

BAB II

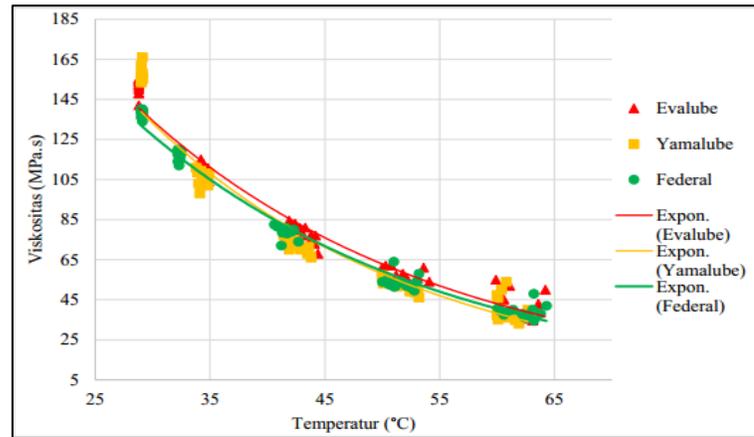
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini membahas tentang bagaimana pengaruh karakteristik viskositas dan konduktivitas thermal dari beberapa merk oli / pelumas yang akan di teliti dengan SAE 10w30 dan bagaimana pengaruhnya pula terhadap kinerja motor. Sebelum penelitian berlangsung, ada beberapa referensi penelitian terdahulu dengan maksud sebagai *support* baik dari prosedur penelitian, maupun hasil data yang diperoleh sehingga terciptanya hasil penelitian yang mendekati sempurna.

2.1.1 Hubungan Viskositas oli mesin dengan Perubahan Temperatur

Pada Penelitian Liana (2016) tentang analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas thermal minyak pelumas *MPX 2* baru dan *MPX 2* bekas dengan bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja motor Honda *Scoopy 110 cc*. penelitian ini merujuk pada perbedaan 1 oli baru *MPX2* dengan 5 oli bekas *MPX2*, dimana perbandingannya 1:5. Hasil data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa sampel oli baru lebih unggul ketimbang sampel oli bekas berdasarkan kualitas viskositasnya, dengan alasan logikanya bahwa oli bekas memang sudah dipakai / bekas, sehingga kekentalan yang didapatnya pasti sudah tidak bagus. Dilihat dari hasilnya menunjukkan viskositas sampel oli baru berada pada kisaran 110 MPa.s sedangkan viskositas pada sampel oli bekas berada pada kisaran 50-80 MPa.s dan masing masing sampel oli diuji menggunakan alat *Viscometer NDJ 08* dengan temperatur dari 40-70°C. Menurutnya perbandingan temperatur sampel oli baru dan bekas tidak beda jauh, dimana di titik 55°C nilai viskositas oli baru dan oli bekas tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Pada dasarnya penurunan nilai viskositas disebabkan adanya pengaruh temperatur di dalamnya, sehingga sangat baik untuk menguji kualitas viskositas sebelum dipergunakan pada kendaraan khususnya mesin motor Honda beat 110cc tahun 2008

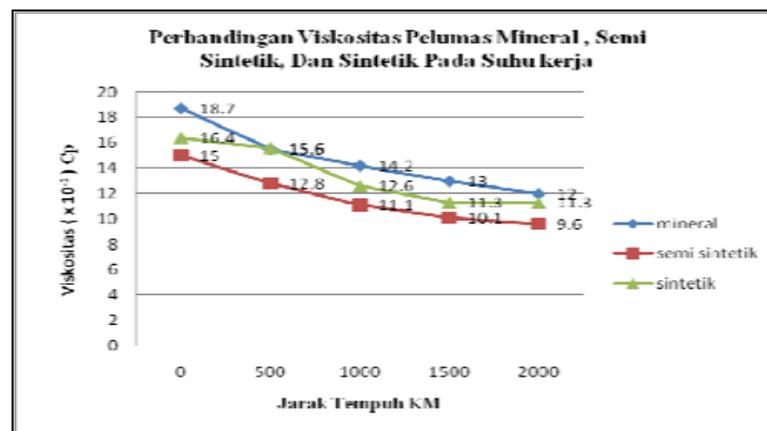


Gambar 2.1 Perbandingan 3 jenis oli terhadap nilai viskositas dan suhu (Inang, 2017)

Pada penelitian Inang (2017) tentang pengaruh viskositas terhadap temperatur dengan menggunakan beberapa merk minyak pelumas *Evalube Runner* jenis (*Mineral*), *Yamalube Gold* jenis (*Semi synthetic*), dan *Federal Racing* jenis (*Fully synthetic*). Metode yang digunakan untuk mengetahui kekentalan minyak pelumas adalah menggunakan alat viskometer *type NJD-8S Digital Viscometer*. Prinsip kerjanya viscometer ini dikendalikan oleh program, dimana rotor standard yang terpasang pada momen torsi dan bersinggungan dengan viscometer zat cair, karena terjadi *viscose histeris* cair maka nilai kekentalan pelumas akan muncul di *display*. Pada **Gambar 2.1** menunjukkan bahwa nilai viskositas minyak pelumas dari ketiga jenis tersebut yang paling unggul adalah oli *Evalube Runner* jenis *Mineral* dengan nilai viskositasnya sebesar 155,4 MPa.s, disusul oli *Yamalube Gold* dengan nilai sebesar 155 MPa.s dan oli *Federal Racing* nilai viskositas sebesar 140,2 MPa.s. Dilihat dari temperatur maksimalnya sekitar 65°C ketiga jenis oli tersebut memiliki nilai kekentalan yang berbeda, pada oli *Evalube* dengan suhu +65°C nilai viskositasnya 34,5 MPa.s, oli *Yamalube* sekitar 33 MPa.s, dan oli *Federal* sekitar 34,5 MPa.s. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga jenis oli tersebut sama-sama mengalami penurunan viskositas seiring dengan kenaikan temperatur, dengan demikian kualitas produk minyak pelumas dilihat dari seberapa besar nilai viskositas dan seberapa tahan lama

terhadap temperatur tinggi yang akan mempertahankan nilai kekentalan produk itu sendiri, dapat diketahui pada penelitian ini bahwa jenis *Full syntetic* lebih unggul nilai viskositasnya terhadap suhu tinggi, dan jenis ini juga mempunyai zat berupa *ISO Polymerized Synthetic Base Oil* dimana akan menjada kekentalannya yang menjadikan mesin lebih responsive dan akselerasinya menjadi lebih maksimal.

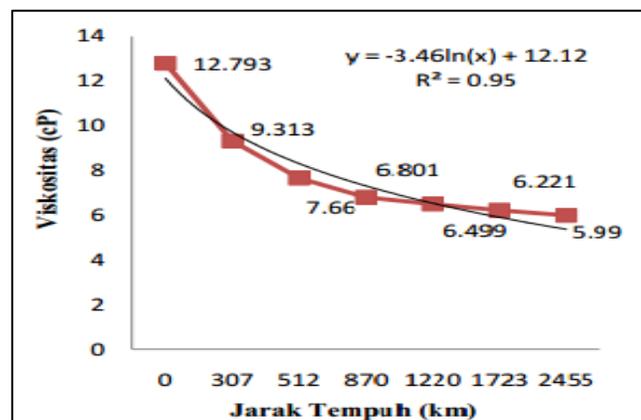
Menurut Mulyawan (2015) terkait penelitian tentang Studi kasus sistem pelumasan dan pengaruhnya terhadap sistem komponen mesin pada dunia otomotif, dimana efisiensi dan efektifitas kerja mesin kendaraan bermotor sangat dipengaruhi oleh minyak pelumas yang digunakan. Nilai viskositas sebagai penunjang parameter penelitian ini untuk mengetahui kualitas pelumas itu sendiri. Dengan metode yang digunakan berupa jarak tempuh dan waktu, prinsipnya menggunakan periode data dengan maksud data akan diperoleh berdasarkan jenis minyak pelumas sampai dimana akan terjadinya kualitas viskositas akan berakhir, alat-alat parameter memantau kualitas minyak pelumas secara kontinyu pada saat mesin dijalankan.



