

Buku ini akan menjelaskan konsep dasar dari tribologi, fenomena gesekan, aus, dan peran pelumasan dalam meminimalkan kerusakan. Buku ini juga akan memperkenalkan berbagai jenis pelumas, seperti cairan, padat, dan gas, serta berbagai macam-macam pelumasan. Selain itu, buku ini akan menguraikan properti yang diperlukan dalam pelumas cair dan peran bahan tambahan (additif) dalam meningkatkan kinerja pelumas.

Selanjutnya, buku akan memperdalam topik pelumas dengan menjelaskan teknologi dasar yang terkait dengan pelumas, termasuk minyak mineral, cairan sintesis, dan pelumas berbasis bio. Pembaca juga akan diperkenalkan dengan formulasi pelumas yang berbeda, termasuk pelumas mesin, pelumas industri, dan grease.

Terakhir, buku ini akan membahas topik degradasi pelumas, terutama degradasi oksidatif, yang merupakan faktor penting dalam pemeliharaan pelumas yang efektif.

Dengan buku ini, diharapkan bahwa pembaca akan memperoleh pemahaman mendalam tentang tribologi, gesekan, aus, dan pelumasan, serta menjadi lebih terampil dalam memilih dan merawat pelumas untuk berbagai aplikasi.

# TEKNOLOGI PELUMASAN

# **TEKNOLOGI PELUMASAN**

## **UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta**

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat ciptaan dan/atau produk hak terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu ciptaan dan/atau produk hak terkait dapat digunakan tanpa izin pelaku pertunjukan, produser fonogram, atau lembaga penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# TEKNOLOGI PELUMASAN

**Riyan Ariyansah**

**Dan Mugisidi**

**Oktarina Heriyani**



# TEKNOLOGI PELUMASAN

Penulis:

**Riyan Ariyansah  
Dan Mugisidi  
Oktarina Heriyani**

Editor:

**Alfian Ady Saputra**

Desainer:

**Tim Mafy**

Sumber Gambar Cover:

**[www.freepik.com](http://www.freepik.com)**

Ukuran:

**viii, 80 hlm., 17,6 cm x 25 cm**

ISBN:

**978-623-8470-58-7**

Cetakan Pertama:

**November 2023**

**Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.**

**PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA**

**ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023**

Kota Solok, Sumatera Barat, Kode Pos 27312

Kontak: 081374311814

Website: [www.penerbitmafy.com](http://www.penerbitmafy.com)

E-mail: [penerbitmafy@gmail.com](mailto:penerbitmafy@gmail.com)

# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Tribologi .....	1
B. Friksi ( <i>Friction</i> ).....	1
C. Keausan (wear).....	3
D. Pelumasan (Lubrication) .....	5
<b>BAB 2 LUBRICATION (PELUMASAN).....</b>	<b>9</b>
A. Pelumas Cair .....	9
B. Pelumas Padat .....	10
<b>BAB 3 SISTEM PELUMASAN MESIN .....</b>	<b>15</b>
A. Sistem Pelumasan .....	15
B. Viskositas.....	18
C. Peran Aditiv .....	23
D. Deterjen Molekul .....	25
E. Fungsi Pelumas .....	26
F. Karakteristik Pelumas Cair.....	28
G. Pelumas Petro (Minyak Mineral) .....	28
H. Pembuatan Pelumas Petro (Minyak Mineral).....	29
I. Proses Pemurnian Pelarut .....	31
J. Klasifikasi Minyak Pelumas Berdasarkan Index Viskositas ....	32
K. Proses Hidro Teating .....	32
L. Perbedaan Antara Hydro Teating Dengan Solvent Refined Base Oil .....	33
M. Minyak Dasar Pelumas.....	34
N. Klasifikasi API Minyak Dasar Pelumas .....	35
O. Pelumas Berbasis Bio Daya .....	46
P. Teknologi Aditif Dalam Pelumas .....	48

<b>BAB 4 FORMULASI MINYAK PELUMAS .....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
<b>PROFIL PENULIS.....</b>	<b>77</b>

# PRAKATA

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang maha Esa, karena atas pertolongan dan limpahan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan buku yang berjudul **TEKNOLOGI PELUMASAN**.

Buku ini akan menjelaskan konsep dasar dari tribologi, fenomena gesekan, aus, dan peran pelumasan dalam meminimalkan kerusakan. Buku ini juga akan memperkenalkan berbagai jenis pelumas, seperti cairan, padat, dan gas, serta berbagai macam-macam pelumasan. Selain itu, buku ini akan menguraikan properti yang diperlukan dalam pelumas cair dan peran bahan tambahan (additif) dalam meningkatkan kinerja pelumas.

Selanjutnya, buku akan memperdalam topik pelumas dengan menjelaskan teknologi dasar yang terkait dengan pelumas, termasuk minyak mineral, cairan sintetis, dan pelumas berbasis bio. Pembaca juga akan diperkenalkan dengan formulasi pelumas yang berbeda, termasuk pelumas mesin, pelumas industri, dan grease.

Terakhir, buku ini akan membahas topik degradasi pelumas, terutama degradasi oksidatif, yang merupakan faktor penting dalam pemeliharaan pelumas yang efektif.

