

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini membahas tentang pengaruh karakteristik dari sampel pelumas terhadap kinerja sepeda motor. Dengan menggunakan sampel pelumas *Yamalube Sport*, *Castrol Power 1*, *Enduro 4T Racing*, dan *Eneos Touring* akan dilakukan penelitian dengan bahan uji sepeda motor Suzuki Shogun R 125 CC tahun pembuatan 2006. Penelitian ini membutuhkan penelitian terdahulu dengan topik yang sama. Adapun penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini akan dijelaskan pada Tabel 2.1 dan 2.2 .

**Tabel 2.1** Kekentalan pelumas mesin dalam perbedaan suhu dan dalam 10 kali pengujian (Effendi dan Adawiyah, 2014).

Merk Pelumas		Pengujian Sampel										Rerata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SGO SAE 20W50	Kamar	30.33	29.17	26.44	30.33	32.67	28.78	30.33	31.11	30.33	29.17	29.87
	70° C	19.06	17.5	18.67	20.22	17.5	18.67	17.89	19.44	18.67	18.28	18.59
AHMMPX1 SAE 10W30	Kamar	21.78	21	20.22	23.33	21.78	21.39	20.61	21	21.78	21.39	21.43
	70° C	17.89	14.78	16.33	18.67	14.78	17.11	15.56	14.78	15.17	17.11	16.22
Yamalube SAE 20W40	Kamar	21.78	24.11	26.44	28	25.67	23.33	23.33	26.44	25.28	26.06	25.04
	70° C	15.56	15.94	17.5	19.44	17.5	18.67	16.33	17.5	17.89	16.33	17.27
Shell HX5 SAE 15W50	Kamar	28.39	26.06	25.28	23.33	26.44	27.22	26.44	25.28	24.89	25.28	25.86
	70° C	20.61	18.67	20.61	19.44	19.06	18.67	18.67	19.83	20.61	19.44	19.56
Castrol SAE 20W50	Kamar	26.06	28	31.5	26.83	26.44	27.22	28	28.78	25.44	29.17	27.84
	70° C	19.06	17.89	16.33	17.5	18.67	17.89	18.67	17.5	19.06	19.44	18.2

**Tabel 2.2** Presentase penurunan kekentalan pada temperature 70° C (Effendi dan Adawiyah, 2014).

Merek Pelumas	Pengujian										Rerat a
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>SGO</i> SAE 20w50	63 %	60 %	71 %	67 %	54 %	65 %	59 %	63 %	62 %	63 %	62%
<i>AHM Oil MPXI</i> 10w30	82 %	70 %	81 %	80 %	68 %	80 %	75 %	70 %	70 %	80 %	76%
<i>Yamalube</i> SAE 20w40	71 %	66 %	66 %	69 %	68 %	80 %	70 %	66 %	71 %	63 %	69%
<i>Shell Helix HX5</i> SAE 15w50	73 %	72 %	82 %	83 %	72 %	69 %	71 %	78 %	83 %	77 %	76%
<i>Castrol Active</i> SAE 20w50	73 %	64 %	52 %	65 %	71 %	66 %	67 %	61 %	72 %	67 %	66%
<i>Top One Prostar</i> SAE 20w40	85 %	66 %	69 %	77 %	76 %	68 %	77 %	69 %	67 %	74 %	73%

Tabel 2.1 dan 2.2 Menurut Effendi dan Adawiyah (2014) rata-rata perubahan kekentalan pelumas pada temperature 70°C pelumas merek *SGO* SAE 20w-50 18.58, pelumas merek *AHM Oil MPXI* SAE 10W-30 16.22 pelumas merek *Yamalube* SAE 20W-40 17.27, pelumas merk *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.

Pada penelitian Hardiyanto (2012) tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas, beserta pengaruhnya terhadap kinerja sepeda motor Honda scoopy 110 cc tahun 2012 dengan menggunakan metode penelitian eksperimen dengan sampel oli *Mpx2* baru dan *Mpx2* bekas. Pengukuran konduktivitas termal dan viskositas yang hasilnya langsung keluar pada komputer dan mendapatkan hasil viskositas oli baru cenderung lebih baik dikarenakan oli baru masih murni dan belum terkontaminasi dengan zat apapun. Konduktivitas termal oli sangat mempengaruhi pada kinerja sepeda motor. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal maka meradiasikan panas yang terbuang semakin baik.

Pada penelitian Lisunda (2012) tentang karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas, beserta pengaruhnya terhadap kinerja motor Honda Vario 110 cc dengan metode penelitian eksperimen dengan sampel oli *Mpx2*

baru dan *Mpx2* bekas. Pengukuran konduktivitas termal dan viskositas menggunakan alat bantu *Thermal Conductivity of Liquid And Gases Unit*, viskometer NDJ 8S, dinamometer dengan menghasilkan viskositas dan konduktivitas termal mempengaruhi torsi dan daya pada kinerja mesin. Pada pengaruh torsi, viskositas tertinggi memiliki puncak torsi terendah dan menghasilkan pengaruh daya kinerja mesin yang paling tinggi dilihat dari oli baru. Konduktivitas termal tertinggi menghasilkan torsi yang rendah dan pengaruh daya yang dihasilkan rendah.

Pada penelitian Nugroho (2012) tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas, beserta pengaruhnya terhadap kinerja motor Honda Beat 110 CC dengan sistem karburasi dengan metode penelitian eksperimen dengan sampel oli *Mpx2* baru dan *Mpx2* bekas. Oli yang digunakan sejumlah 5 botol dengan kapasitas 600 ml. Pengukuran konduktivitas termal dan viskositas menggunakan alat bantu *Thermal Conductivity of Liquid And Gases Unit*, viskometer NDJ 8S, dinamometer dengan menghasilkan rata-rata bahwa oli baru mempunyai nilai viskositas tertinggi dan nilai konduktivitas termal terendah. Oli baru mencapai hasil nilai tertinggi untuk daya dan torsi. Didapatkan daya terendah pada 6,9 (Kw) sedangkan daya maksimum mencapai 7,2 (Kw) dengan konsumsi bahan bakar terendah. Sedangkan pada torsi oli baru menunjukkan 9,36 (N.m) dengan konsumsi bahan bakar tergolong irit dibandingkan dengan masing-masing sampel oli bekas.