Gambar 2.2 Penurunan viskositas pelumas mineral, semi sintetik dan sintetik pada suhu kerja (Arisandi, 2012)

Menurut Arisandi (2012) pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa minyak pelumas jenis sintetik ini cenderung tidak mengalami signifikan penurunan kualitas viskositas dengan kata lain hampir mengalami kestabilan terhadap jarak tempuh. Pada penelitian ini menganalisa minyak pelumas berdasarkan pengukuran jarak tempuh,

dengan dilakukannya jarak tempuh berkisar 500 km sampai jarak total 2000 km. dan disisi lain minyak pelumas jenis mineral lebih rendah kestabilan viskositasnya pada suhu kerja dan jenis semi sintetik memiliki kualitas nilai viskositas yang rendah dan mengalami penurunan konstan seiring dilakukannya pengujian jarak tempuh. Dapat disimpulkan bahwa nilai viskositas yang stabil seiring pengaruhnya terhadap efek temperatur adalah menghematkan konsumsi bahan bakar, ini yang terjadi pada jenis sintetis di penelitian ini. Dengan asumsi, ketika temperatur rendah jenis minyak pelumas ini tidak terlalu kental sehingga tidak membebani mesin, dan ketika temperatur tinggi viskositas tidak terlalu encer sehingga masih dapat melumasi permukaan bidang kontak dengan sempurna.



Gambar 2.3 Hubungan Jarak tempuh dengan nilai viskositas pelumas pada sepeda motor (Wayan, 2015)

Pada penelitian D Wayan (2015) tentang analisis penurunan kualitas minyak pelumas pada kendaraan bermotor berdasarkan nilai viskositas serta perubahan warna, penelitian ini menggunakan oli *Yamalube* dengan SAE 10W-30 dan kendaraan yang akan di uji adalah motor 4-tak yaitu *Vixion* tahun 2008. Parameter yang akan di analisis adalah nilai viskositas dengan metode stormer (menggamati waktu alir fluida pada buret dan menggunakan persamaan *Poiseuille*). Pada **Gambar 2.3** diatas menunjukkan perbandingan antara nilai viskositas dengan jarak tempuh, jarak tempuh yang diuji maksimal berkisar +-2500 km untuk satu sampel oli yaitu *Yamalube*. Dapat dilihat

bahwa viskositas berbanding terbalik dengan jarak yang ditempuh motor, yaitu semakin tinggi jarak yang ditempuh suatu motor akan mengalami penurunan nilai viskositas, hal ini disebabkan semakin lama pelumas digunakan maka semakin menurun kualitas nilai viskositas yang didapat / menjadi lebih encer, ini berlaku pada kecepatan dan suhu sekitar. Saat pelumas menjadi encer, maka memudahkan untuk mendapatkan nilai viskositasnya dan nilai viskositas ini pula berbanding lurus dengan waktu alir pelumas

Merek Pelumas	Pengujian										Rata-rata
	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%

Gambar 2.4 Prosentase penurunan viskositas terhadap temperature 70% (Effendi dan Adawiyah, 2014)

Pada penelitian Effendi dan Adawiyah (2014) tentang penurunan nilai kekentalan akibat pengaruh kenaikan temperatur pada beberapa merk minyak pelumas. Hasil data tersebut menunjukkan bahwa besarnya nilai viskositas dari masing-masing minyak pelumas selalu menurun ketika temperatur tersebut naik. Pada **Gambar 2.4** diatas bahan uji minyak pelumas menggunakan merk *Top One Prostar SAE 20W-40*, *Castrol Active SAE 20W-50*, *Shell Helix HX5 SAE 15W-50*, *Yamalube SAE 20W-40*, *AHM MPX-1 SAE 10W-30*, dan *SG SAE 20W-50*. Dengan parameter pengujian mengambil sampel 10 kali uji, dengan maksud untuk mengambil rata-rata prosentase viskositas mendekati efisiensi. Dengan perbedaan merk minyak pelumas di atas tentu membedakan pula jenis kandungan pada masing-masing oli, seperti *Syntetic*, *Semi-Syntetic*, *Mineral*, dan *Fully Syntetic*, dan tak lepas dari keunggulan masing masing

merk terhadap jenis kandungannya yang membuat kualitas nilai viskositasnya berbeda. Pada Tabel 2.1 diatas adalah hasil data pengujian nilai viskositas dari masing-masing pelumas adalah *AHM MPX-1* dan *Shell Helix HX5* mengungguli nilai kekentalan dengan 76%, kedua jenis tersebut adalah jenis semi-sintetik, diikuti *Top One* dengan 73%, *Yamalube* berkisar 69%, *Castrol Active* berkisar 66%, dan terakhir *SG 4T* dngan nilai viskositasnya 62%.

2.1.2 Hubungan Minyak pelumas terhadap Konduktivitas Thermal

Pada penelitian Riyan (2016) tentang analisa konduktivitas termal terhadap temperatur dengan bahan uji beberapa minyak pelumas MPX-1 baru dan MPX-1 bekas. Dalam penelitiannya menyatakan bahwa beberapa oli bekas yang telah diuji memiliki nilai konduktivitas yang tinggi daripada oli baru, dan disimpulkan bahwa kandungan oli bekas sudah tercampur zat-zat aditif yang mengakibatkan kualitas oli tersebut menurun, sebaliknya oli baru memiliki efisiensi zat yang masih murni dan belum terkontaminasi zat-zat luar sehingga baik untuk menghantarkan panas pada mesin. Konduktivitas termal yang tinggi pada minyak pelumas menunjukkan bahwa minyak tersebut baik untuk menghantarkan panas. Pada dasarnya minyak pelumas sebagai pendingin, maka dari itu ketahanan minyak pelumas dalam kinerjanya didalam mesin juga dilihat dari kualitas jenis oli dan type motornya, karena akan berpengaruh terhadap keawetan mesin tersebut.

Pada penelitian Danang (2017) tentang karakteristik konduktivitas thermal oli terhadap temperatur dengan menggunakan oli jenis *Semi-Syntetic* yaitu *Yamalube SAE 10W-30*, jenis *Fully-Syntetic* yaitu *Federal SAE 10W-30*, dan jenis *Mineral* yaitu *Evalube SAE 20W-40*. Pada penelitian ini merujuk pada kualitas ketahanan suatu oli untuk mempertahankan nilai kekentalannya terhadap perubahan suhu, konduktivitas juga memberikan bukti bahwa beberapa oli akan memperlihatkan kualitasnya masing-masing. Nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan bahwa oli tersebut baik dalam menghantarkan panas, sedangkan untuk sifat oli yang baik adalah oli yang

memiliki nilai konduktivitas termal yang stabil. Dari hasil yang diperoleh dari ketiga jenis oli tersebut diketahui bahwa jenis *Fully-Syntetik* lebih unggul dalam hal menghantarkan panas daripada dua jenis lainnya, diikuti *Semi-Syntetic* dan terakhir jenis *Mineral*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Minyak Pelumas

Begitu banyaknya kehadiran-kehadiran merk oli di zaman modern ini, dan tidak ada henti-hentinya beberapa perusahaan menciptakan merk oli dengan berbagai jenis SAE serta jenis kandungan, dan kualitas juga bertambah mumpuni.