Dengan buku ini, diharapkan bahwa pembaca akan memperoleh pemahaman mendalam tentang tribologi, gesekan, aus, dan pelumasan, serta menjadi lebih terampil dalam memilih dan merawat pelumas untuk berbagai aplikasi.



Kami menyadari bahwa buku yang ada ditangan pembaca ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu kami sangat mengharapkan saran untuk perbaikan buku ini dimasa yang akan datang. Dan tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat membawa manfaat dan dampak positif bagi para pembaca.

**Penulis**

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### A. Tribologi

Tribologi berasal dari kata "tribos" dalam bahasa Yunani yang berarti gesekan, dan "logy" atau "logia" yang berarti studi. Tribologi merupakan kajian mengenai interaksi atau gesekan antara permukaan yang saling bergerak secara relatif. Meskipun penggunaan pelumas telah dimulai sejak zaman kuno, seperti pada peralatan seperti roda pembuatan keramik, engsel pintu, roda kereta, seluncur untuk menyeret batu besar atau patung di Mesir, pembahasan ilmiah terhadap teknologi pelumas dan pelumasan ini relatif baru. Perumusan pertama hukum tribologi muncul pada abad ke-15, ketika insinyur dan seniman bernama Leonardo da Vinci (1452-1519), menemukan bahwa gaya gesekan sebanding dengan gaya normal. Terminologi "TRIBOLOGI" diperkenalkan baru sekitar tahun 1966 sebagai ilmu pengetahuan tentang gesekan (*friction*), keausan (*wear*), dan pelumasan (*lubrication*).

Pengetahuan gesekan biasanya di pelajari pada cabang ilmu bidang teknik mesin atau fisika. Keausan umumnya menjadi bagian dari ilmu bahan atau metalurgi. Pelumasan adalah zat kimia cair untuk mengurangi gaya gesek. Oleh karena itu, tribologi adalah ilmu interdisipliner yang mencakup berbagai aspek, serta memberikan dasar ilmiah untuk memahami fenomena gesekan dan pelumasan dalam sistem tribologi. Efisiensi pelumasan dan aplikasi pelumas selanjutnya bergantung pada parameter seperti konsistensi dan sifat aliran, atau viskositas, yang selalu muncul dalam spesifikasi semua jenis pelumas.

### B. Friksi (*Friction*)

Friksi adalah gaya yang menghambat gerakan gesek atau gulir suatu benda terhadap benda lainnya. Friksi memiliki peran penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan dan mesin. Friksi yang tinggi diperlukan untuk fungsi mur dan baut, klip kertas, penjepit (tang catut), sol sepatu, alat pemegang, dan lain sebagainya. Gaya friksi juga diperlukan ketika berjalan agar menghindari tergelincir. Friksi juga diperlukan untuk menumpuk pasir,

apel, dan sejenisnya. Namun, friksi juga dapat menjadi hambatan yang merugikan. Sekitar 20% tenaga mesin mobil digunakan untuk mengatasi gaya friksi pada elemen-elemen mesin yang bergerak. Friksi yang rendah diinginkan untuk benda yang bergerak seperti mesin tenaga, ski, dan elemen arloji. Selain itu, friksi yang konstan diperlukan untuk sistem rem dan kopling agar gerakan tidak terhambat-hambat.

Friksi telah menjadi fokus kajian dalam bidang mekanika selama beberapa abad, dan hukum serta metode untuk memperkirakan intensitas friksi sudah dikenal sejak 2 abad yang lalu. Meskipun begitu, mekanisme di balik friksi, yakni proses hilangnya energi ketika dua permukaan bersentuhan dan bergesekan, masih belum dapat dijelaskan dengan baik. Penyebab utama terjadinya friksi antara dua logam nampaknya adalah gaya tarik (adesi) pada daerah kontak permukaan yang pada skala mikroskopis cenderung tidak rata. Jika kita perbesar skala permukaannya, ia akan menyerupai kumpulan bukit dan lembah. Ketika beban diterapkan dan dua permukaan bersentuhan, bukit-bukit tersebut menempel (mengalami adesi) atau terjebak di lembah yang ada di permukaan lawannya. Friksi muncul karena terjadi pergeseran (shearing) pada bukit yang terjebak tersebut dan juga karena ketidakrataan permukaan, di mana bagian yang keras tertanam pada bagian yang lebih lembut. Eksperimen sederhana mengenai friksi antara dua benda padat yang digeserkan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya friksi hampir tidak tergantung pada luas kontak. Ketika sebuah benda digeserkan di atas meja, gaya friksi tetap sama, baik benda tersebut berdiri atau berbaring.
2. Friksi berbanding lurus dengan beban yang dikenakan pada permukaan. Jika beberapa benda ditumpuk dan digeserkan di atas meja, total friksi yang muncul empat kali lebih besar dibandingkan friksi yang muncul pada satu benda yang sama.