Pada penelitian Utomo (2012) tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal minyak pelumas, beserta pengaruhnya terhadap kinerja motor Beat PGMFI 110 cc tahun 2013 dengan sistem pembakaran *Injection* metode penelitian eksperimen perlakuan berupa variasi pada oli pelumas yang digunakan yaitu dengan sampel oli *Mpx2* baru dan *Mpx2* bekas. Pengukuran konduktivitas termal dan viskositas menggunakan alat bantu *Thermal Conductivity of Liquid And Gases Unit*, viskometer NDJ 8S, dinamometer dan menghasilkan viskositas oli mesin makan torsi maksimum sepeda motor semakin kecil, dan daya puncak yang

dihasilkan mesin semakin kecil. Semakin tinggi konduktivitas termal oli maka torsi yang dihasilkan mesin semakin tinggi, dan daya puncak mesin semakin kecil.

Dari berbagai penelitian diatas maka dapat menjadikan data penelitian sebelumnya sebagai acuan dikarenakan jenis penelitian yang sama. Perbedaan penelitian pada jenis pelumas yang digunakan, jika saat ini menggunakan pelumas *Yamalube Sport*, *Castrol Power 1 Racing*, *Enduro 4 T*, dan *Eneos* atau dengan kata lain membandingkan jenis 4 macam pelumas, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan pelumas bekas dan baru sebagai bahan uji. Jenis sepeda motor yang digunakanpun juga berbeda. Namun baik penelitian saat ini maupun penelitian terdahulu banyak juga yang telah menggunakan sepeda motor dengan sistem PGMFI sebagai bahan uji. Penelitian untuk memperoleh data viskositas dan konduktivitas termal dengan membandingkan 4 jenis minyak pelumas.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Perawatan Mesin**

Dalam bahasa Indonesia *maintenance* berarti pemeliharaan. Banyak orang yang menganggap *maintenance* adalah perawatan. Padahal antara pemeliharaan dan perawatan itu sangatlah berbeda. Pemeliharaan adalah suatu langkah yang dilakukan secara rutin agar suatu benda ataupun alat terhindar dari kerusakan, sedangkan perawatan adalah penanganan suatu benda atau alat yang mengalami kerusakan agar dapat bekerja kembali dengan baik. Dari sini dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan dilakukan sebelum suatu benda/ alat mengalami kerusakan, sedangkan perawatan suatu tindakan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau masalah yang timbul.

Panjang pendeknya umur suatu mesin bisa dilihat dari cara perawatan dan pemakaian. Kondisi suatu mesin akan tetap prima bila perawatan dilakukan secara berkala. Perawatan berkala akan membuat umur mesin jauh lebih panjang. Kerusakan yang timbulpun dapat di minimalisir. Pada dasarnya konsep perawatan dibagi

menjadi 3 kelompok yaitu perawatan berkala, deteksi kerusakan, dan servis kendaraan. Pada perawatan berkala seorang pemakai kendaraan bisa melihatnya pada *manual book* yang diberikan pabrik sepeda motor sebagai pegangan pemilik dalam melakukan perawatan rutin, *manual book* ini juga sebagai acuan para teknisi kendaraan bermotor dalam melakukan perawatan berkala kendaraan yang dilakukan pada bengkel resmi maupun yang tidak resmi. Sementara itu pendeteksi kerusakan biasanya dilakukan akibat dari adanya mesin yang bekerja tidak normal, keluhan ini dirasakan saat pemakaian kendaraan dan disampaikan pada teknisi untuk selanjutnya dilakukan pengecekan atau biasa disebut pendeteksi kerusakan. Sementara servis kendaraan dilakukan saat mesin terjadi kerusakan, kerusakan bisa terjadi secara ringan maupun berat. Kerusakan ringan biasanya hanya dengan mengganti suatu komponen pada mesin kendaraan, namun jika kerusakan berat yang terjadi maka harus dilakukan *overhaul block* mesin.

### **2.2.2. Predictive Maintenance**

*Predictive Maintenance* merupakan suatu cara terbaik dalam melakukan perawatan mesin, dengan adanya *Predictive Maintenance* maka dapat diprediksi kapan waktu yang tepat dalam memperbaiki kembali komponen suatu mesin. Deteksi ini biasanya diketahui dengan cara pengecekan satu persatu bagian atau dengan cara melihat indikator. Dengan demikian maka kinerja suatu mesin akan tetap berjalan dengan lancar.

### **2.2.3. Analisa Minyak Pelumas**

Menganalisa minyak pelumas biasanya akan terbatas pada beberapa parameter yang dapat diperoleh. Namun parameter yang diperoleh sudah dapat memberikan data yang akurat tentang kondisi minyak pelumas serta kelayakannya untuk penggunaan lebih lanjut. Beberapa informasi penting tentang kondisi mesin/ peralatan dapat juga di peroleh, tetapi tidak selengkap analisa pelumas dengan *spectrometric* yang

umumnya ada di laboratorium. Beberapa parameter yang umum digunakan dalam mengukur atau menguji pelumas adalah:

- a. Kekentalan (*viscosity*)
- b. Kandungan air (*water content*)
- c. Kandungan garam (*salt content*)
- d. Polutan padat terlarut (*insolubles*)
- e. Total Nilai Basa (TBN)
- f. Total Nilai Asam (TAN)

- a. Viskositas - Kekentalan

Viskositas merupakan sifat dasar yang paling penting dari pelumas. Pelumas dengan kekentalan yang sesuai akan membentuk lapisan film yang kuat pada celah-celah bantalan (*bearing clearance*), hal ini akan membantu mengurangi resiko negative saat terjadi gesekan ataupun keadaan mesin yang panas maka pelumas akan membantu mendinginkan. Kekentalan pelumas mesin dapat berubah *viskositas* menjadi lebih encer akibat terkontaminasi bahan bakar ringan (*destilasi*), tanpa di sengaja tercampur bahan bakar mesin yang diakibatkan kebocoran bisa saja terjadi, dan rusaknya aditif polymer.

Standar kekentalan SAE (*SAE grade viscosity*) SAE 15W/40, angka pertama adalah nilai *viskositas* dalam satuan centiPoises (cP). Kode angka multi grade seperti 15W/40, yang dapat di artikan bahwa pelumas memiliki tingkat kekentalan sama dengan SAE 15 pada suhu udara dingin (W = Winter) dan SAE 40 pada suhu panas

Kekentalan dapat berubah karna di akibatkan kurang maksimalnya proses kerja filtrasi dan separasi. Proses penuaan pelumas (*oil aging*) sebagai akibat pengaruh panas dan *oksidasi*, juga menjadikan pelumas lebih kental. Kekentalan pelumas di ukur dalam dua standar suhu, 40°C dan 100°C.