Gambar 2.5 Macam-macam merk pelumas (Ridwan, 2013)

Pada **Gambar 2.5** tersebut beberapa pandangan mengenai merk oli baik untuk motor *matic* maupun motor bebek, dan sekiranya akan mengira kualitas dari segi kualitatif maupun kuantitatif

2.2.1.1 Pengertian Minyak Pelumas

Pelumas merupakan salah satu zat kimia yang berupa cairan. Terbentuknya zat ini dihasilkan dengan proses destilasi yang mempunyai temperatur 105-135°C. Pada pelumas sendiri umumnya terdiri dari 90% minyak mentah (dasar) dan 10% dari zat tambahan. Pelumasan pada kendaraan bermotor merupakan hal yang sangat penting untuk kelangsungan motor, seperti melumasi pada poros engkol, katup, torak, batang

torak dan lain-lain. Pada bagian-bagian yang bergerak, minyak pelumas (oli) diharapkan membentuk lapisan tipis (film oil) sehingga mencegah terjadinya kontak langsung dari dua bagian yang bergesekan. Apabila motor hidup tanpa adanya pelumasan sama sekali, barangkali hanya bertahan dalam waktu beberapa menit saja dan kemudian akan macet sama sekali bahkan langsung timbul asap (terjadi pemanasan) karena komponen yang saling bergesekan akan menyatu sehingga tidak dapat bergerak lagi. Oleh karena itu pelumasan pada motor harus diperhatikan baik sistem pelumasannya maupun pelumas yang dipakai di dalam sistem pelumasan. Minyak pelumas mempunyai fungsi dapat mengurangi gesekan, menyerap panas, mengurangi keausan, menambah kerapatan antara torak dan silinder, mencegah karat, membersihkan kotoran-kotoran (kerak), untuk lebih jelasnya fungsi dari pelumas untuk kendaraan bermotor adalah

1. Melumasi 2 bagian yang bersinggungan sehingga pelumas sebagai penengah / *support* yang dapat mengurangi gesekan yang timbul dan mengurangi keausan yang terjadi.
2. Mendinginkan bagian komponen yang bergesekan dengan jalan mengalir melalui celah antara dua bagian yang bergesekan tersebut.
3. Mengurangi atau meredam getaran atau kejutan yang timbul pada dua bagian yang menerima beban hantakan seperti pada bantalan jalan poros engkol dan bantalan tetap dari poros engkol
4. Sebagai perapat antara dinding silinder dengan ring piston sehingga dapat mengurangi gas *blow*, dan mengurangi kebocoran dari dalam silinder
5. Dengan adanya lapisan minyak pelumas pada dua bagian yang bergesekan maka tenaga untuk mengatasi gesekan akan menjadi lebih kecil, dengan demikian tenaga motor yang dihasilkan menjadi lebih banyak dan bahan bakar motor menjadi lebih irit.

Disamping itu juga karena tugas pelumas cukup berat maka pelumas harus memenuhi sifat dan syarat tertentu yaitu derajat kekentalan (viskositas) pelumas harus

disesuaikan dengan jenis operasi kendaraan. Jika viskositas yang terlampau rendah akan mengakibatkan *over heating*. Jika viskositas pelumas yang terlalu tinggi motor tersebut akan sukar dihidupkan karena tahanan terlalu besar, titik nyala (*flash point*) tinggi, titik beku rendah, tidak mudah menguap, mudah memindahkan panas, dan pelumas harus mempunyai daya lekat yang baik.

2.2.1.2 Klasifikasi Minyak Pelumas

Minyak pelumas dibedakan menurut kekentalannya juga dibedakan menurut kualitasnya, atau sifat ketahanannya sehingga didalam pemakaiannya minyak pelumas dapat dipilih sesuai dengan sifat yang dimilikinya. Misalnya untuk motor yang bekerja dengan kecepatan tinggi dan dapat dikatakan kerja berat akan berbeda syarat minyak pelumas yang dipakai dibanding dengan motor yang hanya bekerja pada putaran rendah dan beban yang ringan.

2.2.1.2.1 Klasifikasi berdasarkan API (*American Petroleum Institute*)

Klasifikasi ini dilakukan menurut standard yang diberikan oleh API (*American Petroleum Institute*) yang telah disahkan. Masing-masing pelumas dibedakan menurut kualitas atau kemampuannya untuk melumasi pada beban, temperatur, dan kondisi tertentu. Biasanya dengan semakin banyak kandungan bahan tambah yang ada pada minyak pelumas, maka semakin bagus pelumas tersebut sehingga memenuhi beberapa persyaratan pemakaian pada motor dengan beban yang tinggi dan kondisi operasi yang berat.

Klasifikasi ini biasanya dibedakan dengan penandaan pada minyak pelumas dengan menggunakan huruf yang berbeda antara pelumas untuk motor diesel dan pelumas untuk motor bensin. Huruf yang dipakai pada motor bensin adalah dimulai dari SA sampai dengan SM, kata huruf S di depan adalah *spark* yang berarti percikan api. sedangkan untuk pelumas motor diesel dimulai dari huruf CA sampai dengan CI, huruf didepannya adalah *comersial* yang diaplikasikan pada mesin diesel. Minyak pelumas dengan klasifikasi SA adalah minyak pelumas yang paling rendah

kemampuannya, sedangkan minyak pelumas dengan klasifikasi SM adalah minyak pelumas yang paling baik, tetapi klasifikasi jenis ini fluidanya terlampau encer karena mengandung zat anti *friction* nya yang terlalu tinggi.

Adapun klasifikasi masing-masing huruf tersebut menandakan kemampuan minyak pelumas yang bersangkutan. Di bawah ini akan diuraikan secara singkat kandungan atau kemampuan dari masing-masing klasifikasi minyak pelumas menurut API, berikut klasifikasi minyak pelumas untuk mesin bensin :

- SA adalah klasifikasi yang menunjukkan bahwa minyak pelumas ini tidak mengandung bahan tambah kecuali “*pour depressant* dan *foam depressant*” yang tidak boleh digunakan kecuali disarankan oleh pabrik pembuat motor yang bersangkutan. Akan tetapi minyak pelumas semacam ini tidak akan digunakan pada motor bensin yang digunakan untuk menggerakkan mobil, dan klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.
- SB adalah klasifikasi minyak pelumas yang melayani motor yang sudah tua dan bekerja pada keadaan yang sangat ringan. Minyak pelumas jenis ini mengandung bahan tambah anti oksidan dan anti *scuff* dan tidak digunakan pada motor lain kecuali disarankan. klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.
- SC adalah klasifikasi minyak pelumas yang memenuhi persyaratan untuk motor buatan tahun 1964-1967. Motor tersebut adalah motor bensin baik untuk truk maupun untuk mobil penumpang. Minyak pelumas ini mengandung bahan yang dapat mengontrol timbulnya deposit pada temperatur rendah maupun temperatur tinggi, keausan, dan mencegah terjadinya korosi pada motor bensin. Klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.
- SD adalah klasifikasi minyak pelumas yang memenuhi persyaratan untuk motor bensin yang dibuat dari tahun 1968 sampai 1971, baik untuk truk maupun untuk mobil penumpang. Jenis kandungannya sama seperti SC yang dapat mengontrol terjadinya deposit, keausan korosi atau karat. Tetapi kandungan SD ini lebih baik dari pada kandungan SC, minyak pelumas ini juga dapat dipakai pada motor yang

disarankan untuk menggunakan minyak pelumas dengan klasifikasi SC. Klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.