Sehingga, rasio gaya friksi (F) terhadap beban (L) selalu tetap. Rasio tetap ini disebut koefisien friksi (coefficient of friction) dan sering dilambangkan dengan simbol huruf Yunani mu ( $\mu$ ). Secara matematis, persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mu = F / L$$

Koefisien friksi tidak memiliki satuan, karena gaya friksi dan beban diukur dalam satuan gaya (seperti pound atau Newton) yang saling saling menghilangkan dimensi. Sebagai contoh, jika koefisien friksi ( $\mu$ ) adalah 0,5 untuk kasus di mana sebuah benda ditarik di atas kayu, ini berarti diperlukan

gaya sebesar setengah dari berat benda tersebut untuk mengatasi friksi dan menjaga benda agar tetap bergerak dengan kecepatan konstan. Gaya friksi berlawanan arah dengan gerakan benda dan disebut sebagai friksi kinetik, yang terjadi ketika permukaan bergerak. Hal ini dibedakan dari friksi statik, yang terjadi pada permukaan yang diam. Biasanya, nilai friksi statik selalu lebih besar daripada friksi kinetik.

Friksi rolling (rolling friction) terjadi saat roda, silinder, atau bola bergulir bebas di atas permukaan, seperti yang terjadi pada bantalan bola atau roller. Sumber utama friksi dalam gerakan bergulir adalah hilangnya energi akibat deformasi benda. Ketika bola keras bergulir di atas permukaan, bola mengalami sedikit penyempitan dan permukaan di daerah kontak sedikit melentur. Deformasi elastis atau kompresi di daerah kontak tersebut menghambat gerakan dan energinya tidak dikembalikan saat benda kembali ke bentuk semula. Energi yang hilang pada kedua permukaan sama dengan energi yang hilang saat bola jatuh dan memantul. Besar friksi saat gesekan bergulir pada umumnya 100 hingga 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan gesekan saat gesekan geser. Keuntungan gerakan bergulir telah dipahami oleh manusia sejak zaman dahulu, yang mengarah pada penemuan roda.

### **C. Keausan (wear)**

Keausan (wear) merujuk pada pengikisan material dari permukaan benda padat akibat gerakan mekanis. Fenomena keausan biasanya muncul ketika dua permukaan bergerak satu sama lain dalam keadaan bergesekan dan terbebani. Ini adalah hasil normal dari gesekan antara dua permukaan yang bergerak, yang mengakibatkan pergesekan atau pemindahan materi.

Contohnya, logam uang menjadi aus setelah digunakan dalam waktu lama karena bersentuhan dengan kain dan kulit manusia. Pensil menjadi tumpul karena bersentuhan dengan kertas saat digunakan, jalan menjadi rusak karena berinteraksi dengan roda kendaraan yang terus menerus menggelandinginya. Namun, makhluk hidup seperti tulang memiliki kemampuan penyembuhan sendiri sehingga tidak mengalami kerusakan akibat keausan. Meski demikian, ada juga organ yang tidak memiliki kemampuan regenerasi, seperti gigi. Studi tentang keausan menghadapi kendala utama, yaitu:

1. Ada beberapa mekanisme keausan yang bekerja secara terpisah.
2. Sulit mengukur jumlah kecil materi yang terlibat dalam proses ini.

Kendala ini dapat diatasi dengan menggunakan teknik pelacakan (tracer techniques) menggunakan isotop radioaktif, yang memungkinkan pengukuran pada skala kecil. Terdapat empat jenis keausan yang dikenal, yaitu: Keausan adhesi (adhesive wear) adalah jenis yang paling umum, terjadi ketika terdapat gaya adhesi yang kuat antara dua material padat. Saat dua permukaan didorong bersama, terjadi kontak pada bagian yang menonjol. Saat terjadi pergeseran, akan terjadi penyambungan, dan jika pergeseran terus dilanjutkan, akan terjadi pemutusan. Jika pemutusan tidak terjadi saat penyambungan, maka keausan akan terjadi. Keausan jenis ini tidak diinginkan karena dua alasan:

1. Kehilangan materi pada akhirnya akan mengurangi kinerja komponen.
2. Pembentukan partikel keausan antara permukaan yang bergerak dengan erat dapat menyebabkan hambatan atau bahkan menyebabkan macet pada mekanisme, bahkan jika peralatan masih dalam kondisi baru.

Keausan adhesi beberapa kali lebih besar dalam kondisi tanpa pelumasan dibandingkan dengan kondisi permukaan yang telah dilumasi dengan baik.

Keausan abrasi (abrasive wear) terjadi ketika permukaan yang keras bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak, meninggalkan goresan atau tanda gesek pada permukaan yang lebih lembut. Abrasi juga dapat terjadi karena partikel keras yang patah bergerak di antara dua permukaan yang lebih lembut. Fragmen bahan abrasif yang terdapat dalam fluida yang mengalir dengan cepat juga dapat mengakibatkan goresan pada permukaan, terutama jika terjadi benturan pada kecepatan tinggi. Karena keausan abrasi disebabkan oleh partikel yang lebih keras dari permukaan yang masuk ke dalam sistem, pencegahannya melibatkan eliminasi kontaminan yang keras.

Keausan korosif (corrosive wear) terjadi ketika gas atau cairan menyerang secara kimiawi permukaan yang terbuka akibat proses gesekan. Biasanya, ketika suatu permukaan mengalami korosi, produk korosi (seperti patina) cenderung tetap berada di permukaan, sehingga memperlambat proses korosi lebih lanjut. Namun, jika gesekan terus menerus terjadi, tindakan gesekan ini menghilangkan lapisan permukaan yang seharusnya melindungi terhadap korosi lebih lanjut, sehingga korosi berlangsung dengan lebih cepat. Permukaan yang mengalami keausan korosif biasanya memiliki penampilan yang kasar dan relatif halus.

