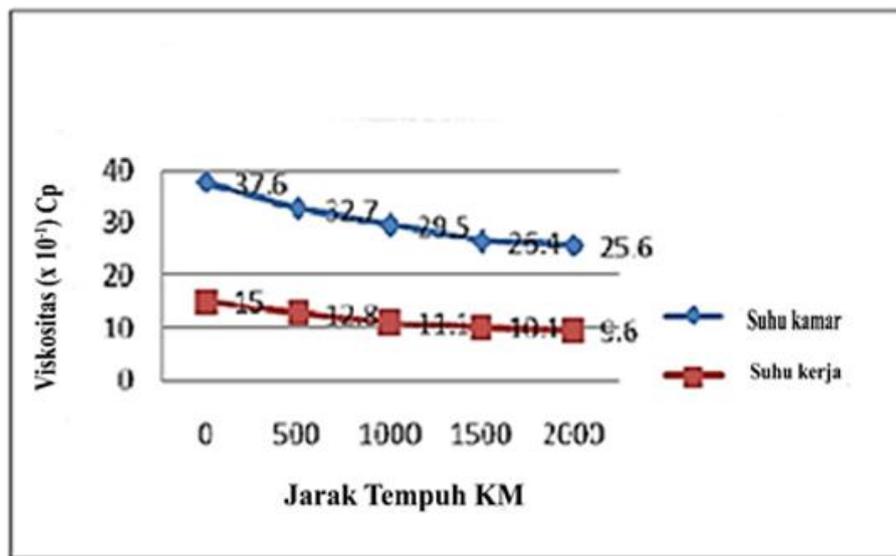


## BAB II

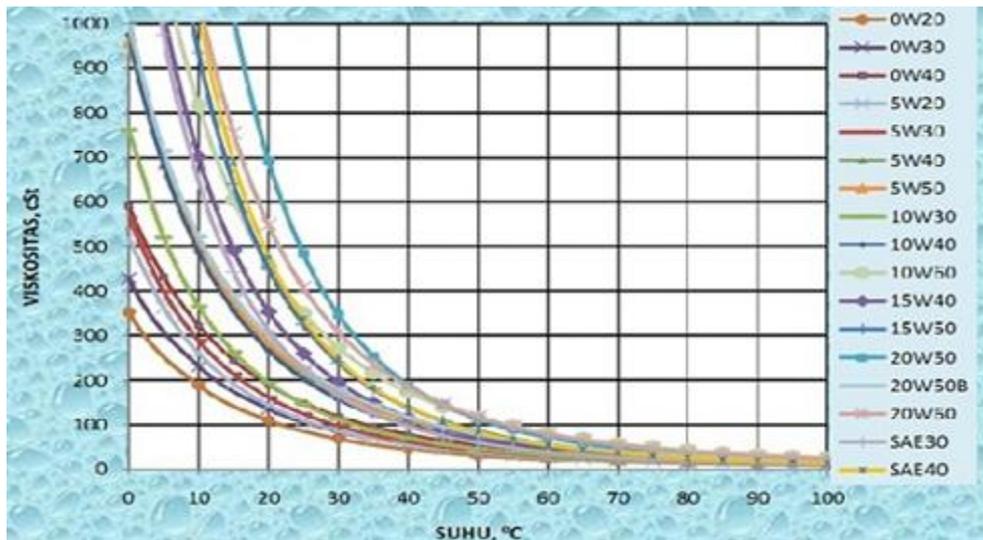
### DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian berikut membahas tentang pengaruh karakteristik dari sempel oli yang diuji dengan menganalisa pengaruhnya terhadap kinerja sepeda motor. Untuk mendukung penelitian ini maka dibutuhkan beberapa penelitian terdahulu. Menurut Arisandi (2012) pada pelumas semi sintetis pada suhu kamar dari 0 km sampai 2000 km mengalami penurunan yang cenderung stabil dan juga pada suhu kerja dari 0 km sampai 2000 km viskositas penurunan pelumas stabil. Pelumas pada suhu kamar cenderung mengalami penurunan yang cukup signifikan sedangkan pada suhu kerja cenderung stabil, hal ini karena pada temperatur kamar viskositas pelumas tinggi sehingga penurunan viskositas yang drastis akan terlihat. Pada suhu kerja viskositas pelumas sudah turun, sehingga kalau terjadi penurunan viskositas tidak terlalu signifikan.



**Gambar 2.1.** Grafik perbandingan viskositas pelumas semi sintetis pada suhu kamar dan kerja (Arisandi, 2012)



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

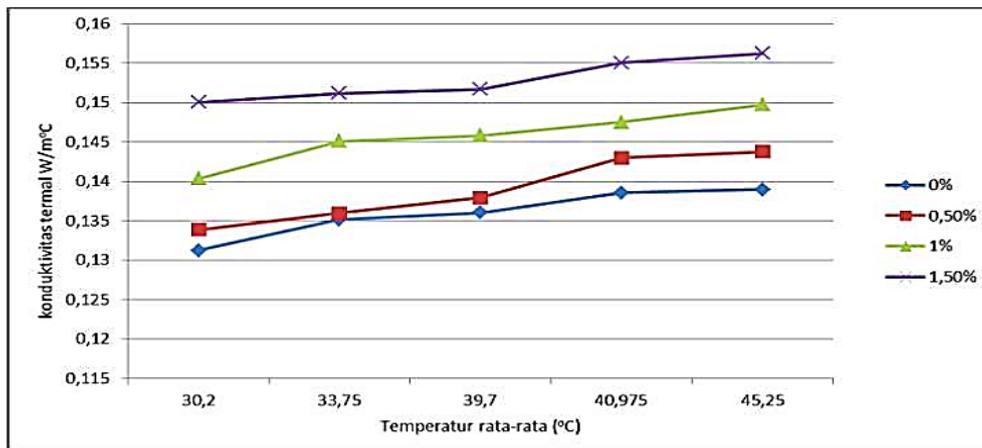
Gambar 2.1. menunjukkan profil kurva setiap jenis SAE (*Society of Automotive Engineers*) oli mesin, dari mulai SAE dengan kode yang rendah sampai SAE kode yang tertinggi. Dari grafik tersebut terlihat bahwa perbedaan yang nyata mengenai kekentalan dari setiap jenis SAE oli mesin hanya terjadi pada suhu rendah dibawah 40<sup>0</sup>C. Pada grafik diatas kekentalan semua jenis SAE oli mesin menuju ke satu garis lurus (Fuad, 2011)