- SE adalah klasifikasi untuk minyak pelumas yang memenuhi persyaratan untuk motor bensin yang dibuat tahun 1972 sampai 1979, baik untuk truk maupun mobil penumpang. Kemampuan minyak pelumas ini lebih baik dibandingkan dengan minyak pelumas klasifikasi SC maupun SD. Klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.
- SF adalah klasifikasi minyak pelumas yang dapat memenuhi persyaratan untuk motor bensin yang dibuat dari tahun 1980 dan tahun berikutnya. Kemampuan klasifikasi SF ini lebih baik dibandingkan minyak pelumas klasifikasi SC, SD, maupun SE, artinya kekentalannya tidak begitu mudah berubah karena perubahan suhu. Minyak pelumas ini juga dipakai pada motor yang disarankan untuk menggunakan minyak pelumas dengan klasifikasi SC, SD, dan SE.
- SG adalah klasifikasi minyak pelumas yang memenuhi persyaratan pada tahun 1989 dan seterusnya, memiliki oksidasi yang tinggi, klasifikasi ini dapat digunakan pada putaran mesin yang *fast*.
- SH adalah klasifikasi minyak pelumas yang memenuhi persyaratan pada kendaraan tahun 1993 dan seterusnya. Lebih baik daripada klasifikasi SG, yang banyak mengandung deposit serta oksidasi, dan tahan korosi dan keausan pada mesin
- SJ adalah klasifikasi minyak pelumas dengan kendaraan buatan tahun 1997 dan seterusnya. Mempunyai keunggulan yang baik dibanding klasifikasi SH karena adanya penambahan 0,1% berat kandungan fosfor dan untuk penguapan pelumas lebih rendah
- SL adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan oleh Pertamina pada tahun buatan 2001 dan seterusnya dan tentunya mempunyai kelebihan kandungan dibanding klasifikasi API sebelumnya.

- SM adalah klasifikasi minyak pelumas yang memiliki fluida terlalu encer daripada klasifikasi lainnya, dan dapat terjadi 'selip' diantara komponen didalamnya / sistem transmisi. Dikarenakan kandungan didalamnya berupa zat anti friction yang terlalu tinggi

Sedangkan klasifikasi minyak pelumas untuk mesin diesel :

- CA adalah klasifikasi minyak pelumas pada tahun 1940-1950, yang digunakan mesin diesel pada operasi beban ringan yang mengandung deterjen-dispersen, anti oksidan, dll. Dan klasifikasi ini sudah tidak dipakai lagi
- CB adalah klasifikasi minyak pelumas pada tahun 1949-1960, yang digunakan mesin diesel pada operasi beban sedang dengan bahan bakar berkualitas rendah yang mengandung deterjen-dispersen, anti oksidan, dll. Klasifikasi ini sudah tidak dipakai lagi.
- CC adalah klasifikasi minyak pelumas pada tahun 1961, yang digunakan untuk mesin diesel *tubo charged* dan dapat digunakan pada mesin bensin dengan pelayanan kondisi mesin operasi temperatur sedang. Klasifikasi ini mengandung jumlah banyaknya deterjen-dispersen, anti oksidan, dll. Klasifikasi ini sudah tidak dipakai lagi
- CD adalah klasifikasi minyak pelumas digunakan pada mesin diesel *tubo charged* dengan kandungan sulfur kecil, dan dalam jumlah besar puntuk deterjen-dispersen. Klasifikasi ini sudah tidak dipakai lagi.
- CE adalah klasifikasi yang menggantikan CC dan CD karena karakter mesin diesel memiliki putaran mesin tinggi dan beban tenaga yang besar, maka adanya pengontrolan terhadap keausan serta mencegah endapan / kerak. Klasifikasi jenis ini sudah tidak diproduksi lagi.
- CF adalah klasifikasi minyak pelumas untuk persyaratan pada tahun 1994 dan seterusnya. Klasifikasi ini memperbaharui CE dengan kandungan berat sulfur 0,5%. Digunakan untuk mesin diesel, *off road*, serta *indirect injected*.

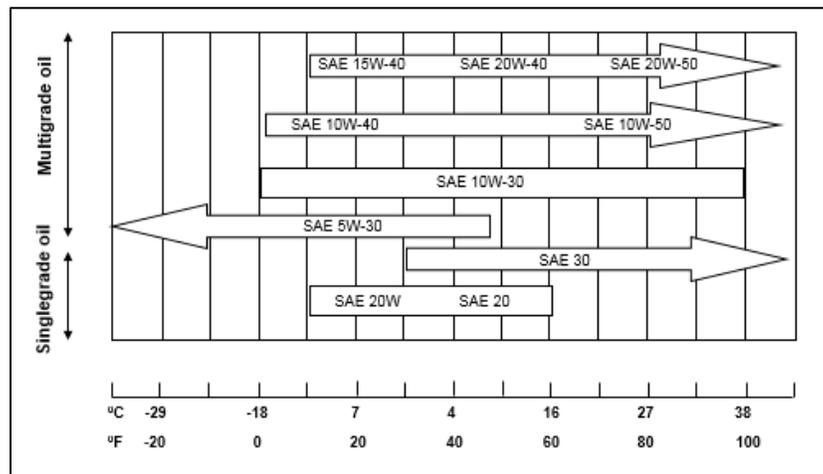
- CF-2 adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan pada tahun 1994 untuk mesin 2-tak.
- CF-4 adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan pada tahun 1990, dan untuk mesin putaran tinggi *tubo charged*
- CG-4 adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan pada tahun 1995. Sebagai pengganti klasifikasi CD, CE, CF-4, untuk mesin putaran tinggi dan memiliki berat kandungan sulfur nya kurang dari 0,5%.
- CH-4 adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan pada tahun 1998. Dan memiliki berat kandungan sulfur nya mencapai 0,5% dan diperuntukkan standard emisi tahun 1998
- CI-4 adalah klasifikasi minyak pelumas yang dikeluarkan pada tahun 2002. Memperbaharui klasifikasi dari CD, CE, CF-4, CG-4 dan CH-4 dengan berat kandungan sulfur sampai 0,5%. Digunakan pada mesin 4-tak dan putaran mesin yang tinggi dan diformulasikan untuk mempertahankan daya tahan mesin pada re-sirkulasi *exhaust*.

Dengan demikian mengganti minyak pelumas bukan hanya memperhatikan kekentalan atau viskositas minyak pelumas saja melainkan perlu juga memerhatikan klasifikasi minyak pelumas terhadap kemampuan kerjanya sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan oleh API.