Keausan kelelahan permukaan (surface-fatigue wear) dihasilkan oleh tekanan berulang yang tinggi saat terjadi gerakan berguling, seperti pada

roda logam di atas rel atau bola bantalan yang bergulir di dalam mesin. Tekanan ini menyebabkan retakan pada lapisan bawah permukaan baik pada komponen yang bergerak maupun yang diam. Saat retakan semakin besar, partikel-partikel besar terpisah dari permukaan dan menimbulkan lubang-lubang. Keausan kelelahan permukaan merupakan bentuk keausan yang paling umum terjadi pada elemen bergulir seperti bantalan atau gigi roda gigi. Pada permukaan gesek, keausan adhesi biasanya terjadi dengan cukup cepat sehingga tidak ada waktu bagi keausan kelelahan permukaan untuk terjadi.

Meskipun proses keausan umumnya dianggap merugikan, dan pada sebagian besar situasi memang demikian, namun ada juga beberapa penggunaan praktis dari proses ini. Sebagai contoh, banyak metode untuk menghasilkan permukaan pada objek manufaktur bergantung pada keausan abrasi, seperti filing, pengamplasan, lapping, dan polesan. Banyak alat tulis, terutama pensil, crayon, dan kapur tulis, bergantung pada keausan adhesi untuk menciptakan efeknya. Penggunaan lainnya terlihat pada keausan gigi taring hewan pengerat. Gigi ini memiliki lapisan enamel keras di permukaan luar yang melengkung dan hanya memiliki dentin yang lunak di permukaan dalam. Oleh karena itu, keausan abrasi dan adhesi, yang terjadi lebih cepat pada sisi yang lebih lunak, berfungsi untuk menjaga ketajaman tepi pemotongan pada gigi-gigi tersebut.

#### **D. Pelumasan (Lubrication)**

Pelumasan merujuk pada tindakan memasukkan pelumas di antara permukaan yang saling bergerak untuk mengurangi keausan dan gesekan. Pengembangan dan uji pelumas adalah aspek yang sangat penting dalam bidang tribologi. Satu perusahaan pelumas bisa memiliki ratusan jenis pelumas yang berbeda. Penggunaan pelumas telah ada sejak zaman kuno, seperti yang terlihat pada relief dinding batu di Mesir 4.000 tahun yang lalu, di mana orang melumasi jalan saat menyeret patung batu yang berat. Di era modern, sistem pelumasan dirancang untuk mengurangi keausan alat agar dapat beroperasi dalam jangka waktu lama tanpa perlu banyak pemeliharaan.

Pelumas berupa cairan yang dikenal sebagai synovial fluid digunakan dalam pelumasan sendi pada hewan dan manusia. Manusia zaman prasejarah menggunakan lumpur sebagai pelumas untuk menarik alat seluncur. Lemak hewan digunakan sebagai pelumas untuk gerobak pertama, dan metode ini terus digunakan hingga abad ke-19 ketika industri minyak bumi muncul.

Industri minyak bumi menjadi sumber utama pelumas mineral atau pelumas petroleum. Kemampuan pelumas petroleum terus dikembangkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, seperti pada sepeda motor, mobil, pesawat, mesin turbo, kereta api, dan mesin pembangkit tenaga, seiring dengan meningkatnya kecepatan dan kapasitas mesin transportasi dan industri.

Kehadiran mesin jet dan eksplorasi luar angkasa telah memicu minat terhadap pelumas sintetik (synthetic lubricants), yang menawarkan kinerja yang unggul dibandingkan pelumas petroleum. Meskipun minyak lumas sintetik telah diperkenalkan dengan luas di pasaran, namun harganya masih beberapa kali lipat lebih tinggi dibandingkan pelumas petroleum konvensional. Akhir-akhir ini, kesadaran akan lingkungan telah mendorong kembali minat pada pelumas yang berasal dari minyak nabati (vegetable oils), yang memiliki dampak lingkungan yang lebih positif.

Jenis-Jenis Pelumasan Ada tiga jenis pelumasan, yaitu pelumasan lapisan cairan (Fluid-film), pelumasan batas (Boundary Lubrication), dan pelumasan padat (Solid Lubrication).

1. Pelumasan Lapisan Cairan (Fluid-film lubrication) Pelumasan ini dilakukan dengan menyisipkan lapisan cairan yang mampu memisahkan permukaan yang bergerak. Lapisan cairan dapat sengaja diciptakan, seperti minyak pelumas pada bantalan (bearings), atau terjadi secara tidak sengaja, seperti ketika air tergenang di jalan dan berinteraksi dengan roda mobil. Meskipun cairan yang umum digunakan adalah minyak, namun gas juga bisa digunakan, dengan udara sebagai gas yang paling umum. Dalam pelumasan hidrodinamik, lapisan fluida dihasilkan dari gerakan dan bentuk permukaan yang bergerak, sedangkan dalam pelumasan hidrostatik, cairan diberikan tekanan dari luar, misalnya melalui pompa.
2. Pelumasan Batas (Boundary lubrication) Pelumasan batas terjadi pada kondisi antara pelumasan lapisan cairan dan ketika tidak ada pelumas sama sekali. Pada situasi ini, properti permukaan dan pelumas akan menentukan besar gesekan dalam sistem ini. Pelumasan batas terjadi terutama saat mesin mulai bergerak dari keadaan diam.
3. Pelumasan Padat (Solid lubrication) Materi padat seperti grafit, molibdenum disulfida (Moly), dan PTFE (Teflon) digunakan ketika pelumas cair tidak mampu menahan beban dan suhu ekstrim. Selain lemak, serbuk, dan gas, terkadang bahan logam juga digunakan sebagai pelumas padat dalam beberapa mesin. Salah satu jenis pelumasan baru adalah pelumas

sol (sol-lube) yang merupakan koloid, yaitu suspensi padatan dalam cairan pelumas.