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

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

Penelitian Effendi dan Adawiyah (2014) menunjukkan bahwa rata-rata perubahan kekentalan pelumas pada temperatur 70<sup>0</sup>C pelumas merek SGO SAE 20W-50 18.58, pelumas merek AHM Oil MPX1 SAE 10W-30 16.22 Pelumas merek Yamalube SAE 20W-40 17.27, Pelumas merek Shell Helix HX5 SAE 15W-50 19.51, Pelumas merek Castrol Active SAE 20W-50 18.20, Pelumas merek Top One Prostar SAE 20W-40 18.16 dilihat pada tabel 2.1 .

Menurut Irawansyah dan Kamal (2015) yang melakukan penelitian terhadap fluida nano  $\text{TiO}_2$ /oli termo XT32 dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan fraksi volume terhadap konduktivitas termalnya. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah *thermal conductivity for liquids and gases unit* PA Hilton 1111 dengan mengamati perbedaan temperatur pada celah sempit antara plug (T1) dan jacket (T2). Pengambilan data konduktivitas termal dengan memvariasikan temperatur dan fraksi volume 0,5%, 1%, dan 1,5%. Adapun data yang diperoleh pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Grafik hubungan antara temperatur dan fraksi volume terhadap konduktivitas termal (Irawansyah dan Kamal, 2015)

Pada gambar 2.2. menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi fraksi volume partikel nano dan temperatur akan menyebabkan peningkatan nilai konduktivitas termal fluida nano dengan semakin tingginya konsentrasi fraksi volume dan temperatur, maka akan semakin besar nilai konduktivitas termalnya.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Perawatan Mesin

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

*Maintenance* dalam Bahasa Indonesia adalah Pemeliharaan. Pada saat ini masih banyak orang menganggap *maintenace* adalah perawatan, karena banyak yang beranggapan perawatan dengan pemeliharaan itu sama. Pada kenyataannya perawatan dan pemeliharaan adalah berbeda. Pemeliharaan adalah tindakan yang dilakukan terhadap suatu alat atau produk agar produk tersebut tidak mengalami kerusakan, sedangkan perawatan adalah suatu tindakan perbaikan yang dilakukan terhadap suatu alat yang telah mengalami kerusakan agar alat tersebut dapat dioperasikan kembali.

Salah satu bentuk konsep perawatan rutin pada sepeda motor yang harus dilakukan agar performa kendaraan tetap dalam kondisi prima dan memperpanjang umur pemakaian mesin meliputi, perawatan berkala, pendeteksi kerusakan, dan servis kendaraan. Perawatan berkala dilakukan dengan mengacu pada buku manual yang dikeluarkan oleh pabrikan. Penggunaan operasional yang tidak normal dapat menjadi parameter untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada mesin. Servis berkala pada kendaraan merupakan suatu agenda rutin untuk menjaga performa mesin sepeda motor. Apabila hal tersebut rutin dilakukan maka akan berpengaruh pada umur mesin sepeda motor menjadi lebih panjang.

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

*Predictive Maintenance* merupakan perawatan yang bersifat prediksi, hal tersebut merupakan evaluasi dari perawatan berkala (*Preventif Maintenance*). Proses mendeteksi dapat dievaluasi dari indikator-indikator yang terpasang pada instalasi suatu alat dan juga dapat melakukan pengecekan vibrasi untuk menambah data sebagai evaluasi dan tindakan perbaikan selanjutnya.

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

Analisa minyak diperlukan untuk mengetahui proses pemeliharaan *preventif*. Analisa dilakukan pada sampel minyak pelumas dengan cara mengukur.

- a. Nilai Viskositas dari minyak pelumas, viskositas yang rendah akan mempengaruhi kemampuan untuk mencegah gesekan yang berlebih antar komponen yang bergesekan. Viskositas tinggi dapat menghambat aliran minyak pelumas untuk melumasi bagian yang sempit dalam komponen mesin.
- b. Kontaminasi minyak dengan air atau *coolant* dapat menyebabkan masalah besar pada sistem pelumasan.
- c. Pengenceran karena BBM. Pengenceran minyak dalam mesin, menyebabkan operasi mesin yang tidak benar, kebocoran sistem bahan bakar, masalah pengapian tidak tepat waktu, atau kekurangan lainnya.
- d. Padatan konten adalah padatan dalam sistem pelumas dapat secara signifikan meningkatkan keausan pada bagian yang dilumasi.
- e. Jelaga BBM adalah indikator yang digunakan untuk menganalisa minyak pelumas pada mesin berbahan bakar minyak. Jelaga bahan bakar selalu ada dalam proses pembakaran.