2.2.1.2.2 Klasifikasi berdasarkan kekentalan

Kekentalan minyak pelumas adalah menentukan kemampuan oli untuk mengalir. Semakin kental suatu minyak pelumas maka semakin lama waktunya untuk mengalir atau semakin sukar. Kekentalan juga ditunjukkan adanya indeks kekentalan yang berupa angka, jika angka tersebut tinggi maka nilai kekentalan akan tinggi begitu juga sebaliknya. Kekentalan minyak pelumas sering disebut juga *viscosity*. Sistem penomoran viskositas digunakan untuk menunjukkan kekentalan minyak pelumas. Angka ini berdasarkan pada angka yang ditentukan oleh SAE (*society of automotive*

engineers) yang merupakan sebuah organisasi otomotif di amerika serikat. Didalam kategori SAE dibagi menjadi 2 yaitu *grade* dan *multigrade*. Kategori *grade* adalah indeks yang hanya menunjukkan nilai kekentalan saja atau hanya menunjukkan kemampuan oli dalam beradaptasi temperatur baik saat tinggi maupun rendah. Contoh pada *grade* berdasarkan kekentalan : SAE 30 atau SAE 40. Penomeran SAE ini hanya menunjukkan nilai kekentalan saja, tidak membedakan kualitas mana yang lebih baik karena pada dasarnya semakin rendah maka oli itu menunjukkan encer dan semakin tinggi maka semakin kental. Sedangkan *Grade* berdasarkan nilai temperatur : 0W, 5W, 10W, 15W, 20W dan 25W. Huruf dibelakangnya berupa “W” yaitu *Winter* yang memiliki temperatur bermacam-macam, seperti 10W yang berarti jenis ini memiliki kemampuan pelumasan dari suhu -20°C sampai suhu 10°C dll. Kemudian kategori *Multigrade* adalah indeks yang menunjukkan gabungan antara nilai kekentalan dan ‘*Winter*’ dimana untuk menandakan pelumas pada suhu tertentu. Seperti contohnya SAE 10W-30 yang berarti pelumas tersebut mempunyai kemampuan pelumasan dari -20°C sampai dengan 10°C , dan pada nilai *viscosity* nya sama seperti SAE 30 bertemperatur 100°C . dan perlu diingat bahwa semakin kecil angka pada SAE dengan huruf W maka suhunya semakin dingin begitu pula seterusnya.



Gambar 2.6 Rekomendasi penggunaan oli motor (Subaru, 2016)

Pemakaian oli atau minyak pelumas dalam arti kekentalannya ini sangat erat hubungannya dengan temperatur udara luar dimana motor digunakan. Pada **Gambar 2.6** menunjukkan rekomendasi penggunaan minyak pelumas dalam hubungannya dengan temperatur udara. Dari diagram tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur udara luar, semakin tinggi pula angka SAE-nya, begitu juga sebaliknya.

2.2.1.3 Jenis-jenis Minyak Pelumas

a. Minyak pelumas Mineral

Minyak jenis ini dihasilkan dengan proses penyulingan dan berbahan dasarnya (*base oil*) dengan diolah dan ditambahkan zat-zat aditif guna untuk meningkatkan kualitas fungsinya serta kemampuan kinerjanya. Tapi perlu diketahui untuk teknologi motor *new* memang diperlukan oli encer. Tetapi untuk jenis mineral ini tidak disarankan karena bukan hanya kandungan sulfur tersebut, tetapi beberapa *impurities* menjadi kendala sehingga membuat oli tidak stabil. Di sisi lain jenis mineral ini mempunyai kelebihan dimana jika piston dalam keadaan baru maka disarankan menggunakan jenis pelumas ini.

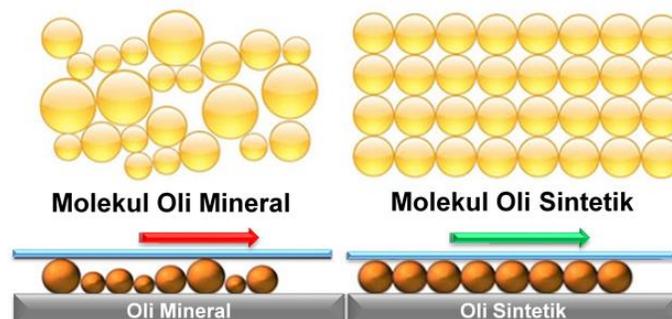
b. Minyak pelumas sintetik

Minyak jenis ini adalah hasil campuran *polyAlphaOiefin* dengan jenis mineral. Pada dasarnya, jenis oli sintetik didesain untuk menghasilkan kinerja yang lebih efektif dibandingkan dengan oli mineral. Oli sintetik lebih direkomendasikan untuk mesin teknologi baru seperti mesin turbo, *supercharged*, DOHC (*Double Over Head Camshaft*) dimana mesin tersebut membutuhkan pelumasan lebih baik karena celah komponen mesin lebih kecil. (Sumber : Wikipedia.org). Berikut merupakan keunggulan dari minyak pelumas sintetik adalah : Pada temperatur tinggi akan lebih stabil, baik dalam menjaga terjadinya endapan karbon, saat cuaca dingin juga kestabilan konstan dan sirkulasi lancar, efisiensi ketahanan terhadap berubahnya oksidasi, lebih konsistensi terhadap suhu dingin, membersihkan kerak didalam mesin.

SINTEK	PARAMETER	MINERAL
Jauh Lebih Murni	Tingkat Kemurnian	Tidak Murni, Mengandung Aromatik, Sulfur
2-5 Kali Lebih Tahan Dibanding Mineral	Ketahanan/Kestabilan Oksidasi	Kurang Tahan
Ekstra Rendah	Penguapan	Lebih Mudah Menguap
120-80	Indeks Viskositas	80-120
Sangat Baik	Proteksi Keausan	Kurang Baik
Baik	Ketahanan Pada Suhu Rendah	Kurang Baik
Crystal Clear	Kemurnian	Coklat
Sangat Rendah	Sulphur Content	Sangat Tinggi
Sangat Rendah	Aromatic Content	Sangat Tinggi
Sangat Tinggi	Saturates Content	Sangat Rendah

Gambar 2.7 Kelebihan pelumas sintetik daripada mineral (Subaru, 2016)

Pada **Gambar 2.7** diatas adalah perbandingan sintetik vs mineral dengan berbagai parameter yang telah di uji. Tetapi untuk harga sintetik jauh lebih mahal bahkan 2 kali lipat dengan mineral karena faktor kegunaan lebih tahan lama berbeda dengan mineral untuk keseharian saja. Dari segi kekentalan juga berbeda, oli dengan SAE sintetik lebih encer daripada mineral. Mengetahui keseimbangan antara struktur molekul dan partikelnya jenis sintetik cenderung lebih stabil / konsisten ketimbang jenis mineral yang tidak seimbang, bisa dilihat dari **Gambar 2.8** dibawah ini :



Gambar 2.8 perbandingan molekul mineral dan sintetik (Subaru, 2016)

c. Minyak pelumas semi sintetik

Minyak jenis ini merupakan minyak dengan campuran antara jenis mineral dan sintetik. Kadar oli sintetik yang terdapat didalamnya 10% hingga 25%. Kelebihan dari oli semi sintetik ini adalah lebih stabil dibandingkan pelumas mineral, dan pada temperatur tinggi dan rendah *viscosity* nya juga lebih unggul, harganya relatif lebih murah dari pada oli sintetik dan dari segi kualitas juga lebih baik dari pada oli mineral. (Sumber : Otorider.net)

d. Minyak pelumas full sintetik

Minyak jenis ini merupakan murni 100% dari bahan *additive* dan campuran dari 2 jenis bahan dasar : *Polyalphaolefins* (PAOs) dan *Ester*. Pada kandungan *Polyalphaolefins* terdapat struktur molekul ditambah *Ethylene* dengan prosentase tertentu dan guna untuk melicinkan secara menyeluruh pada *Engine*. Jenis pelumas ini sangat dianjurkan pada kendaraan dengan mesin modern karena kadar molekul yang cukup baik dan menjadikan minyak ini *Vapourised*. Cocok pula untuk kegunaan kendaraan tipe *sport*, karena aliran pelumas yang sangat baik, tahan pada suhu tinggi maupun rendah, *sound engine* yang halus dan tentunya cocok untuk berkendara dengan jarak yang jauh