### **Apa yang Ditawarkan oleh Tribologi?**

Bidang tribologi menangani fenomena-fenomena yang sangat mendasar dan umum ditemui dalam kehidupan manusia, terutama dalam lingkungan benda padat. Aplikasi-aplikasi tribologi telah memberikan manfaat besar sejak zaman kuno dan tetap menjadi kebutuhan penting dalam kehidupan modern. Banyak sistem mekanik bergantung pada nilai-nilai friksi, pelumasan, dan keausan. Di sisi lain, efek-efek tribologi juga dapat menghasilkan masalah, seperti kebisingan yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem agar tidak mengakibatkan ketidaknyamanan akibat gesekan berlebihan atau keausan yang berlebihan. Secara umum, friksi sering kali menghabiskan energi yang signifikan, sementara keausan dapat menyebabkan hilangnya waktu produksi karena perlu mengganti komponen mesin yang rusak. Oleh karena itu, perhatian terhadap tribologi semakin meningkat, karena disadari bahwa energi yang terbuang akibat friksi dan keausan sangat besar, bahkan mencapai lebih dari 6% dari Produk Nasional Bruto (GNP) di Amerika Serikat. Oleh karena itu, ada potensi besar untuk perbaikan melalui peningkatan pengetahuan tribologi. Sejalan dengan perkembangan peralatan modern yang kompleks, dengan kecepatan tinggi dan suhu yang tinggi, bidang tribologi menawarkan metode untuk mengontrol keausan melalui pendekatan sistematis yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu pengetahuan, seperti mekanika fluida, metalurgi, fisika-kimia permukaan, dan pelumas. Tujuan dari Penerapan Tribologi adalah:

1. Meningkatkan pemahaman tentang interaksi antara dua permukaan yang saling bergesek.
2. Mengoptimalkan kinerja peralatan.
3. Mengurangi keausan dan konsumsi energi.

Strategi untuk Penyelesaian Masalah dalam Tribologi melibatkan:

1. Memiliki pemahaman mendalam tentang mekanisme dasar pelumasan.
2. Mengembangkan pelumas yang dapat memberikan kinerja baik pada berbagai kondisi temperatur, tekanan, dan lingkungan.
3. Merancang dan memodifikasi komponen mesin untuk mengurangi gesekan, keausan, dan jumlah pelumas yang dibutuhkan.
4. Memilih bahan yang lebih tahan terhadap gesekan dan keausan.



Penerapan pengetahuan dalam bidang tribologi menjanjikan penghematan dalam berbagai aspek, seperti:

1. Penghematan tenaga kerja.
2. Penghematan dalam penggunaan pelumas.
3. Penghematan investasi.
4. Mengurangi dissipasi energi akibat friksi.
5. Memperpanjang masa pakai mesin.
6. Mengurangi risiko kerusakan dan gangguan.
7. Mengurangi biaya perawatan dan penggantian.

# **BAB 2**

## ***LUBRICANT (PELUMASAN)***

### **A. Pelumas Cair**

Pelumas cair berbasis minyak Produk-produk hewani dan nabati dengan pasti menjadi pelumas pertama manusia dan digunakan dalam jumlah besar. Namun, kurangnya ketahanan kimia dan karena kebutuhan pelumasan semakin tinggi, mereka sebagian besar telah digantikan oleh produk-produk minyak bumi dan bahan sintetis. Beberapa zat organik seperti minyak lemak masih digunakan sebagai aditif karena sifat pelumas khusus mereka. Pelumas berbasis minyak bumi secara dominan merupakan produk hidrokarbon yang diekstraksi dari cairan yang ada secara alami di dalam Bumi. Mereka digunakan luas sebagai pelumas karena memiliki kombinasi sifat-sifat yang diinginkan berikut:

1. Ketersediaan dalam viskositas yang sesuai.
2. Volatilitas rendah.
3. Ketahanan (ketahanan terhadap pelapukan pelumas).
4. Perlindungan dari korosi (ketahanan terhadap pelapukan permukaan gesek).
5. Biaya rendah.