- f. Oksidasi minyak dapat menyebabkan endapan, korosi logam, atau penebalan minyak.
- g. Nitration bahan bakar dapat meninggalkan endapan pada daerah pembakaran.
- h. *Total Acid Number* adalah ukuran dari jumlah asam atau *acidlike* materi dalam sampel minyak.
- i. *Total Base Number* adalah kemampuan minyak untuk menetralkan keasaman. Semakin tinggi Jumlah dasar (TBN) maka semakin besar kemampuannya untuk menetralkan keasaman.
- j. Kandungan partikel adalah analisis penghitungan partikel menjadi bagian dari analisis minyak pelumas. Jumlah partikel yang tinggi mengindikasikan sebuah mesin dengan pemakaian yang normal (Moblely, 2008).

### 2.2.2. Pengertian Oli

Oli (Pelumas) merupakan zat kimia yang berupa cairan, diberikan pada dua benda yang bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat kimia ini merupakan fraksi dari hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105-135 derajat *celcius*. Pelumas memiliki fungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan antara dua permukaan yang berhubungan. Pada umumnya pelumas terdiri dari 90% minyak dasar dan 10% zat tambahan. Penggunaan pelumas yang paling utama adalah oli mesin yang dipakai oleh mesin. Fungsi utamanya untuk melumasi dan mengurangi gesekan, meningkatkan efisiensi, mengurangi keausan mesin, dan sebagai pendingin mesin dari panas yang timbul akibat gesekan.



**Gambar 2.3.** Macam-macam Oli yang dijual di Indonesia (<https://centexvq.com/memilih-oli-matic-terbaik/>)

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

SAE (*Society of Automotive Engineers*) ialah kode pengenal oli, suatu asosiasi yang mengatur standarisasi diberbagai bidang seperti bidang desain teknik dan manufaktur. Parameter ini sudah tercantum pada masing-masing kemasan oli dengan kode SAE, Angka yang mengikuti di belakangnya, menunjukkan tingkat kekentalan oli tersebut. SAE 40 atau SAE 10W-50, semakin besar angka yang mengikuti kode oli menandakan semakin kentalnya oli tersebut. Huruf W (*Winter*), SAE 10W-50 pelumas tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 10 untuk kondisi suhu dingin dan SAE 50 pada kondisi suhu panas (Nugroho dan Sunarno, 2012).

#### **2.2.2.1. Fungsi Oli (Pelumasan)**

Oli yang digunakan pada mesin pada motor atau mobil harus memiliki fungsi sebagai berikut :

a. Memperkecil koefisien gesek

Fungsi minyak pelumas ialah untuk melumasi bagian-bagian mesin yang bergerak untuk mencegah keausan akibat dua benda yang bergesekan.

b. Pendingin (*Cooling*)

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

c. Pembersih (*Cleaning*)

Kotoran (geram) yang timbul akibat gesekan akan terbawa oleh minyak pelumas menuju karter yang selanjutnya akan mengendap pada bagian bawah karter dan ditangkap oleh magnet pada dasar karter. Kotoran yang ikut dengan aliran minyak pelumas akan disaring oleh filter oli agar tidak terbawa dan terdistribusi kebagian-bagian mesin yang mengakibatkan kerusakan atau mengganggu kinerja mesin.

d. Perapat (*Sealing*)

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

e. Sebagai Penyerap Tegangan

Oli mesin akan menyerap dan menekan tekanan lokal yang bereaksi pada komponen yang dilumasi, serta melindungi komponen mesin agar tidak menjadi tajam yang akan mengakibatkan terjadinya gesekan-gesekan pada bagian yang bersinggungan.

f. Pencegahan Korosi

Peranan pelumas dalam mencegah korosi, pertama saat mesin idle, pelumas berfungsi sebagai preservative. Saat mesin bekerja pelumas melapisi bagian mesin dengan lapisan pelindung yang mengandung aditif untuk menetralkan bahan korosif (Arisandi, 2012).

#### 2.2.2.2. Jenis-Jenis Oli

Minyak pelumas mesin atau oli mesin memang banyak jenisnya. Bergantung jenis penggunaan mesin itu sendiri yang membutuhkan oli yang tepat untuk menambah atau mengawetkan usia pakai (*life time*) mesin.

a. Pelumas Mineral

Menurut Arismunandar (1988) Oli Mineral adalah oli yang berbahan bakar oli dasar (*base oli*) yang diolah dari minyak bumi. Minyak mineral merupakan minyak yang paling banyak digunakan sebagai bahan minyak pelumas. Kemampuan dan kelebihan sebagai berikut :

- Harganya paling murah dan dapat dikatakan masih banyak tersedia. Walaupun harga minyak bumi terus menanjak, dibandingkan dengan bahan lainnya harganya masih jauh lebih murah.
- Suhu kemampuan operasinya cukup lebar untuk dapat melayani penggunaan di dalam industri maupun otomotif atau kendaraan.
- Sifat sifat kimia dan fisiknya mudah dikontrol oleh pabrik maupun oleh instansi yang berwenang.
- Bahan tidak beracun.
- Sudah dicampur dengan bahan-bahan kimia lain seperti bahan apa yang dikenal dengan nama aditif, dengan maksud untuk meningkatkan kemampuan unjuk kerjanya.

- Tidak merusak sekat (*seal*).
- Mempunyai selang waktu yang ekonomis di dalam melayani mesin.