## b. Kontaminan Air

Kontaminasi dengan air dapat menimbulkan terjadinya banyak masalah pada aplikasi pelumasan, masalah korosi adalah yang paling besar sangat erat kaitannya dengan polutan air. Dalam sistem pelumasan, polutan air dapat “menggantikan” atau mengurangi ketebalan lapisan pelumas, dan dapat juga menjadi katalis dari fasa penurunan kualitas pelumas. Hal ini merupakan masalah khusus yang di temui pada jenis pelumas sintesis. Dimana sangat mudah bereaksi dengan setiap jenis polutan air. Kontaminasi air yang berbentuk emulsi dapat menaikkan kekentalan pelumas. Hal ini akan berakibat pada rusaknya zat adiktif minyak pelumas yang dapat menimbulkan ketidak stabilan. Permasalahan akan mulai terjadi secara tersembunyi dan perlahan-lahan akan terlihat pada semua sistem pelumasan dengan tingkat kontaminasi air sekitar 0.2 %, beberapa sistem pelumasan sangat sensitive terhadap kontaminasi air.

Air adalah polutan berbahaya bagi aplikasi pelumasan, karna sering kali menjadi penyebab berbagai kerusakan serius dan menimbulkan biaya yang mahal. Kontaminasi air pada tangki pelumas menimbulkan tumbuhnya microbiologi, timbulnya ragi, jamur serta bakteri yang akan menyumbat filter dan juga sangat korosif pada sistim bahan bakar mesin. Pada aplikasi pelumasan beban tinggi, terutama bila lapisan film pelumas sangat tipis (pelumasan roda gigi), kontaminasi air menyebabkan berkurang atau bahkan menghilangkan lapisan film pelumas. Bentuk lain kerusakan akibat air adalah timbulnya karat yang menyebar sepanjang jalur pelumas mengalir.

Terdapat banyak sumber potential masuknya air dalam sistim pelumasan:

- Kebocoran air dari sistim pendinginan (*oil cooler, charge air cooler*).
- Kondensasi pada tangki mau pun *crankcase*.
- *Blow-by* dari ruang bakar mesin. Kebocoran pada pipa pernafasan tangki (*vents pipe*).

- Kebocoran air pendingin jaket silinder (*jacket water cooling*) akibat seal/ blok mesin yang aus.
- Pencemaran saat proses penambahan pelumas.

Bahaya kontaminasi air:

- Menimbulkan karat pada semua komponen logam.
- Menimbulkan kerusakan pada bantalan (*bearing*).
- Merusak zat aditif pada pelumas.
- Membentuk emulsi, air dan pelumas.
- Menimbulkan uap bertekanan pada sistem pelumasan penyebab kavitasi.

c. Kandungan garam (*salt content*)

Kandungan garam juga menjadi bagian yang penting. Jumlah kandungan garam yang terlalu banyak pada mesin akan mengakibatkan terjadinya korosi yang semakin cepat. Hal ini dikarenakan garam mempunyai sifat korosi yang besar. Penggantian minyak pelumas secara rutin akan meminimalisir jumlah kandungan garam pada pelumas dan mencegah terjadinya kerusakan.

d. Polutan padat terlarut (*insolubles*)

Padatan pada sistem pelumasan dapat mengakibatkan keausan secara signifikan pada bagian yang terkena minyak pelumas. Hal ini karena menjadikan gesekan antar komponen satu dengan yang lain menjadi terganggu. Polutan padat bisa dari luar saat terjadi kebocoran ataupun bisa polutan dari dalam karena terjadinya gesekan antar komponen yang menimbulkan gram.

e. Total Nilai Basa (TBN)

Jumlah ini menunjukkan kemampuan minyak dalam menetralsir tingkat keasaman. Semakin tinggi jumlah dasar (TBN) semakin besar kemampuannya dalam menetralsir keasaman. TBN yang rendah diakibatkan beberapa factor seperti penggunaan bahan bakar yang mengandung kandungan sulfur cukup tinggi, *overheating*, menggunakan minyak pelumas yang tidak sesuai dengan jenis suatu mesin.

f. Total Nilai Asam (TAN)

Ini adalah ukuran dari jumlah asam. Suatu minyak baru akan mengandung zat aditif yang mempengaruhi jumlah total asam (TAN). Dari sini bisa diketahui *sample* ketiga oli dengan kondisi baru dan merk yang berbeda akan mudah diketahui jumlah asam nya.

#### 2.2.4. Oli

Pelumas adalah zat kimia, yang pada umumnya cairan, yang difungsikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek dan mendinginkan suatu permukaan yang dilumasi. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105°C-135° C. Pelumas juga memiliki fungsi sebagai lapisan pelindung untuk 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 pada mesin pembakaran dalam. Pelumas juga digunakan dalam *gearbox persenelling* / media pemindahan dan gardan pada kendaraan mobil. Fungsi utama pelumas untuk mengurangi gesekan antar komponen mesin, sebagai media pendingin mesin, serta untuk mengurangi tingkat keausan. Pada Gambar 2.1 dibawah ini dicantumkan jenis-jenis pelumas dengan merk yang berbeda untuk dilakukan penelitian dan didapatkan hasil yang berbeda dengan mengetahui kualitas pelumas terbaik.



**Gambar 2.1** Macam-macam pelumas

Empat jenis oli/ pelumas diatas mempunyai nilai viskositas yang berbeda, dimana setiap produknya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu agar suatu kendaraan mempunyai daya kerja optimal sesuai yang diinginkan. Performa mesin yang tinggi didapatkan dari jenis pelumas yang baik dan sesuai.

Proses yang pertama kali dalam pengolahan minyak pelumas adalah proses pemisahan pada distilasi atmosfer. Dari masing-masing fraksi sesuai spesifikasi kekentalanya dan trayek didih. Bahan dasar minyak pelumas berat di peroleh dari menara distilasi vakum bagian bawah dengan aspaltin damar, dan bahan-bahan yang tidak disukai. dari minyak mentah yang mengandung komponen yang tidak disukai untuk dibentuk menjadi minyak pelumas. Bahan fraksi pelumas yang baik ini harus dihilangkan atau dirombak dengan melalui proses seperti liquid ekstraktion, pengkristalan, pemilihan jenis hidrokraking dan atau proses penjenuhan .Karakteristik yang tidak disukai termasuk titik tuang yang tinggi. Perubahan viskositas yang tinggi akibat suhu yang rendah. Kesetabilan terhadap oksidasi yang rendah, titik beku yang tinggi, asam organik yang tinggi, dan kadar karbon yang tinggi dan kecenderungan pembentukan *sludge*.