Namun, pelumas berbasis minyak bumi kehilangan ketahanan mereka saat terpapar suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam mesin modern mengakibatkan pelapukan pelumas oleh oksidasi dan menyebabkan pembentukan gumpalan, vernis, dan endapan yang tidak larut. Oleh karena itu, dalam sebagian besar aplikasi, pelumas berbasis minyak bumi harus digunakan jika menginginkan umur peralatan panjang. Pelumas sintetis umumnya dapat dikarakterisasikan sebagai bahan cair netral yang memiliki sifat mirip pelumas berbasis minyak bumi, meskipun umumnya tidak diperoleh langsung dari minyak bumi. Dalam beberapa hal, mereka lebih unggul daripada produk hidrokarbon. Beberapa jenis pelumas sintetis menunjukkan stabilitas viskositas yang lebih baik saat terjadi perubahan suhu, ketahanan terhadap penggosokan dan oksidasi, serta ketahanan terhadap api. Karena sifat-sifat berbagai jenis pelumas sintetis sangat bervariasi, setiap pelumas sintetis cenderung menemukan aplikasi khusus. Tidak ada satu jenis pelumas sintetis tunggal yang ideal untuk semua aplikasi

pelumas. Oleh karena itu, pelumas sintetis komersial (minyak motor, minyak gigi) umumnya merupakan campuran dari beberapa jenis sintetis serta aditif yang dipilih.

## **B. Pelumas Padat**

Pelumas padat (grease) merupakan bentuk lain dari pelumas yang memiliki karakteristik semi-padat atau padat. Grease terdiri dari pelumas cair yang dicampur dengan agen penebal. Pelumas cair ini dapat berasal dari lemak non-edible (tidak bisa dimakan), lemak yang berasal dari bagian hewan yang tidak terpakai, atau minyak dengan kepadatan tinggi yang berasal dari minyak bumi atau bahan sintetis. *Thickening agent* ini memberikan struktur padat atau semi-padat pada pelumas cair, yang memungkinkan grease untuk melekat pada permukaan dan memberikan pelumasan yang berkelanjutan. Jenis *soap* logam seperti aluminium, barium, kalsium, lithium, natrium, dan stronsium adalah agen *thickening agent* utama yang sering digunakan dalam pembuatan grease. Selain itu, *thickening agent non-soap* juga digunakan, termasuk senyawa anorganik seperti tanah liat yang dimodifikasi atau silika halus, atau bahan organik seperti aril urea atau pigmen ftalosianin.

Terdapat berbagai jenis grease berdasarkan sumber bahan dan karakteristiknya:

1. Grease putih: Terbuat dari lemak babi yang tidak bisa dimakan dan memiliki kadar asam lemak bebas yang rendah.
2. Grease kuning: Terbuat dari bagian lebih gelap dari lemak babi dan mungkin mencakup bagian yang juga digunakan untuk membuat grease putih.
3. Grease coklat: Mengandung lemak dari sapi, domba, dan lemak babi.
4. Fleshing grease: Grease yang dihasilkan dari pemotongan kulit dan bulu hewan.
5. Bone grease, hide grease, dan garbage grease: Grease yang dinamai berdasarkan sumbernya, seperti dari tulang, kulit, atau sampah.

Beberapa pabrik juga menggunakan limbah restoran dengan menggunakan sisa makanan, limbah ternak, dan sampah untuk mendaur ulang lemak menjadi grease. Grease dapat juga berbasis mineral atau sintetis, yang terdiri dari *thickening agent* yang terdispersi dalam pelumas cair seperti minyak. Grease digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama di mana pelumasan berkelanjutan dan penahanan pada permukaan diperlukan,

seperti pada bantalan, gigi, dan sambungan yang tidak dapat dijangkau dengan mudah

**Pelumas padat** Definisi dari pelumas padat: Pelumas padat adalah bahan yang digunakan dalam bentuk serbuk atau lapisan tipis untuk memberikan perlindungan dari kerusakan selama gerakan relatif dan untuk mengurangi friksi dan keausan. Istilah lain yang umum digunakan untuk pelumasan padat meliputi pelumasan kering, pelumasan film kering, dan pelumasan film padat. Meskipun istilah-istilah ini mengimplikasikan bahwa pelumasan padat terjadi dalam kondisi kering, cairan sering digunakan sebagai medium atau sebagai pelumas dengan aditif padat. Pelumas padat adalah lapisan bahan padat yang terdiri dari senyawa anorganik atau organik atau dari logam. Mungkin pelumas padat yang paling umum digunakan adalah senyawa anorganik seperti grafit dan molibdenum disulfida ( $MoS_2$ ) serta bahan polimer politetrafluoroetilena (PTFE). Ada tiga jenis umum senyawa anorganik yang berfungsi sebagai pelumas padat:

1. **Padatan tumpukan lapisan:** bahan seperti grafit dan molibdenum disulfida, biasa disebut molisulfida, memiliki struktur kisi kristal yang tersusun dalam lapisan. Ikatan kuat antara atom dalam satu lapisan dan ikatan yang relatif lemah antara atom dari lapisan yang berbeda memungkinkan lamina untuk meluncur satu sama lain. Bahan lain seperti tungsten disulfida, mika, boron nitrida, boraks, perak sulfat, kadmium iodida, dan plumbum iodida juga termasuk dalam jenis ini. Friksi rendah dari grafit sebagian besar disebabkan oleh lapisan film yang diserap; dalam ketiadaan uap air, grafit kehilangan sifat pelumasnya dan menjadi abrasif. Baik grafit maupun molisulfida inert secara kimia dan memiliki stabilitas termal yang tinggi.
2. **Padatan lunak lainnya:** berbagai padatan anorganik seperti timbal putih, kapur, talk, bentonit, iodida perak, dan monoksida timbal digunakan sebagai pelumas.
3. **Lapisan konversi kimia:** banyak senyawa anorganik dapat terbentuk pada permukaan logam melalui reaksi kimia. Lapisan pelumas yang paling dikenal adalah film sulfida, klorida, oksida, fosfat, dan oksalat.