2.2.1.4 Sifat penting pelumas

Beberapa sifat minyak pelumas di bawah ini perlu diperhatikan jika diinginkan minyak pelumas memenuhi fungsinya, menurut Arismunandar (1988) sifat pelumas terbagi dalam :

a. Kekentalan

Minyak pelumas harus sesuai dengan fungsinya yaitu untuk mencegah keausan permukaan bagian yang bergesekan, terutama pada beban yang besar dan pada putaran mesin rendah. Minyak pelumas yang terlalu kental akan 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 konten adalah padatan yang ada pada sistem pelumas yang dapat secara langsung meningkatkan keausan pada bagian yang dilumasi.
- e. Jelaga BBM merupakan indikator yang dapat digunakan untuk menganalisa minyak pelumas pada mesin berbahan bakar minyak. Jelaga bahan bakar selalu ada dalam proses pembakaran.
- f. Oksidasi pelumas dapat menyebabkan endapan, korosi logam, atau penebalan minyak pelumas.
- g. Nitrase. Bahan bakar pembakaran di mesin hasil dari nitrase. Produk yang terbentuk sangat asam dan dapat meninggalkan endapan di daerah pembakaran.
- h. *Total Acid Number* adalah ukuran dari jumlah asam atau *acidlike* materi dalam sampel minyak.
- i. *Total Base Number* adalah kemampuan suatu minyak untuk menetralkan keasaman. Semakin tinggi nilai TBN (*Total Base Number*), maka akan semakin besar kemampuannya untuk menetralkan keasaman.
- j. Kandungan partikel merupakan analisis penghitungan partikel yang menjadi bagian dari analisis minyak pelumas. Dalam tes ini, jumlah partikel yang tinggi mengindikasikan bahwa suatu mesin dengan pemakaian yang normal.

2.2.1.6 Jenis-Jenis pelumasan

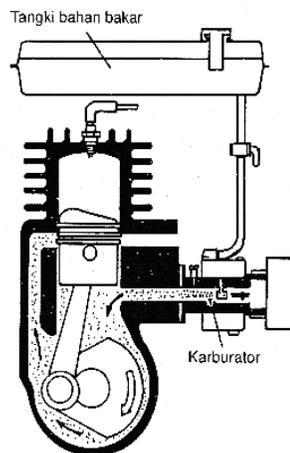
Menurut Daryanto (2004), ada beberapa macam sistem pelumasan, yaitu:

- 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 2.9**.

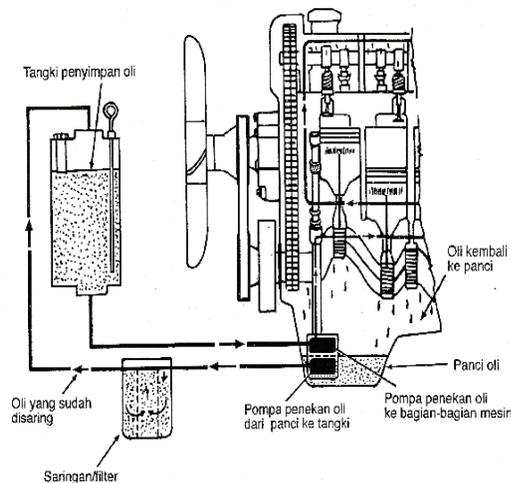


Gambar 2.9 Pelumasan campur bahan bakar (Daryanto, 2004)

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 ke bagian-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 2.10**.



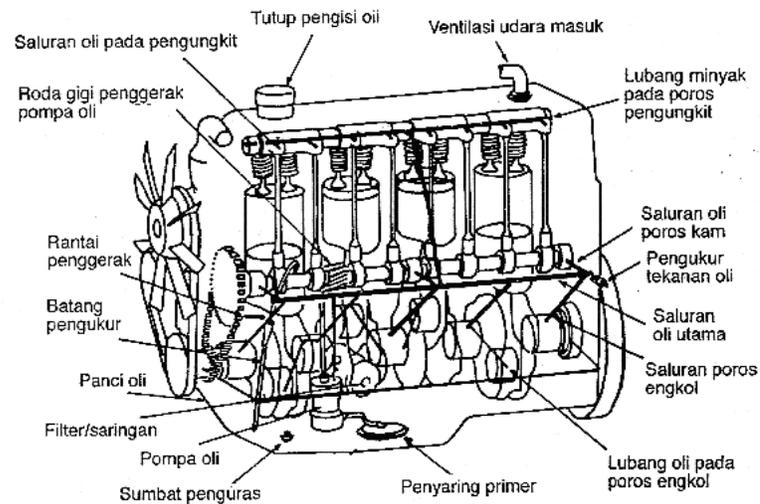
Gambar 2.10 Sistem pelumasan tipe kering (Daryanto, 2004)

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

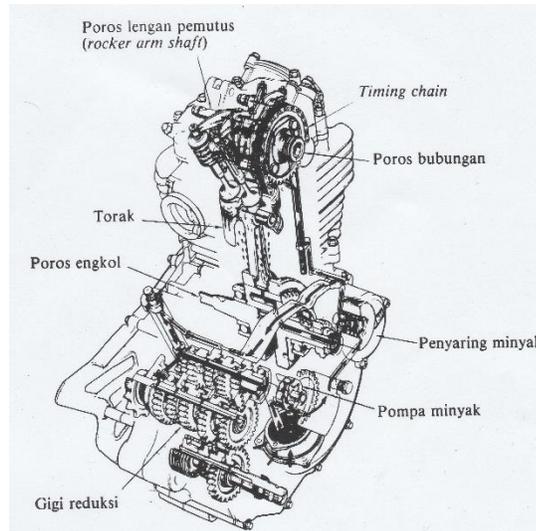
poros batang torak terdapat penggaruk oli yang berfungsi membantu pengambilan oli. Jika putaran mesin meningkat tinggi maka oli berubah menjadi kabut lembut sehingga oli tersebut bisa masuk ke bagian bawah mesin. Contoh sistem pelumasan basah dapat dilihat seperti pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Sistem pelumasan basah (Daryanto, 2004)

d. Sistem Pelumasan Motor 4 Langkah

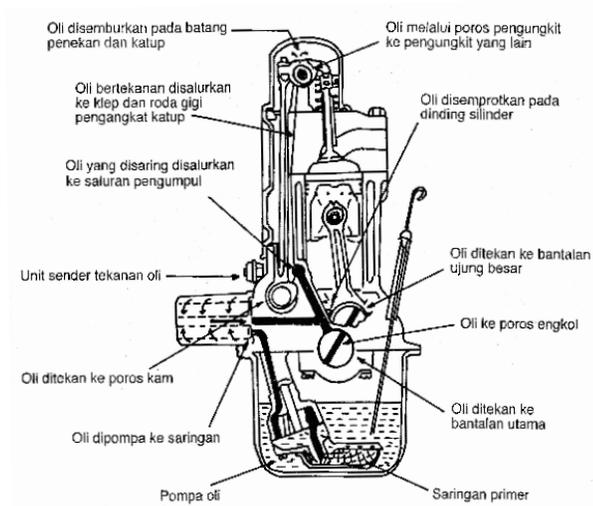
Menurut Daryanto (2004), minyak pelumas motor ini di simpan pada tangki oli dan mengalirkannya ke bagian yang berputar di dalam mesin motor dengan menggunakan pompa oli. Saluran dan sistem pengaliran minyak pada motor satu tidak sama dengan motor yang lain tetapi umumnya seperti terlihat pada gambar 2.12 di bawah ini dengan menggunakan 3 cara :



Gambar 2.12 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.