SAE adalah singkatan dari *Society of Automotive Engineers*, suatu asosiasi yang mengatur standarisasi di berbagai bidang seperti bidang manufaktur dan

rancang desain teknik. Tulisan seperti SAE 10W-30, 10W-40 atau 20W-40, 20W-50, adalah standarisasi yang dikeluarkan oleh pihak SAE untuk kualitas dari kekentalan oli. Angka di sebelah kiri tanda W adalah nilai kekentalan oli ketika mesin dingin. Kemudian angka di sebelah kanan W adalah nilai kekentalan oli ketika mesin beroperasi pada suhu kerjanya. Semakin besar angkanya maka semakin kental pada kondisinya. Misalnya oli dengan kekentalan sama 15W, dengan kode pada oli adalah 15W-40 yang satunya lagi 15W-50, maka keduanya mempunyai kekentalan yang sama saat mesin dingin, tetapi ketika mesin sudah beroperasi, yang 15W-40 akan lebih encer dari pada 15W-50. Pada batas normal bisa disimpulkan bahwa semakin kental oli maka pelumasan akan semakin baik. Hal ini dimisalkan seperti halnya manusia berjalan di air encer dan kental maka akan lebih mudah berjalan pada air encer. Namun kekentalan yg rendah memiliki dampak part logam yang dilumasi cepat mengalami keausan.

#### **2.2.5. Fungsi dan Syarat Minyak Pelumas**

Peran oli pelumas bagi keberadaan dan kelangsungan hidup operasional mesin amatlah penting. Sedemikian pentingnya keberadaan pelumas pada mesin sehingga bisa dikatakan tidak ada mesin apapun yang dapat berfungsi dengan baik dan berjalan dengan operasional normal tanpa bantuan pelumas. Berikut ini akan dijabarkan secara singkat 5 fungsi utama oli pelumas pada mesin, baik itu mesin industri, mesin otomotif, mesin perkapalan, mesin penerbangan dan juga jenis mesin apapun ke-4 nya.

1. Membantu penyerapan panas saat mesin sedang bekerja dan sesat setelah digunakan.
2. Membantu merapatkan logam saat terjadi gesekan.
3. Sebagai peredam benda yang bergesekan.

4. Mengurangi tingkat keausan logam akibat gesekan, serta memperkecil timbulnya gram logam.
5. Sebagai tempat penyaringan kotoran logam yang merugikan melalui saringan oli dan mengalirkannya pada penampung pelumas.

Agar suatu minyak pelumas dapat memenuhi fungsi tersebut maka dibutuhkan syarat-syarat sebagai berikut, yaitu :

1. Membantu menghilangkan pengendapan dengan jalan menghanyutkan partikel-partikel kecil.
2. Titik nyala yang tinggi, maka akan bermanfaat pada pelumas agar tidak mudah terbakar saat suhu kerja mesin tinggi.
3. Melumasi bagian-bagian mesin agar mencegah timbulnya korosi.
4. Memberikan daya sekat sebagai penutup logam yang bergesekan agar tidak timbul celah kebocoran.
5. Pelumas harus tidak berbuih dan tidak mengandung zat-zat yang justru merugikan mesin.
6. Tahan terhadap partikel hasil pembakaran
7. Mempunyai viskositas baik yang berpengaruh pada titik alir yang rendah agar tetap mengalir saat suhu kerja yang rendah.
8. Membentuk lapisan film dalam proses kerja pelumasan berfungsi menghindari sentuhan langsung antar logam.
9. Viskositas yang baik dan sesuai dengan kriteria mesin.

### 2.2.6. 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 itu dibuat
  - a. Pelumas mineral yang berasal dari minyak bumi. Mineral yang terbaik digunakan untuk pelumas mesin-mesin diesel otomotif, kapal, dan industri.
  - b. Pelumas nabati, yaitu yang terbuat dari bahan lemak binatang atau tumbuh-tumbuhan. Sifat penting yang dimiliki pelumas nabati ini ialah bebas sulfur atau belerang, tetapi tidak tahan suhu tinggi, sehingga untuk mendapatkan sifat gabungan yang baik biasanya sering dicampur dengan bahan pelumas yang berasal dari bahan minyak mineral, biasa disebut juga *compound oil*.
  - c. Pelumas sintetik, yaitu pelumas yang bukan berasal dari nabati ataupun mineral. Minyak pelumas ini berasal dari suatu bahan yang dihasilkan dari pengolahan tersendiri. Pada umumnya pelumas sintetik mempunyai sifat-sifat khusus, seperti daya tahan terhadap suhu tinggi yang lebih baik dari pada pelumas mineral atau nabati, daya tahan terhadap asam, dll.
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. Adapaun cara membedakan oli berdasarkan grade nya bisa diketahui dengan cara melihat kode indeks kekentalannya.
  - a. Oli *monograde*, yaitu oli yang indeks kekentalannya dinyatakan hanya satu angka.
  - b. Oli *multigrade*, yaitu oli yang indeks kekentalannya dinyatakan dalam lebih dari satu angka.

3. Berdasarkan penggunaan minyak pelumas (diatur oleh *The American Petroleum Institutes Engine Service Classification*).
  - a. Penggunaan minyak pelumas untuk mesin bensin.
  - b. Penggunaan minyak pelumas untuk mesin diesel.

### **2.2.7. Sifat Penting Minyak Pelumas**

Motor bakar baik bensin maupun diesel terdiri dari berbagai komponen dalam melakukan proses kerjanya. Beberapa komponen tersebut tersusun atas bahan logam (*metal part*) yang statis maupun dinamis seperti katup, piston, gear, silinder block, *camshaft* dan lain-lain. Komponen tersebut harus terjaga agar pergerakan mesin dapat berjalan baik sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian. Suatu mesin yang dilengkapi sistem pelumasan maka akan menjaga komponen tersebut. Berikut beberapa sifat yang harus ada pada minyak pelumas agar memenuhi fungsinya, adalah sebagai berikut.