Pelumas padat organik umumnya dibagi menjadi dua kelas besar:

1. **Soap, lilin, dan lemak:** kelas ini mencakup sabun logam seperti kalsium, natrium, lithium; lilin hewan (misalnya lilin lebah dan lilin sperma); asam lemak (misalnya asam stearat dan palmitat); dan ester lemak (misalnya lemak dan lemak babi).

2. Film polimer: ini adalah bahan sintesis seperti politetrafluoroetilena (PTFE juga dikenal sebagai Teflon) dan poliklorofluoroetilena. Salah satu keunggulan utama dari pelumas jenis film ini adalah ketahanannya terhadap kerusakan selama paparan elemen. Sebagai contoh, piringan film polimer setebal  $\frac{1}{2}$ " (13mm) digunakan dalam konstruksi beton bertulang modern untuk mengizinkan pergerakan termal balok yang beristirahat di atas kolom. Piringan film polimer yang tahan lama memfasilitasi perluasan dan kontraksi anggota struktural.

Lapisan tipis logam lembut pada substrat keras dapat berfungsi sebagai pelumas efektif, jika adhesi pada substrat baik. Logam seperti timbal, timah, dan indium termasuk dalam kategori tersebut. Karakteristik Pelumas Padat

Karakteristik: Properti yang penting dalam menentukan kesesuaian suatu bahan sebagai pelumas padat dibahas di bawah ini.

1. Struktur kristal. Pelumas padat seperti grafit dan  $MoS_2$  memiliki struktur kristal lapisan dengan kekuatan geser yang rendah secara inheren. Meskipun struktur lapisan sangat menguntungkan untuk bahan seperti pelumas, bahan nonlapisan juga memberikan pelumasan yang memuaskan.
2. Stabilitas termal. Stabilitas termal sangat penting karena salah satu penggunaan yang paling signifikan untuk pelumas padat adalah dalam aplikasi suhu tinggi yang tidak ditoleransi oleh pelumas lain. Stabilitas termal yang baik memastikan bahwa pelumas padat tidak akan mengalami perubahan fase atau struktural yang tidak diinginkan pada suhu ekstrem tinggi atau rendah.
3. Stabilitas oksidasi. Pelumas tidak boleh mengalami perubahan oksidatif yang tidak diinginkan saat digunakan dalam rentang suhu yang berlaku.
4. Volatilitas. Pelumas harus memiliki tekanan uap rendah

Aplikasi Pelumasan Padat Aplikasi Pelumasan Padat. Secara umum, pelumas padat digunakan dalam aplikasi yang tidak dapat ditoleransi oleh pelumas konvensional yang lebih umum. Kondisi paling umum yang memerlukan penggunaan pelumas padat adalah:

1. Kondisi suhu dan tekanan ekstrem. Ini didefinisikan sebagai aplikasi suhu tinggi hingga  $1926^{\circ}C$  ( $3500^{\circ}F$ ), di mana pelumas lain rentan terhadap degradasi atau dekomposisi; suhu ekstrem rendah, hingga  $-212^{\circ}C$  ( $-350^{\circ}F$ ), di mana pelumas dapat mengeras atau membeku; dan aplikasi tekanan tinggi hingga vakum penuh, seperti di luar angkasa, di mana pelumas dapat menguap.

2. Sebagai aditif. Grafit,  $MoS_2$ , dan seng oksida sering ditambahkan ke cairan dan gemuk. Lapisan konversi permukaan sering digunakan sebagai pelengkap pelumas lain.
3. Kondisi beban intermiten. Saat peralatan disimpan atau tidak aktif dalam jangka waktu yang lama, zat padat memberikan pelumasan permanen yang tidak korosif.
4. Lokasi yang sulit diakses. Di tempat-tempat di mana akses untuk pelayanan sangat sulit, pelumas padat menawarkan keuntungan tersendiri, asalkan pelumas tersebut memadai untuk beban dan kecepatan yang dimaksudkan.
5. Daerah dengan debu dan serat yang tinggi. Zat padat juga berguna di daerah di mana cairan cenderung mengambil debu dan serat dengan pelumas cair; kontaminan ini lebih mudah membentuk pasta penggilingan, yang menyebabkan kerusakan pada peralatan.
6. Kontaminasi. Karena konsistensi padat mereka, zat padat dapat digunakan dalam aplikasi di mana pelumas tidak boleh bermigrasi ke lokasi lain dan menyebabkan kontaminasi peralatan, komponen, atau produk. lainnya.
7. Lingkungan. Pelumas padat efektif dalam aplikasi di mana peralatan yang dilumasi terendam dalam air yang mungkin tercemar oleh pelumas lain, seperti minyak dan gemuk

Keuntungan Pelumasan Padat Beberapa keuntungan dari pelumasan padat adalah:

1. Lebih efektif daripada pelumas cair pada beban dan kecepatan tinggi.
2. Tahan perubahan dalam penyimpanan.
3. Sangat stabil dalam kondisi suhu ekstrem, tekanan, radiasi, dan lingkungan yang reaktif.
4. Memungkinkan peralatan menjadi lebih ringan dan sederhana karena sistem distribusi pelumas dan segel tidak diperlukan.