Gambar 2.13 Sistem pelumasan (Daryanto, 2004)

2.2.2 Viskositas

2.2.2.1 Pengertian Viskositas

Nugroho (2012) Viskositas merupakan suatu kekentalan gesekan internal fluida. Gaya viskos melawan gerakan sebagian fluida relatif terhadap gaya yang lain. Viskositas adalah suatu pernyataan “tahanan untuk mengalir” dari suatu sistem yang mendapatkan suatu tekanan. Semakin kental suatu cairan, maka semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk membuatnya mengalir pada kecepatan tertentu.

Viskositas pada umumnya terbagi dalam 2 zat yaitu zat cair dan gas, viskositas pada zat cair merupakan zat fluida yang secara visual dapat dilihat reaksi kekentalan, dan mengalir pada satu tempat ketempat lainnya dengan gaya kohesi antara molekul. Sedangkan viskositas pada gas berpengaruh pada suhu dimana ketika suhu meningkat aktivitas molekulernya naik pula.

2.2.2.2 Faktor yang mempengaruhi kekentalan (*viscosity*)

Rana (2015) ada beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi *viscosity* berikut penjelasannya :

a. *Temperature*

Pada zat cair dan gas akan berbeda viskositasnya, dimana viskositas zat cair jika kenaikan suhu maka nilai kekentalan akan menurun, dengan maksud molekul-molekul didalamnya akan berinteraksi satu sama lain dan menjadi melemah, maka viskositasnya akan menurun. Sebaliknya pada viskositas gas jika kenaikan suhu maka nilai kekentalannya akan meningkat seiring bertambahnya suhu.

b. *Pressure*

Tekanan ini mempengaruhi viskositas zat cair, sedangkan untuk viskositas gas tidak sama sekali mendapat pengaruhnya.

c. *Heavy molekul*

Jika molekul-molekul didalamnya banyak, akan mempengaruhi viskositasnya, sehingga nilai viskositas akan naik.

d. Konsentrasi larutan

Pada konsentrasi larutan akan mempengaruhi viskositas, dimana berbanding diantaranya. Dengan maksud ketika banyaknya partikel-partikel zat yang terlarut tiap satuan volume maka nilai viskositas juga akan tinggi.

e. Pencampuran zat lain

Sebagai contoh pada gula tebu yang dapat mempengaruhi nilai viskositas nya menjadi tinggi. Selain itu pada minyak atau *gliserin*, jika adanya penambahan maka viskositasnya akan encer dan tentu viskositasnya akan menurun.

f. Ukuran dan berat molekul

Viskositas juga dipengaruhi ukuran dan berat molekul dimana aliran alkohol terjadi cepat sedangkan aliran minyak terjadi lambat dan tentu nilai viskositasnya naik.

g. Kekuatan antar molekul

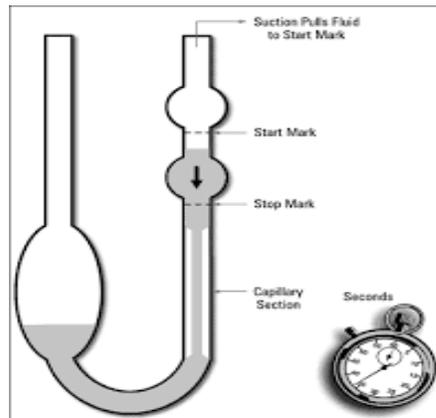
Molekul hidrogen akan mempengaruhi viskositas air menjadi naik, sedangkan molekul CPO dengan gugus OH akan tetap naik.

2.2.2.3 Macam Jenis Alat Viskometer

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.



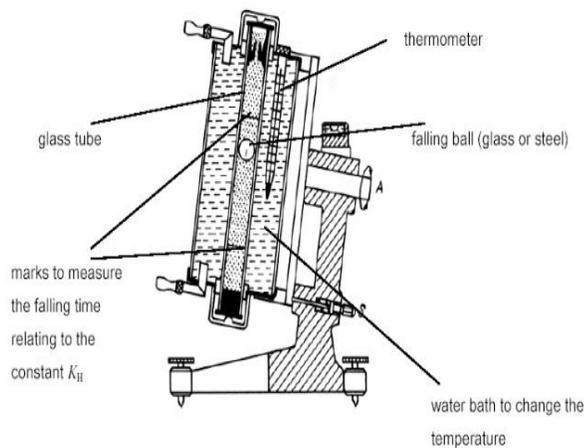
Gambar 2.14 Viskometer *Oswald*

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 2.15 *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 temperatur 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 2.16 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 2.17 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 (Moechtar,1990).

2.2.2.4 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 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 Kinematis

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

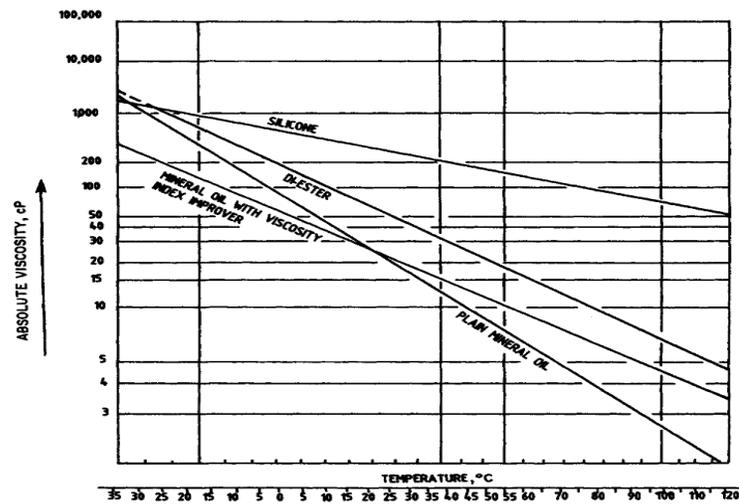
$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} \dots\dots\dots (2.2)$$

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 adalah 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 2.1**.

Tabel 2.1 *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 2.18 Indeks viskositas dengan temperatur (Shigley, 2004)

Gambar 2.18 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

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

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.