1. Keadaan visual pelumas

Dengan melihat tampilan suatu pelumas maka akan mudah dalam mengidentifikasi. Penampilan pelumas dengan melihat keadaan visualnya dan dapat menunjukkan kondisi suatu pelumas. Apakah pelumas dalam keadaan jernih, pelumas terlihat tidak jernih atau berkabut, dan pelumas yang tidak terlalu gelap. Hal ini menunjukkan adanya kandungan produksi oksidasi dari pelumas ataupun dari bahan bakar.

2. *Specific Gravity (SG)*

Membandingkan berat minyak dan air dengan volume yang sama pada suhu tertentu.

### 3. Warna

Dengan mengetahui warnanya maka indentifikasi kondisi minyak pelumas akan semakin mudah, karena analisa keadaan minyak pelumas bisa diketahui dengan melihat tampilan visualnya.

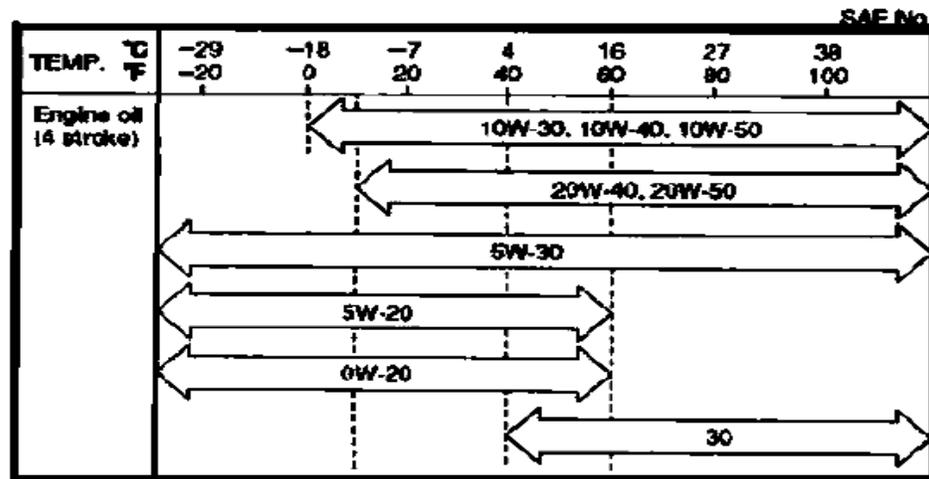
### 4. *Viscosity*

Besarnya tahanan aliran yang dimiliki setiap fluida termasuk pelumas. tingkat kekentalan merupakan sifat fisik fluida yang berubah terhadap perubahan temperaturnya, sehingga pengukuran kekentalan harus disertai dengan pengukuran suhu pada waktu yang bersamaan. Suatu pelumas yang terlalu kental akan menyulitkan mesin saat bekerja, namun pelumas yang terlalu encer juga akan merusak mesin karena sistem pelumasan tidak sempurna.

### 5. *Viscosity Index* / Indeks kekentalan

*Viscosity Index* adalah skala kekentalan pelumas terhadap perubahan temperature. Pelumas yang baik ialah yang tingkat kekentalannya teratur dan tidak terlalu berpengaruh pada suhu, walaupun pada dasarnya suhu yang naik akan mengencerkan pelumas. Hubungan antara temperatur sekeliling dan indeks kekentalan dari oli mesin diperlihatkan dalam Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Indeks kekentalan oli mesin (Febrianto, 2012)



Dari Table 2.3 menjelaskan hubungan antara viskositas minyak pelumas dan pengaruhnya terhadap suhu pada percobaan mesin 4 langkah.

6. Titik tuang

Pada sifat ini dapat diketahui sifat baiknya daya alir pelumas. Daya alir pelumasan dilihat pada saat mengalami temperatur rendah. Temperatur terendah diambil dikarenakan pada saat temperatur rendah suatu pelumas akan memiliki tingkat viskositas yang tinggi.

7. Titik Nyala

Adalah suatu pengukuran titik nyala pelumas pada temperatur terendah. Hal ini difungsikan untuk *safety* yang berhubungan dengan pemakaian. Jika titik nyala pelumas pada suhu rendah masih bisa menyala maka akan mengakibatkan terbakarnya minyak pelumas, hal ini berbahaya karena akan berpengaruh pada *volume* dan viskositas pelumas.

8. Total Base Number (TBN)

Kemampuan pelumas dalam menetralkan keasaman. Pada umumnya angka TBN minyak pelumas yang sudah dipakai akan lebih rendah dari pada minyak pelumas baru, hal ini dikarenakan sebagian basa telah digunakan

untuk menetralkan asam saat mesin bekerja. Dari pengukuran angka TBN ini dapat diidentifikasi pelumas masih layak pakai ataupun tidak.

9. *Total Acid Number* (TAN)

Hampir sama dengan TBN bahwa fungsi dari *Total Acid Number* adalah untuk mengetahui kadar keasaman pelumas yang terjadi karena peristiwa oksidasi air atau uap air.

10. *Carbon Residue* / Prosentase Karbon

Mengetahui prosentase jumlah karbon dalam kandungan minyak pelumas yang mengendap apabila minyak pelumas diuapkan dengan temperatur tertentu.

11. *Oxidation Stability* (ketahanan Oksidasi)

Salah satu sifat yang harus dimiliki minyak pelumas pada saat proses kerja. Suhu panas yang berkolaborasi dengan udara ruangan akan menyebabkan pelumas terjadi oksidasi, oksidasi ini akan membentuk asam yang berpengaruh pada viskositas pelumas dan dapat menyebabkan terjadinya lumpur yang bersifat korosif.

12. Sifat *detergency* dan *dispersancy*

- Sifat *detergency*: Sifat yang membersihkan komponen yang dilumasi, terutama saluran-saluran maupun bagian-bagian dari mesin yang dilalui minyak pelumas, maka penyumbatan dapat dihindari.
- Sifat *dispersancy*: Mampu menghilangkan pengendapan pada mesin akibat kotoran-kotoran yang terbawa akibat proses kerja mesin, yang jika dibiarkan akan mengendap dan mengakibatkan seperti lumpur (*sludge*).