Bahan mineral minyak bumi yang merupakan bahan yang dapat menghasilkan bahan bakar dan minyak pelumas terdiri dari elemen-elemen hidrogen dan karbon. Hidrogen dan karbon merupakan elemen-elemen organik yang membentuk ikatan yang dikenal dengan nama hidrokarbon, elemen-elemen hidrokarbon ini berasal dari tumbuh-tumbuhan.

#### b. Pelumas Sintentik

Menurut Arismunandar (1988) pengertian bahasa sintetis diartikan sebagai bahan tiruan atau buatan. Sifat-sifat dari minyak pelumas sintetis adalah sama dengan minyak pelumas biasa atau konvensional yang berasal dari minyak bumi. Untuk penggunaan tertentu minyak pelumas sintetis mempunyai kualitas lebih baik daripada minyak pelumas mineral.

Oli harus memiliki kekentalan lebih tepat pada temperatur tertinggi atau temperatur terendah ketika mesin dioperasikan karena nilai viskositas masing-masing oli akan berkurang jika suhu cairan dinaikkan. Suhu semakin tinggi diikuti makin rendahnya viskositas oli atau sebaliknya.

#### 2.2.2.3. Sifat Penting Pelumas Mesin

Beberapa sifat yang perlu diperhatikan minyak pelumas untuk memenuhi fungsinya adalah :

- a. Kekentalan minyak pelumas harus sesuai dengan fungsi minyak itu untuk mencegah keausan permukaan bagian yang bergesekan, terutama pada beban yang besar dan pada putaran rendah. Minyak pelumas yang terlalu kental sukar mengalir melalui salurannya, disamping menyebabkan kerugian daya mesin yang terlalu besar.
- b. Indeks kekentalan minyak pelumas itu berubah ubah menurut perubahan temperatur. Minyak pelumas yang baik tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur, sehingga dapat berfungsi sebagaimana mestinya, baik dalam keadaan dingin, pada waktu mesin mulai berputar maupun pada temperatur kerja.
- c. Titik tuang pada temperatur tertentu, minyak pelumas akan membentuk jaringan kristal yang menyebabkan minyak itu sukar mengalir. Karena itu sebaiknya dipergunakan minyak pelumas dengan titik tuang yang serendah-rendahnya untuk menjamin agar pelumas dapat mengalir pada keadaan operasi.

- d. Stabilitas, beberapa minyak pelumas pada temperatur tinggi akan berubah susunan kimianya sehingga terjadilah endapan yang mengakibatkan cincin torak melekat pada alurnya. Dalam beberapa hal minyak pelumas dapat membentuk lumpur apabila bercampur dengan air dan beberapa komponen hasil pembakaran.
- e. Minyak pelumas harus memiliki kelumasan, atau sifat melumasi, yang cukup baik, yaitu dapat membasahi permukaan logam. Sifat ini sangat penting untuk melindungi permukaan bagian (Arismunandar, 1988).

### **2.2.3. Viskositas**

#### **2.2.3.1. Pengertian Viskositas**

Viskositas adalah istilah ilmiah yang menggambarkan resistensi terhadap aliran fluida. Ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida bergerak atau benda padat yang bergerak di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Viskositas dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk ukuran dan bentuk molekul, interaksi di antara mereka, dan suhu. Viskositas cairan akan menimbulkan gaya gesekan antara bagian atau lapisan cairan yang bergerak satu terhadap yang lain. Hambatan atau gesekan yang terjadi ditimbulkan oleh gaya kohesi dalam zat cair. (Yazid, 2005).

#### **2.2.3.2. Faktor–Faktor Yang Mempengaruhi Viskositas**

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

- a. Tekanan

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

- b. Temperatur

Viskositas akan turun dengan naiknya suhu, sedangkan viskositas gas naik dengan naiknya suhu. Molekul-molekul cairan bergerak sehingga gaya interaksi antar molekul melemah. Dengan demikian viskositas cairan akan turun dengan kenaikan temperatur.

- c. Kehadiran zat lain

Pada minyak ataupun gliserin adanya penambahan air akan menyebabkan viskositas turun karena gliserin maupun minyak akan semakin encer, waktu alirnya semakin cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

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

e. Berat molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap semakin banyak.

f. Kekuatan antar molekul

Viskositas air naik dengan adanya ikatan hidrogen.

g. Konsentrasi larutan

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

### 2.2.3.3. Viskositas Pelumas

Shigley (2004) viskositas pelumas didefinisikan dalam dua cara yang berbeda dan kedua definisi sebagai berikut :

a. Kekentalan Dinamik atau Absolut

Viskositas dinamis atau absolut 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 lebih diterima secara luas.

$$1 \text{ centipoise (cP)} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

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

b. Viskositas Kinematik

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

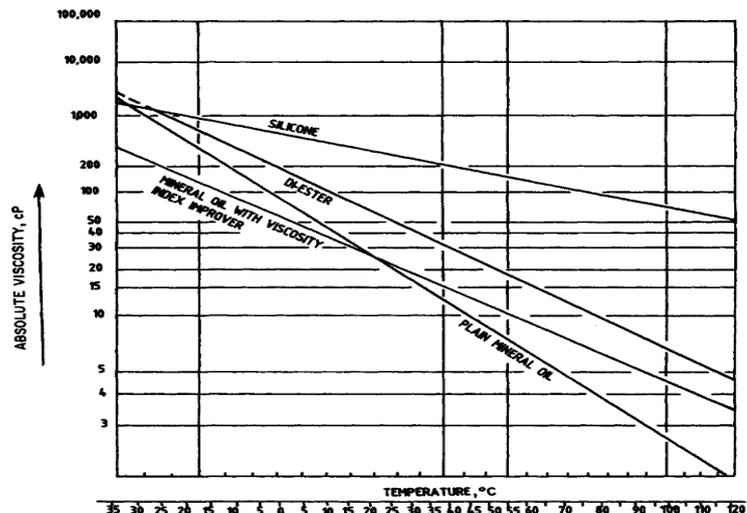
$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} \dots \dots \dots (2.2)$$

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



**Gambar 2.5.** Grafik indeks viskositas dengan temperatur (Shigley, 2004)

Gambar 2.5. 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).