SAE adalah peringkat skala viskositas yang sangat luas digunakan dan direproduksi pada **Tabel 2.2**. 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 2.2. Peringkat oli SAE (Shigley, 2004)

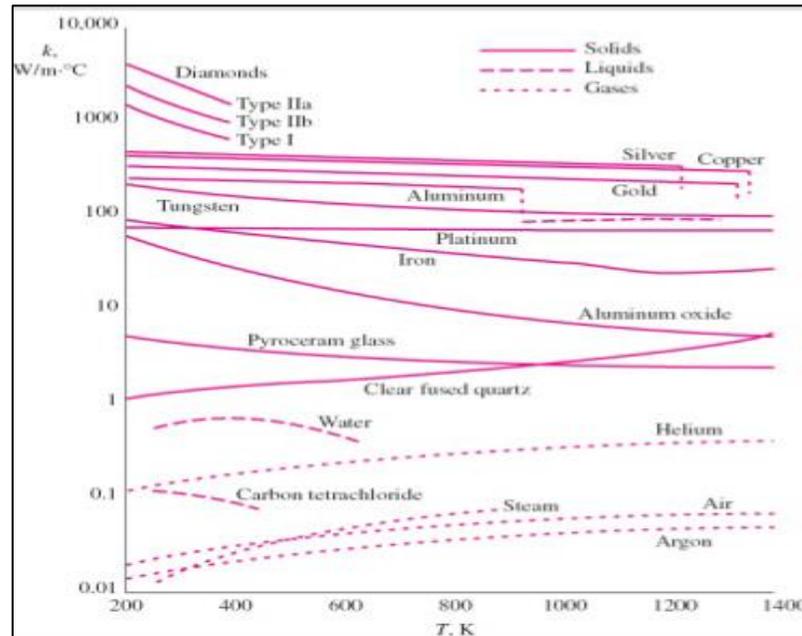
SAE no.	Maximum viscosity at -18°C, cP	Viscosity at 100°C, cSt	
		Minimum	Maximum
Engine oils			
5W	1 250	3.8	
10W	2 500	4.1	
20W†	10 000	5.6	
20	.....	5.6	<9.3
30	.....	9.3	<12.5
40	.....	12.5	<16.3
50	.....	16.3	<21.9
Gear oils			
75	3 250		
80	21 600		
90	.....	14	<25
140	.....	25	<43
250	.....	43	

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

2.2.3 Konduktivitas Thermal Fluida

2.2.3.1 Definisi Perpindahan Kalor

Menurut Nurcahyadi (2015), Perpindahan kalor adalah suatu perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor dapat terjadi dengan tiga mekanisme: konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi tanpa adanya gerakan makroskopis dari mediumnya. Konduksi tidak dapat terjadi pada medium padat saja. Konduksi dapat terjadi juga pada medium cair atau gas asalkan cairan atau gas tersebut dalam kondisi diam. Masing-masing jenis medium memiliki kemampuan memindahkan kalor secara konduksi yang berbeda-beda. Kemampuan suatu medium untuk memindahkan kalor secara konduksi disebut sebagai konduktivitas termal.



Gambar 2.19 Variasi konduktivitas termal berbagai jenis benda padat, cair dan gas pada berbagai temperatur (Cengel, 2011)

Pada **Gambar 2.19** diatas merupakan data konduktivitas thermal dari suatu benda (padat, cair maupun gas) sangat berguna untuk mengetahui perbandingan suatu benda tertentu dan didalam buku *Yunus A. Cengel* juga terdapat rumus dan data spesifik untuk menghitung laju perpindahan kalor konduksi.

Menurut (Holman, 1993) terdapat tiga jenis perpindahan kalor yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Berikut adalah moteda 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

$$\text{Rumus : } H = \frac{Q}{t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

$$Q = k \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Keterangan :

- Q : Kalor (J)
 k : Konduktivitas termal (W/mK)
 A : Luas penampang (m²)
 ΔT : Perubahan suhu (K)
 L : Panjang (m)
 H : Kalor yang merambat persatuan waktu (J/s atau Watt)
 t : Waktu (Sekon)

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

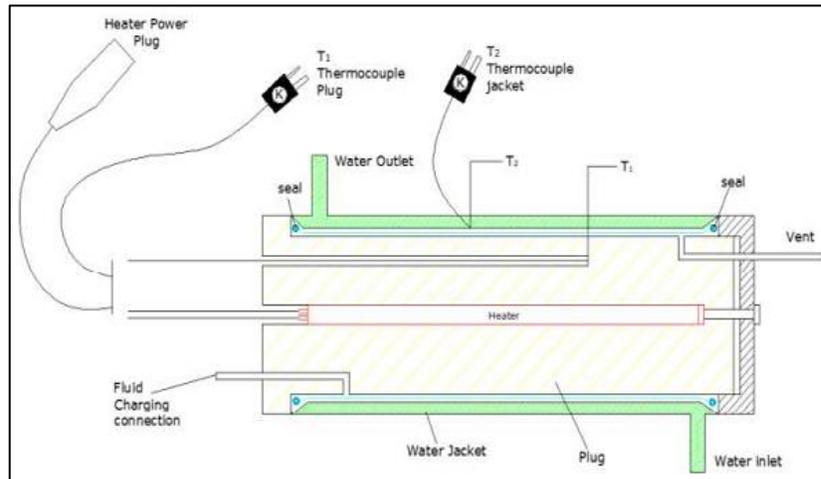
Proses perpindahan kalor melalui zat yang disertai dengan perpindahan partikel zat akibat suhu tinggi. Contoh : Pendinginan Mesin Mobil.

c. Perpindahan Panas Radiasi

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 aluminium untuk mengurangi konduktivitas termal dan variasi temperatur yang mengandung elemen pemanas berbentuk silinder yang resistensinya dalam suhu kerja (*working temperature*) dan dapat diukur dengan akurat. Ruang bebas tersebut cukup kecil untuk mencegah terjadinya konveksi secara alamiah (*natural convection*) dalam sampel fluida tersebut. Karena *radial clearance* yang relatif kecil, sampel fluida di dalam ruang tersebut dapat digambarkan sebagai lapisan tipis (*lamina*) dari area permukaan (*face area*) l dan ketebalan r terhadap perpindahan panas yang berasal dari *plug* menuju ke selubung (*jacket*). Perhitungan yang diperlukan untuk mengukur konduktivitas termal adalah temperatur *plug* (T_1) dan *jacket* (T_2) dengan menyesuaikan variabel *transformer*. (Irawansyah dan Kamal, 2015)



Gambar 2.20 Skema alat konduktivitas termal

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 :

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

A = Luas efektif antara *plug* dan *jacket* sebesar 0,0133 m²

T_1 = Temperatur *Plug* (°C)

T_2 = Temperatur *Jacket* (°C)

V = Voltage (V)

I = Current (A)

Q_e = *Element Heat Input* (W)

Δt = Temperatur *Different* (K)

Δr = Radial clearance 0,34 (m)

Q_i = *Incidental heat transfer rate* (W)

Q_c = *Conduction heat transfer rate* (W)

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

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 di hasilkan oleh benda yang berputar pada porosnya. Torsi atau momen putar motor oleh (Arends & Berenschot, 1980) 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

Pengertian daya adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu. (Arends & Berenschot, 1980). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dinamometer dan tachometer. Untuk menghitung besarnya daya pada motor 4 langkah dapat digunakan rumus Daya dalam satuan Watt sebagai berikut :

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

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 :

$$\dot{M}_f = \frac{\dot{M}_b}{\Delta t} \left(\frac{gr}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

\dot{M}_f = Konsumsi bahan bakar (lg/dt)

M_b = Massa bahan bakar (gr)

Δt = Waktu disaat kendaraan diakselerasi (detik)

2.2.4.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan dengan nilai ekonomis mesin, karena jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dapat dihitung dan menghasilkan daya mesin dengan waktu tertentu.

$$SFC = \frac{\dot{M}_f}{P} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

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

SF : konsumsi bahan bakar (1/kWH)

P : Daya poros efektif (W)