## **2.3. Viskositas**

### **2.3.1. Definisi Viskositas**

Viskositas suatu fluida merupakan daya hambat yang disebabkan oleh gesekan antara molekul-molekul cairan, yang mampu menahan aliran fluida sehingga dapat dinyatakan sebagai indikator tingkat kekentalannya. Nilai kuantitatif dari viskositas dapat dihitung dengan membandingkan gaya tekan persatuan luas terhadap gradien kecepatan aliran fluida. Prinsip dasar ini yang dipergunakan untuk menghitung viskositas secara eksperimen menggunakan metode putar, yaitu dengan memasukkan penghambat kedalam fluida dan kemudian diputar. Semakin lambat putaran penghambat tersebut maka semakin tinggi nilai viskositasnya (Gottlieb 1979; Thibodeau 2004; Warsito et al, 2009).

Viskositas adalah gesekan internal fluida. Gaya viskos melawan gerakan sebagian fluida relative terhadap yang lain. Viskositas adalah suatu pernyataan “tahanan untuk mengalir” dari suatu sistem yang mendapat suatu tekanan. Makin kental suatu cairan, makin besar gaya yang dibutuhkan untuk membuatnya mengalir pada kecepatan tertentu. Viskositas fluida dinotasikan dengan  $\eta$  (“eta”) sebagai rasio tegangan geser. Untuk mengukur besaran viskositas diperlukan satuan ukuran. Dalam sistem standar international satuan viskositas ditetapkan sebagai viskositas kinematic dengan satuan ukuran  $mm^2/s$  atau  $cm^2/s$ .  $1 cm^2/s = 100 mm^2/s$ ,  $1 cm^2/s = 1 St$  (Stokes) (Young, 2002).

### **2.3.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Viskositas**

Ada beberapa faktor yang sangat berpengaruh terhadap viskositas, yaitu :

#### **1. Temperatur**

Sifat yang disebut viskositas fluida ini merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas suatu gas bertambah dengan naiknya temperatur, karena makin besarnya aktivitas

molekuler ketika temperatur meningkat. Sedangkan pada zat cair, jarak antar molekul jauh lebih kecil dibanding pada gas, sehingga kohesi molekuler disitu kuat sekali. Peningkatan temperatur mengurangi kohesi molekuler dan ini diwujudkan berupa berkurangnya viskositas fluida (Olson, 1993:21).

## 2. Tekanan

Semakin besar beban yang diberikan bantalan, maka semakin tinggi pula kenaikan suhu pada pelumas. Kenaikan suhu ini akan berakibat melemahkan ikatan molekul fluida yang kemudian menurunkan viskositasnya. Viskositas semua jenis fluida atau cairan akan menurun dengan naiknya suhu (Komarudin, 2017).

## 3. Adanya zat lain dari luar

Penambahan gula tebu meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambahan seperti bahan suspensi (misalnya *albumin* dan *globulin*) menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin adanya penambahan air akan menyebabkan viskositas akan turun karena gliserin ataupun minyak akan semakin encer, waktu alirnyapun akan semakin cepat.

## 4. Bentuk molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap semakin tinggi.

## 5. Ukuran dan berat molekul

Viskositas naik dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, larutan minyak laju alirnya lambat dan kekentalannya tinggi. Larutan minyak misalnya CPO memiliki kekentalan tinggi serta laju aliran lambat sehingga viskositas juga tinggi.

## 6. Konsentrasi

Untuk suatu larutan viskositasnya bergantung pada konsentrasi atau kepekatan larutan. Umumnya larutan yang konsentrasinya tinggi, viskositasnya juga tinggi. Sebaliknya larutan yang viskositasnya rendah, konsentrasinya juga rendah.

#### 7. Kekuatan antar molekul

Viskositas air naik dengan adanya ikatan *hydrogen*, viskositas CPO dengan gugus OH pada trigliseridannya naik pada keadaan yang sama.

### 2.3.3. Pelumas Viskositas

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

#### a. Kekentalan Dinamik atau Absolute Viskositas Dinamis

Kekentalan dinamik 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, dengan :

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

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

#### b. Viskositas Kinematik

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, dengan 1 centistoke (Cst) =  $\text{mm}^2 / \text{s}$ . Centistoke adalah unit yang paling sering dikutip oleh pemasok pelumas dan pengguna. Dalam prakteknya, perbedaan antara viskositas kinematik dan dinamis tidak paling penting penting untuk minyak pelumas, karena kepadatan mereka pada suhu operasi biasanya terletak antara 0,8 dan 1,2. Namun, untuk beberapa sintesis 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 pada roda gigi untuk beban yang ringan, dan kecepatan tinggi atau sistem tertutup sepenuhnya. Sebaliknya, viskositas yang lebih tinggi dipilih untuk roda gigi yang memiliki kecepatan rendah, beban yang tinggi, atau sistem ini berventilasi baik.

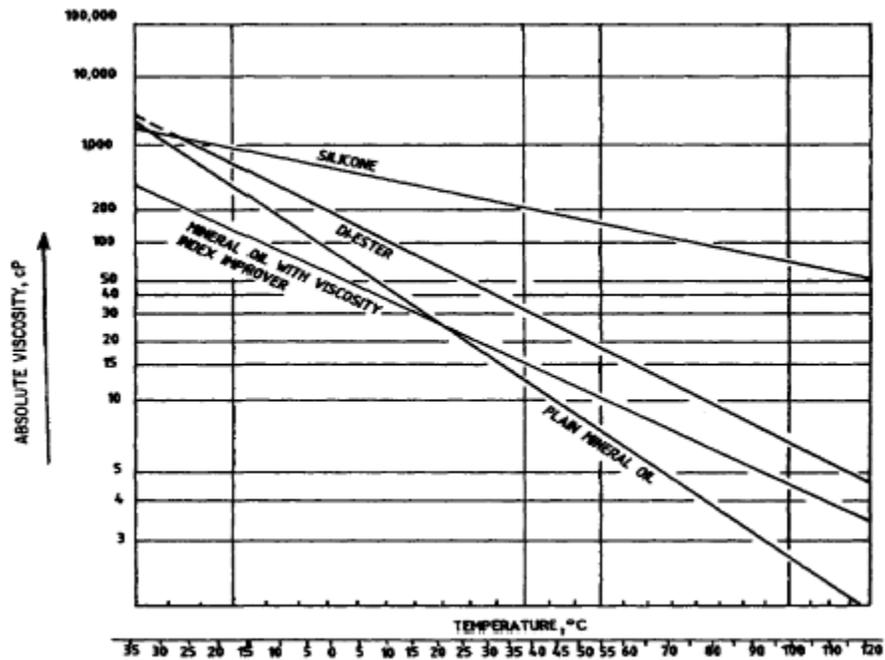
Variasi viskositas minyak dengan suhu akan sangat penting dalam beberapa sistem, dimana suhu operasi baik bervariasi ataupun tidak bervariasi sangat berbeda dengan suhu acuan viskositas minyak. Setiap penurunan viskositas suatu cairan diiringi dengan naiknya suhu, namun tingkat penurunan dapat bervariasi dari satu cairan dengan cairan yang lain dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Suhu operasi viskositas (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

**Tabel 2.4** 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).

Indeks Viskositas mendefinisikan hubungan viskositas dengan suhu minyak pada skala tinggi dibandingkan dengan dua minyak standar seperti terlihat pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Indeks Viskositas (Shigley, 2004).