Persamaan untuk perhitungan indeks viskositas sampel minyak adalah

$$IV = \frac{100(L-U)}{L-H}$$

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

SAE adalah Peringkat skala viskositas yang sangat luas digunakan dan direproduksi pada tabel 2.3. hal ini dimungkinkan untuk memenuhi minyak lebih dari satu rating. Kriteria indeks viskositas tinggi A minyak mineral dapat memenuhi 20W dan 30 dan kemudian akan disebut *20W / 30 multigrade oil*. Lebih umum, minyak VI ditingkatkan bisa memenuhi 20W dan 50 kriteria dan kemudian akan disebut *20W / 50* minyak rangkap.

Perhatikan bahwa pengukuran viskositas digunakan untuk menetapkan peringkat SAE dilakukan keluar pada laju geser yang rendah.

**Tabel 2.3.** Peringkat oli SAE (Shigley, 2004)

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

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

## 2.2.4. Konduktivitas Thermal

### 2.2.4.1. Perpindahan Kalor

Konduktivitas termal yaitu ilmu untuk mengetahui perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material, dan juga menunjukkan baik buruknya suatu material. Material yang dapat menghantarkan panas dengan baik disebut konduktor sedangkan yang kurang baik disebut isolator. Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan. Ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi tertentu. Bila dalam suatu sistem terdapat gradien suhu, atau bila dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan, maka akan terjadi perpindahan energi. Proses ini disebut sebagai perpindahan panas (*Heat transfer*).

**Tabel 2.4.** Konduktivitas Termal (Holman, 1993)

Konduktivitas Termal (K)
--------------------------

Zat Cair	W/m.°C	Btu/hr.ft. °F
<i>Air-raksa</i>	8,21	4,74
<i>Air</i>	0,556	0,327
<i>Amonia</i>	0,540	0,312
<i>Minyak Pelumas SAE50</i>	0,147	0,085
<i>Freon 12, 22FCCI</i>	0,073	0,042

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduktivitas, konveksi, dan radiasi. (Holman, 1993)

Berikut adalah metoda perpindahan panas yang terjadi :

a. Perpindahan Kalor Konduktivitas

Holman (1993) menyatakan bahwa pada suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Bahwa energi berpindah secara konduktivitas atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal: Berdasarkan daya hantaran, perpindahan kalor konduktivitas memiliki dua zat yaitu:

- Konduktor yaitu zat yang mudah menghantarkan kalor  
Contoh: Alumunium
- Isolator yaitu zat yang sulit menghantarkan kalor

b. Perpindahan Kalor Konveksi

Holman (1993) menyatakan plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat apabila ditaruh di depan kipas angin dibandingkan dengan di taruh di udara tenang. Maka kalor dikonveksi ke luar dan proses ini dinamakan perpindahan kalor secara konveksi. Perpindahan kalor konveksi dibagi menjadi 2, yaitu :

- Konveksi Alami  
Proses Perpindahan kalor melalui zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut akibat perbedaan massa jenis. Contoh : Pemanasan Air

- Konveksi Paksa

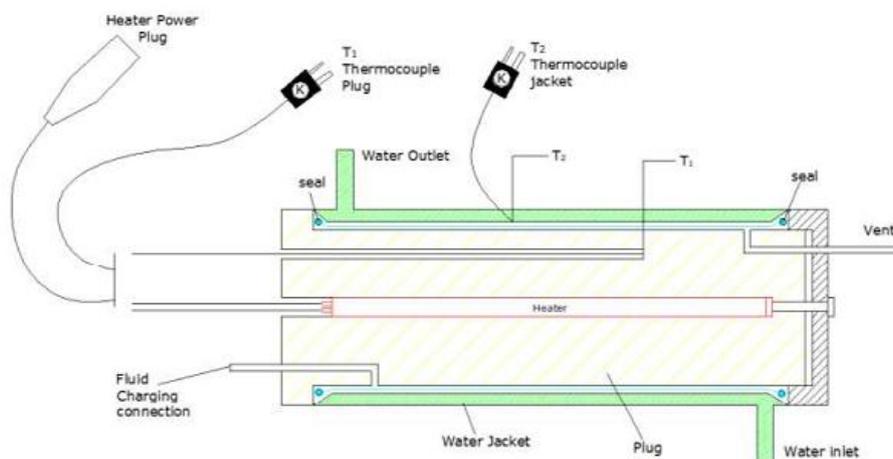
Proses perpindahan kalor melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut akibat suatu paksaan terhadap partikel bersuhu tinggi tersebut. Contoh : Pendinginan Mesin Mobil.

c. Perpindahan Panas Radiasi

Proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruangan, jika terdapat ruang hampa antara benda tersebut. Menurut Holman (1993) menyatakan bahwa berlainan dengan mekanisme konduktivitas dan konveksi, di mana perpindahan energi terjadi melalui bahan antara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya di sini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik.

