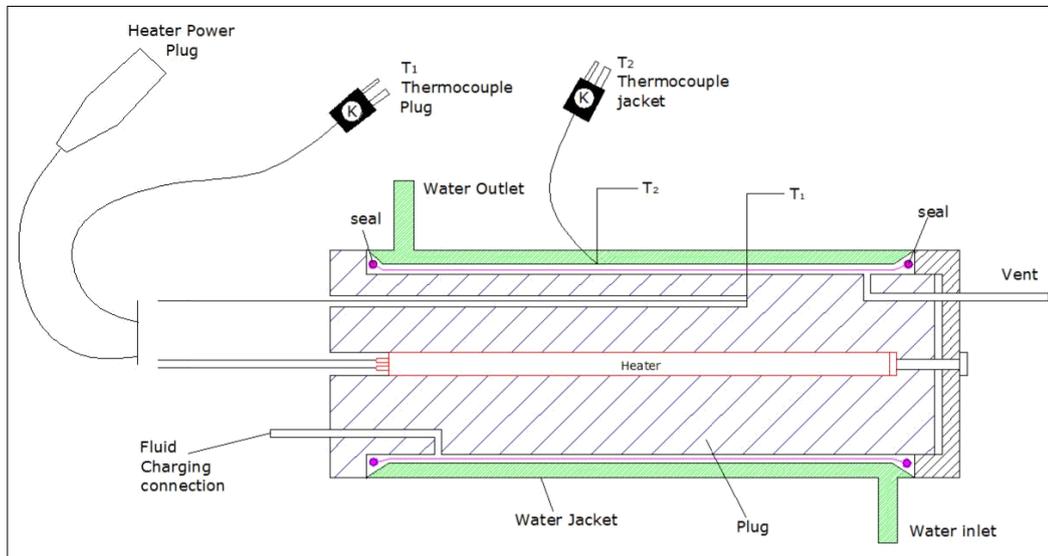
c. Perpindahan Panas Radiasi

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

### 2.2.3.2. 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, 2016)



**Gambar 2.16** Skema alat konduktivitas termal (Santosa dan Nurcahyadi, 2016)

Persamaan untuk perhitungan konduktivitas termal sebagai berikut:

1. *Elemen Heat Input*

$$Q_e = V \cdot I \dots\dots\dots (2.4)$$

2. *Temperatur Different*

$$\Delta t = T_1 - T_2 \dots\dots\dots (2.5)$$

3. *Conduction Heat Transfer Rate*

$$Q_c = Q_e - Q_i \dots\dots\dots (2.6)$$

4. *Thermal Conductivity*

$$K = \frac{Q_c \cdot \Delta r}{A \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

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

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

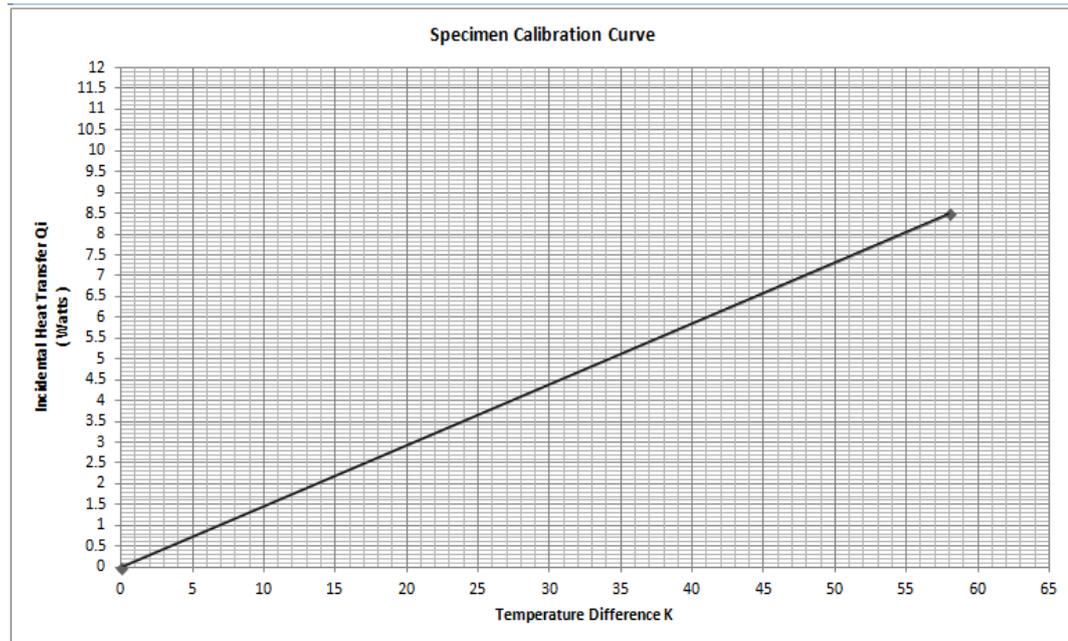
$T_2$  = Temperatur *Jacket* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$V$  = *Voltage* (V)

$I$  = *Current* (A)

$Q_e$  = *Element Heat Input* (W)

- $\Delta t$  = 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 m<sup>2</sup>  
 $K$  = *Thermal conductivity* (W/m.k)



**Gambar 2.17** Kurva kalibrasi  $Q_i$  (Santosa dan Nurcahyadi, 2016)

## 2.2.4. Pengujian Unjuk Kerja Mesin

### 2.2.4.1. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan suatu mesin untuk melakukan kerja, torsi merupakan besaran turunan yang digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh benda yang berputar pada porosnya. Torsi atau momen putar motor dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan :

$T$  = Torsi (N.m)

$F$  = Gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)

$r$  = Jarak panjang lengan (m)

#### 2.2.4.2. Daya

Daya merupakan suatu parameter untuk menentukan performa motor. Pengertian daya adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dinamometer dan *tachometer*. Untuk menghitung besarnya daya pada motor 4 langkah dapat digunakan rumus:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60.000} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

P = Daya (kW)

n = Putaran Mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

#### 2.2.4.3. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar merupakan ukuran dari suatu bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan tenaga mekanis, laju pemakaian bahan bakar tiap detiknya dapat ditentukan dengan rumus:

$$M_f = \frac{s}{v} \text{ (km/liter)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

M<sub>f</sub> = Konsumsi bahan bakar (km/liter)

s = Jarak tempuh (km)

v = Volume bahan bakar (liter)