Gambar 2.2 menjelaskan Indeks viskositas 0, mewakili perubahan yang paling cepat viskositas dengan suhu biasanya ditemukan dengan minyak mineral. Minyak pelumas 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 indek visikositas sampel minyak :

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

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

Beberapa minyak sintetis dapat memiliki indeks viskositas lebih dari 150 dengan definisi diatas, tetapi penerapan definisi pada nilai tinggi seperti diragukan. Indeks viskositas minyak dapat ditingkatkan dengan melarutkan didalamnya kuantitas (kadang-kadang setinggi 20 persen) dari polimer yang cocok, disebut viskositas indek perbaiki. SAE adalah peringkat skala viskositas yang sangat luas digunakan dan direproduksi pada **Tabel 2.5**.

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 tingkatan 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 2.5.** SAE Oil Rating (www.myodesie.com)

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	

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 mungkin akan tetap menghasilkan film minyak yang memadai ketebalan. Secara teoritis indeks viskositas penting hanya dimana suhu yang signifikan variasi berlaku., tetapi sebenarnya ada kecenderungan untuk hanya menggunakan minyak viskositas indeks tinggi dalam pembuatan berkualitas tinggi pelumas. Akibatnya, indeks viskositas tinggi sering dianggap sebagai kriteria kualitas pelumas., bahkan dimana indeks viskositas seperti adalah sedikit atau tidak penting.

Sebelum kita meninggalkan subyek viskositas pelumas, mungkin beberapa unit viskositas yang 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 menggantikan mereka seluruhnya oleh viskositas kinematic.

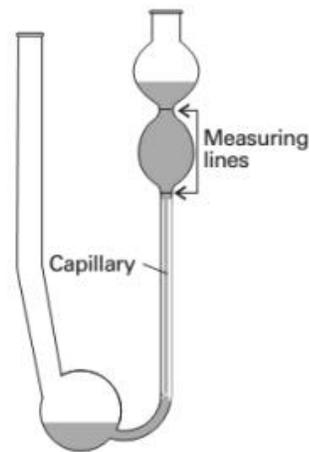
#### **2.3.4. Pengukuran Viskositas**

Viskometer adalah alat yang dipergunakan untuk mengukur viskositas atau kekentalan suatu larutan. Kebanyakan viscometer mengukur kecepatan dari suatu cairan mengalir melalui pipa gelas (gelas kapiler), bila cairan itu mengalir cepat maka viskositas cairan itu rendah (misalnya air) 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 viscometer. Ada beberapa tipe viscometer yang biasa 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 2.3** Viskometer Oswald (Wayan, 2014).

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. Karena viskositas cairan ditetapkan dengan cara membandingkan dengan cairan yang mempunyai viskositas tertentu, misalnya air.

Cara penggunaannya adalah :

1. Penggunaan viscometer yang sudah bersih.
2. Pipetkan cairan ke dalam viscometer 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 penghitungannya.
5. Catat hasil, dan lakukan penghitungan dengan rumus.
6. Usahakan saat melakukan penghitungan kita menggenggam dilengan yang tidak berisi cairan.

## 2. Viskometer Hoppler

Yang diukur adalah waktu yang diperlukan oleh sebuah bola untuk melewati cairan pada jarak dan pada ketinggian tertentu. Karena adanya gravitasi benda yang jatuh melalui medium yang berviskositas dengan kecepatan yang semakin besar sampai mencapai kecepatan maksimum.



**Gambar 2.4** Viskometer Hoppler ([www.news-medical.net](http://www.news-medical.net))

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.

2. Timbang masa bola.
3. Ukur panjang tabung viscometer dari batas atas sampai batas bawah.
4. Tentukan massa jenis masing–masing cairan.
5. Ukur temperatur alat viskositas Hoppler.
6. Isi tabung dengan aquades dan dimasukan 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 kali sebanyak 3 kali berturut-turut, pada temperatur lain dan cairan yang lain.

### 3. Viskometer *Cup* dan *Bob*

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



**Gambar 2.5.** Viskometer *Cup* dan *Bob*

Kelemahan viscometer ini adalah terjadinya aliran sumbat yang disebabkan geseran yang disebabkan geseran yang 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.

#### 4. Viskometer *Cone* dan *Plane*

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 instrument yang canggih untuk menentukan secara rutin viskositas *absolut* cairan dalam volume sampel kecil. *Cone* dan *plate* memberikan presisi yang diperlukan untuk pengembangan data *rheology* 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 pada alat.
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 2.6** Viskometer *Cone* dan *Plate* (Ardianto, 2015).

#### 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*.

#### **2.4. Konduktivitas Thermal**

Konduktivitas termal adalah suatu fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energy termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu 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 (temperatur gradient), maka menurut pengalaman akan terjadi perpindahan energy dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energy berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor berbanding dengan gradient suhu normal.