### 2.2.4.2. Pengukuran Konduktivitas Termal

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



**Gambar 2.4.** Skema alat konduktivitas termal (Irawansyah dan Kamal, 2015)

Persamaan untuk perhitungan konduktivitas termal sebagai berikut :

1. *Elemen Heat Input*

$$Q_e = V \cdot I$$

2. *Temperatur Different*

$$T = T_1 - T_2$$

3. *Conduction Heat Transfer Rate*

$$Q_c = Q_e - Q_i$$

4. *Thermal Conductivity*

$$K_{\text{fluida}} = \frac{Q_c \cdot \Delta r}{A \cdot \Delta t}$$

$\Delta r$  = 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>

Dengan :

$T_1$  = Temperatur *Plug* (°C)

$T_2$  = Temperatur *Jacket* (°C)

$V$  = *Voltage* (V)

$I$  = *Current* (A)

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

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

$\Delta r$  = *Radial clearance* 0,34 (mm)

$Q_i$  = *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)

Ruang bebas tersebut cukup kecil untuk mencegah adanya konveksi alamiah (*natural convection*) di dalam sampel fluida tersebut. Karena *radial clearance* yang relatif kecil tersebut, sampel fluida yang ada di dalam ruang tersebut dapat digambarkan sebagai

sebuah pelapis tipis (lamina) dari area permukaan (*face area*)  $l$  dan ketebalan  $r$  terhadap perpindahan panas dari panas yang berasal dari plug ke selubung (*jacket*). Perhitungan yang diperlukan untuk mengukur konduktivitas termalnya adalah temperatur *plug* ( $T_1$ ) dan *jacket* ( $T_2$ ) dengan menyesuaikan variabel *transformer* (Irawansyah dan Kamal, 2015).

## 2.2.5. Jenis-Jenis Pelumasan

Daryanto (2004) ada tiga macam sistem pelumasan, yaitu

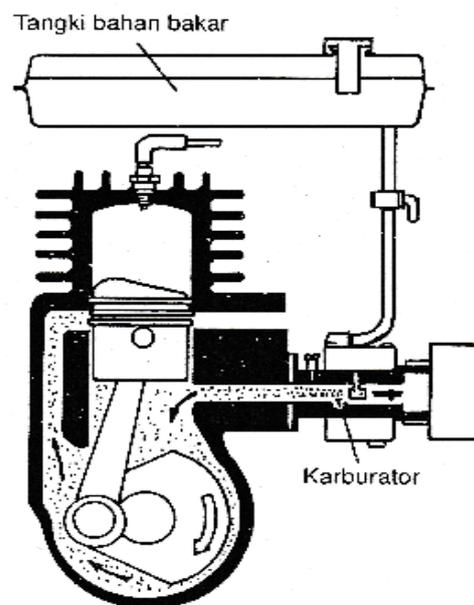
- a. Bentuk kabut
- b. Bentuk kering
- c. Bentuk basah

Berikut ini adalah keterangan lebih lanjut dari ketiga sistem pelumasan tersebut.

### 2.2.5.1. Sistem Pelumasan Kabut

Sistem pelumasan kabut ini dipakai pada mesin kecil dua tak, yaitu

- a. Mesin pemotong rumput



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

- b. Sepeda motor.

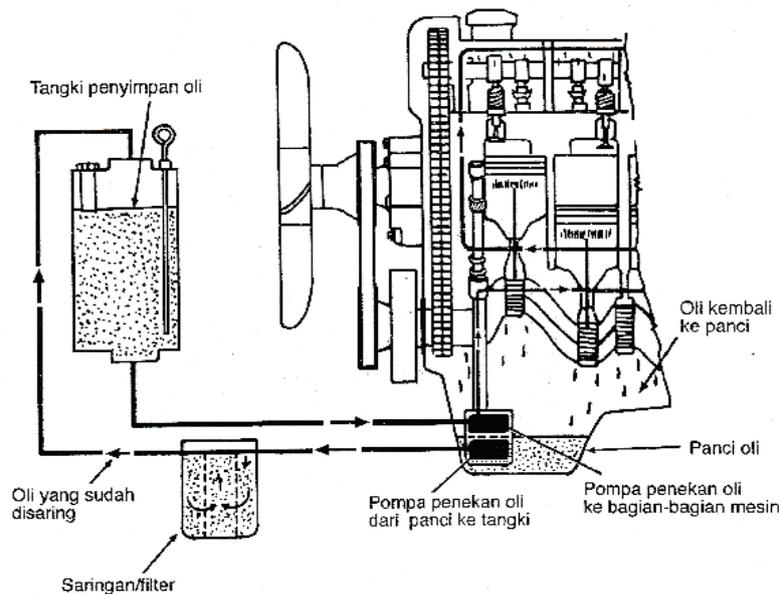
- c. Kapal boat.
- d. Generator dan kompresor.

Oli pelumas dicampurkan pada bensin dengan perbandingan tertentu dan dimasukkan ke dalam tangki minyak. Campuran bensin dan oli ini dimasukkan melalui karburator ke dalam ruang pemutar mesin dalam bentuk kabut sehingga oli memberi pelumas 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.

### 2.2.5.2. Sistem Pelumasan Kering

Sistem pelumasan kering jarang digunakan pada kendaraan bermotor, walaupun beberapa truk berat menggunakannya. Pelumasan kering banyak digunakan pada :

- a. Sepeda Motor
- b. Traktor penggali tanah
- c. Mesin-mesin tak bergerak (*stationer*), misalnya generator.