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

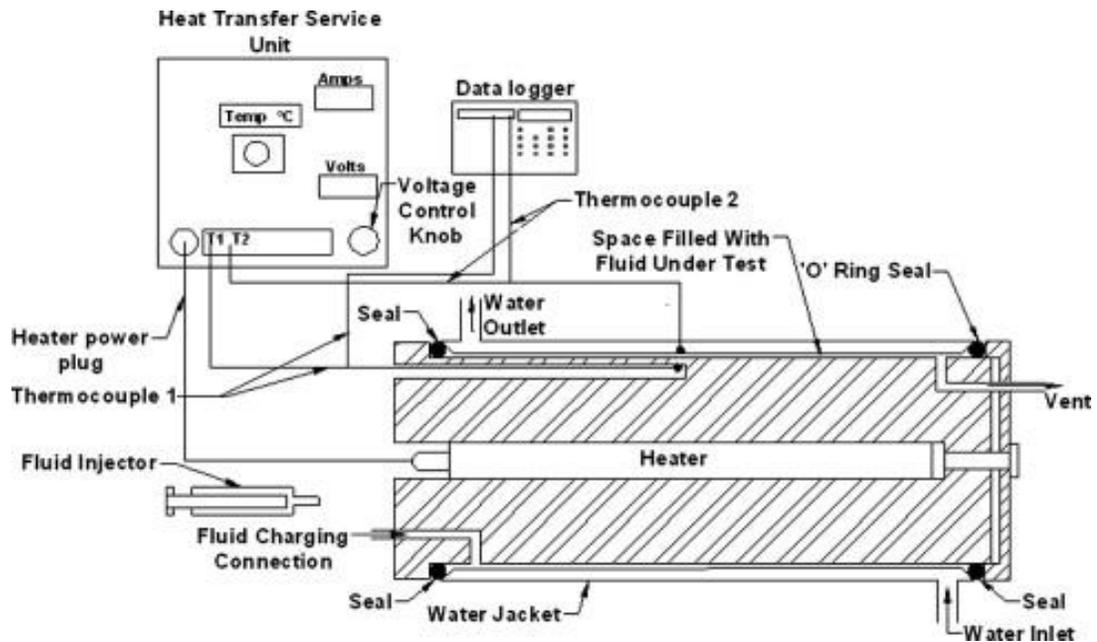
c. Perpindahan Kalor Radiasi

(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 disini adalah sinaran radiasi elektromagnetik.

#### 2.4.1. 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 didalam sebuah ruang sempit berbentuk *annular (radial clearance)*. Sampel fluida yang konduktivitas *thermal* efektifnya akan diukur memenuhi/mengisi ruang kecil diantara 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 temperatur*) diukur dengan akurat.



**Gambar 2.7.** Gambar skema alat pengukur konduktivitas termal

(<http://www.sciencedirect.com>)

Dari Gambar 2.7. diketahui bahwa ruang bebas tersebut cukup kecil untuk mencegah adanya konveksi alamiah (*natural convection*) didalam sampel fluida tersebut. Karena radial *clearance* yang relatif sangat kecil tersebut. Sampel fluida yang ada didalam 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 (T1) dan jacket (T2) dengan menyesuaikan variable transformer (Irwansyah dan Kamal,2015).

Persamaan untk perhitungan konduktivitas termal sebagai berikut :

1. *Elemen Heat Input*

$$Q_c = V.I \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Temperatur *Different*

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

3. *Conduction Heat Transfer Rate (Qc)*

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

4. *Thermal Conductivity*

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

$\Delta r$  = *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 :

$T_1$  = Temperatur *Plug* (°C)

$T_2$  = Temperature *Jacket* (°C)

$V$  = Voltage (V)

$I$  = Current (A)

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

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

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

$Q_i$  = *Incidental Heat Transfer* (W)

$Q_c$  = *Conduction Heat Transfer Rate*(W)

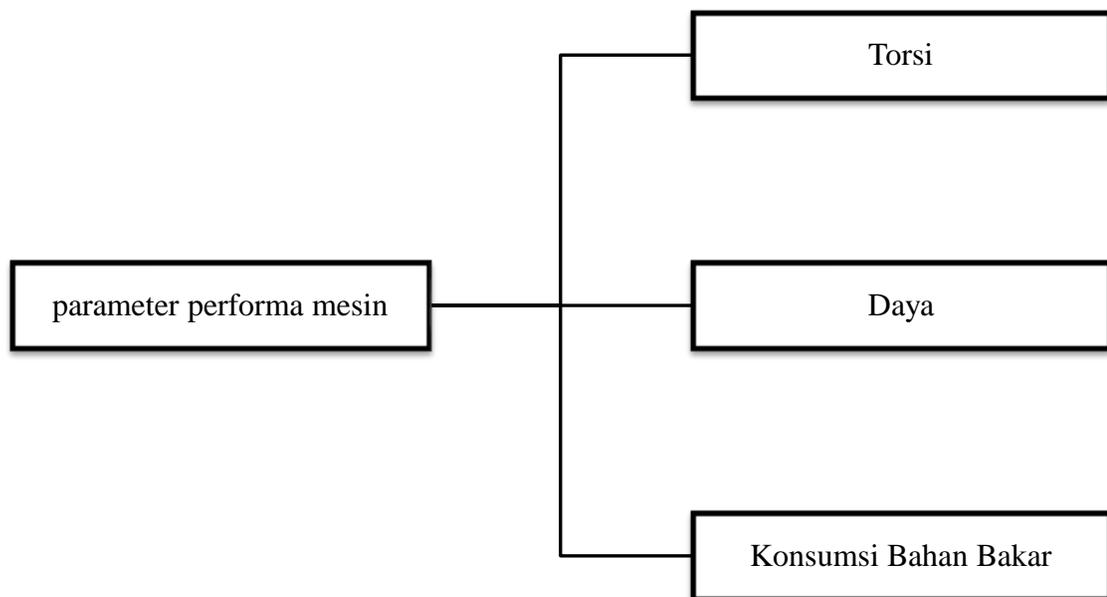
$A$  = Luas efektif antara *plug* dan *jacket* (m<sup>2</sup>) = 0.0133 m<sup>2</sup>

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

## 2.5. Kinerja Mesin

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

Parameter performa mesin dapat dilihat dari berbagai hal diantaranya yang terdapat dalam diagram dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8.** Parameter Performa Mesin

### 2.5.1 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 lengan torak . *Torque* dapat diperoleh dari hasil kali antara gaya dengan jarak (Arends dan Berenschot, 1980)

$$(T = F \times r) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

T = Torsi (N.m)

F = Gaya penyeimbang yang diberikan (N)

r = Jarak lengan torsi (M)

### 2.5.2. 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).

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

Dengan :

P = Daya (Kw)

N = Putaran Mesin (rpm)

T = Torsi (Nm)

### 2.5.3. Konsumsi Bahan Bakar

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

$$SFC = \frac{Mf}{p} \text{ (Liter/kWh) } \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

SF = Konsumsi bahan bakar spesifik (Liter/kWh)

Mf = Konsumsi bahan bakar (Liter/jam)

B = Volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)

$T_t$  = Waktu yang diperlukan kosongan buret dalam detik (s)

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