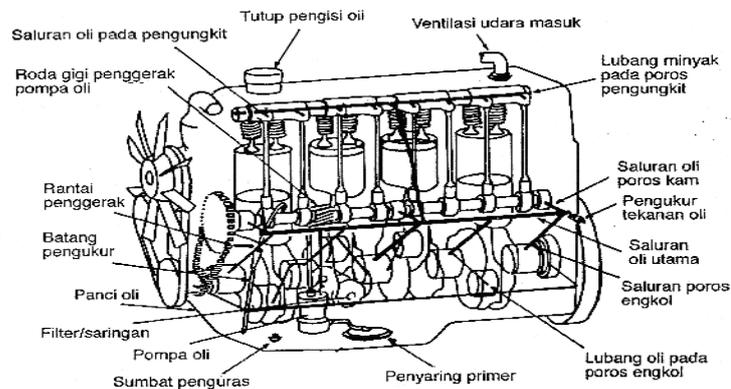


**Gambar 2.7.** Sistem pelumasan tipe kering (Daryanto, 2004)

Oli pelumas ditempatkan pada tangki atau tempat pelumas di luar mesin. Pelumas dialirkan dengan tekanan pompa di bagian-bagian mesin yang bergerak melalui pipa atau alur-alur dalam blok mesin. Setelah seluruh komponen diberi pelumas, oli jatuh ke tempat penampungan di bagian bawah sebuah pompa atau gayung tempat oli itu dinaikkan lagi ke panci untuk diedarkan seperti tadi.

### 2.2.5.3. Sistem Pelumasan Basah

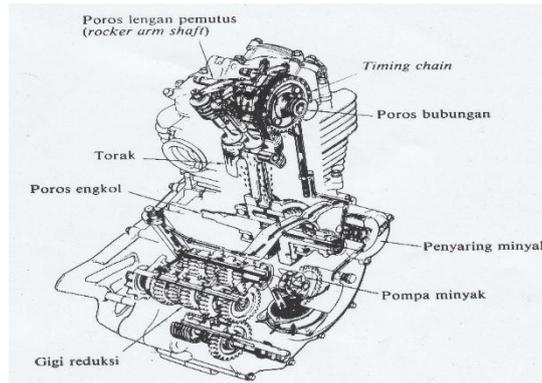
Sistem ini sering digunakan pada motor mobil yang modern. Oli pelumas ditempatkan pada tempat oli atau penyaring yang dipasang di bagian dasar atau posisi paling bawah dari ruang mesin penggerak (poros engkol). Pelumas dialirkan ke bagian mesin yang bergerak dengan kombinasi dari pemancaran penyemprotan dan tekanan. Waktu poros engkol dari mesin itu berputar, ujung besar dari poros batang torak tercelup oli di dasar ruang mesin dan menyiramkan oli ke seluruh bagian mesin di bagian bawah separo ruangan. Kadang-kadang pada ujung besar dari poros batang torak terdapat penggaruk oli yang berfungsi membantu pengambilan oli. Jika putaran mesin meningkat tinggi maka oli berubah menjadi kabut lembut sehingga bisa masuk ke bagian dalam bawah mesin.



**Gambar 2.8.** Sistem pelumasan basah (Daryanto, 2004)

### 2.2.5.4. Sistem Pelumasan Motor 4 Langkah

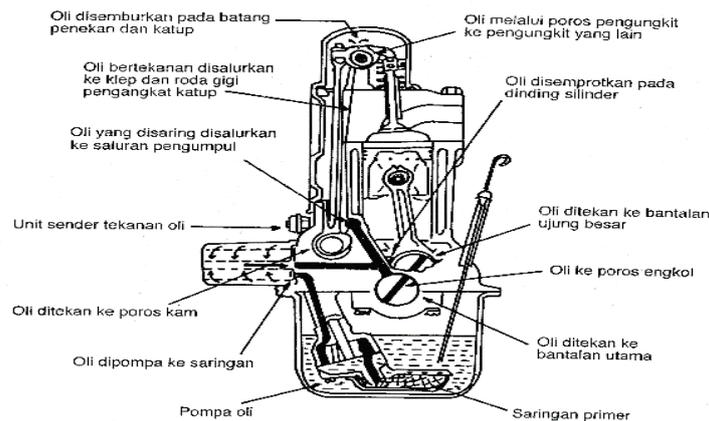
Daryanto (2004) minyak motor di simpan di tempat di bak minyak di rumah poros engkol dan mengalirnya ke bagian yang berputar di motor dengan menggunakan pompa minyak. Saluran dan sistem pengaliran minyak pada motor yang satu tidak sama dengan motor yang lain tetapi umumnya seperti terlihat pada gambar sepeda motor di rumah melalui 3 cara.:



**Gambar 2.9.** Sistem pelumasan motor 4-langkah (Dayanto, 2004)

- Minyak mengalir melalui bantalan utama poros engkol ke kepala besar batang torak dari sini minyaknya disemprotkan dan pelumas kepala kecil, silinder dan torak.
- Minyak dialirkan melalui saluran di dalam silinder ke poros hubungan dan dari sini minyak disemprotkan untuk melumasi lengan pemutus dan porosnya.
- Jalan yang ketiga minyaknya dipompakan kedua poros dirumah transmisi dan setelah melumasi roda roda gigi mengalir melalui antar poros dan akhirnya melumasi kopling.

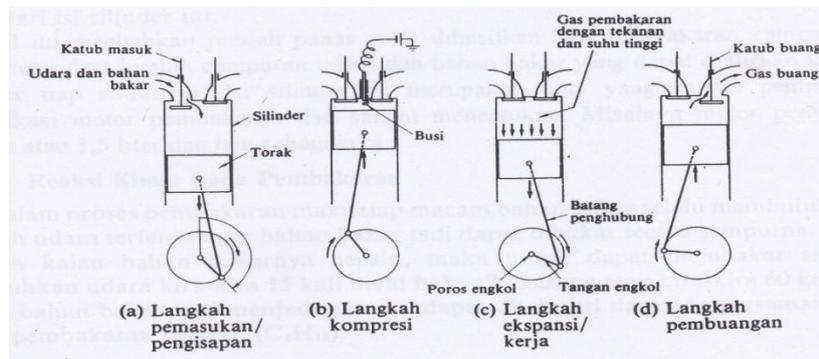
Panci oli adalah reservoir untuk oli pelumasan. Isinya diukur dengan jumlah oli dengan bantuan tongkat pengukur pada bagian samping mesin dan harus mencukupi pada saringan *pick up* yang di bawah kondisi pengoperasian secara normal.



**Gambar 2.10.** Sistem pelumasan (Daryanto, 2004)

## 2.2.6. Kerja mesin 4-Langkah

Daryanto (2004) kerja mesin 4-langkah sebagai berikut :



**Gambar 2.11.** Cara kerja motor 4-langkah (Daryanto, 2004)

a. Langkah pemasukan

Katub masuk terbuka dan torak bergerak dari batas atas (dinamakan titik mati atas: TMA) menuju ke batas bawah (dinamakan titik mati bawah: TMB) maka campuran udara dan bahan bakar mengalir masuk ke dalam silinder.

b. Langkah kompresi

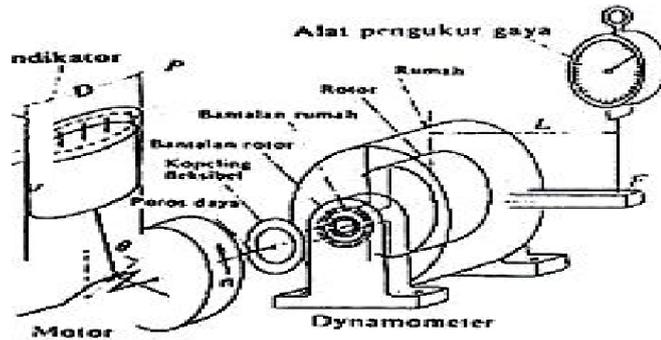
Katub masuk tertutup dan torak bergerak menekan campuran udara dan bahan bakar yang menimbulkan tekanan. Sewaktu torak mendekati pada TMA, ditimbulkan percikan api listrik yang dihasilkan oleh busi dengan dua ujung elektroda. Percikan api listrik ini membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga mulai terjadi bakaran.

c. Langkah ekspansi

Campuran udara dan bahan bakar yang terbakar berurutan menimbulkan tekanan yang lama kelamaan menjadi maksimum. Tekanan maksimum ini menekan torak ke bawah dan baik tekanan maupun suhu dari gas pembakaran mulai mengurang. Gaya gerak yang ditimbulkan oleh gerakan torak ini diteruskan kepada poros engkol melalui tangkai torak dan engkol dan dengan demikian poros engkol dipaksa untuk berputar mengatasi tahanan geseran.

**2.2.6.1. Parameter Pengukur Tenaga Mesin Dinamometer**

Sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tenaga atau daya yang dikeluarkan atau dihasilkan dari suatu mesin kendaraan bermotor. Dinamometer atau *dynotest* adalah sebuah alat yang juga digunakan untuk mengukur putaran mesin (Rpm) dan torsi dimana tenaga atau daya yang dihasilkan dari suatu mesin atau alat yang berputar dapat dihitung. Dinamometer menggunakan sensor untuk mengindikasikan kecepatan dan torsi. Skema alat uji dinamometer dapat dilihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.12.** Skema alat uji dynamometer (Purnomo, 2013)

## 2.2.7. Parameter Unjuk Kinerja Mesin

### 2.2.7.1. Torsi Mesin

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Torsi atau momen putar motor adalah gaya dikalikan dengan jarak panjang lengan (Arends & Berenschot, 1980) dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \times r$$

Dimana :

T = Torsi benda berputar (N.m)

F = Gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)

r = Jarak lengan torsi (m)

### 2.2.7.2. Daya

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu. (Arends & Berenschot, 1980). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dynamometer dan tachometer atau alat lain dengan fungsi yang sama. Untuk menghitung besarnya daya motor 4 langkah digunakan rumus:

Daya (HP) = ditentukan sebagai berikut :

$$P = \frac{2\pi.n.T}{60.000} (kW)$$

Dengan :

P = Daya (HP)

n = Putaran Mesin (rpm)

T = Torsi (Nm)

### 2.2.7.3. Konsumsi Bahan Bakar

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

$$\dot{M}_f = \frac{\dot{M}_b}{\Delta t} \left( \frac{\text{gr}}{\text{dt}} \right)$$

$M_f$  = Konsumsi bahan bakar (gr/dt)

$M_b$  = Massa bahan bakar (gr)

$\Delta t$  = Waktu disaat kendaraan diakselerasi (detik)

### 2.2.7.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$\text{SFC} = \frac{\dot{M}_f}{P}$$

Dengan :

SFC : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/HP.h)

$M_f$  : Konsumsi bahan bakar (kg/h)

P : Daya poros efektif (HP)