Kekurangan Pelumasan Padat:

1. Sifat penyembuhan diri yang buruk. Lapisan padat yang rusak cenderung memperpendek umur pakai pelumas.
2. Dispersi panas yang buruk. Kondisi ini khususnya berlaku untuk polimer karena konduktivitas termal yang rendah.
3. Koefisien gesekan dan keausan yang lebih tinggi daripada bantalan yang dilumasi secara hidrodinamis. (4) Warna yang terkait dengan zat padat mungkin tidak diinginkan.

Grafrit memiliki koefisien gesekan yang rendah dan stabilitas termal yang sangat tinggi (2000°C [3632°F] dan lebih tinggi). Namun, aplikasi praktis dibatasi pada rentang 500 hingga 600°C (932 -1112°F) karena oksidasi. Selain itu, karena grafit mengandalkan kelembaban atau uap yang diserap untuk mencapai gesekan rendah, penggunaannya mungkin lebih terbatas. Pada suhu serendah 100°C (212°F), jumlah uap air yang diserap dapat signifikan berkurang hingga titik di mana gesekan rendah tidak dapat dipertahankan. Dalam beberapa kasus, uap yang cukup mungkin diekstrak dari kontaminan di lingkungan sekitar atau sengaja dimasukkan untuk menjaga gesekan rendah. Jika diperlukan, aditif yang terdiri dari senyawa anorganik dapat ditambahkan untuk memungkinkan penggunaan pada suhu hingga 550°C (1022°F). Salah satu kekhawatiran lain adalah bahwa grafit mempromosikan elektrolisis. Grafit memiliki potensi sangat mulia sebesar +0,25V, yang dapat menyebabkan korosi galvanik yang parah pada paduan tembaga dan baja tahan karat di perairan asin. Molibdenum disulfida ( $MoS_2$ ). Seperti grafit,  $MoS_2$  memiliki koefisien gesekan yang rendah, tetapi tidak bergantung pada uap atau kelembaban yang diserap. Bahkan, uap yang diserap sebenarnya dapat mengakibatkan peningkatan gesekan yang sedikit, tetapi tidak signifikan.  $MoS_2$

# BAB 3

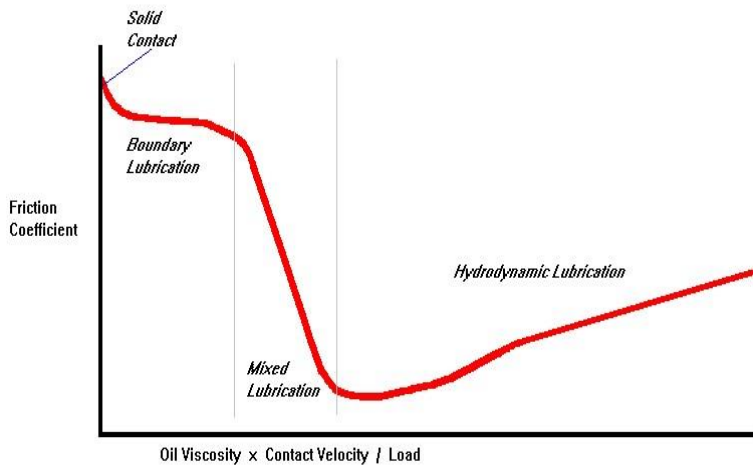
## SISTEM PELUMASAN MESIN

### A. Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan dengan pelumas cair memiliki berbagai kondisi pelumasan yang dapat dibagi menjadi lima daerah pelumasan berdasarkan faktor-faktor seperti beban, kecepatan, dan viskositas pelumas. Kelima daerah pelumasan tersebut adalah:

1. **Solid Contact:** Ini adalah daerah di mana permukaan kontak bekerja secara langsung satu sama lain tanpa adanya lapisan pelumas yang terpisah. Biasanya terjadi pada saat awal pergerakan atau saat beban sangat tinggi sehingga pelumas belum dapat membentuk lapisan yang memisahkan permukaan.
2. **Boundary Lubrication:** Pada kondisi ini, lapisan pelumas sangat tipis dan hanya ada di permukaan kontak. Faktor-faktor seperti adhesi dan reaksi kimia antara pelumas dan permukaan kontak dapat mempengaruhi pelumasan dalam daerah ini. Pelumas yang berada dalam daerah ini tidak mampu sepenuhnya mencegah kontak langsung antara permukaan.
3. **Mixed Lubrication:** Ini adalah daerah peralihan di antara boundary lubrication dan hydrodynamic lubrication. Meskipun lapisan pelumas mulai berkembang, namun sebagian kontak masih terjadi. Pada daerah ini, lapisan pelumas ada namun permukaan kontak tetap berkontribusi pada pelumasan.
4. **Hydrodynamic Lubrication:** Ini adalah kondisi ideal pelumasan di mana lapisan pelumas sepenuhnya mengisolasi permukaan kontak. Tekanan hidrodinamika yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara permukaan dan lapisan pelumas mengangkat permukaan kontak, mencegah gesekan langsung, dan mengurangi aus dan keausan.
5. **Full Film (Elastohydrodynamic) Lubrication:** Ini adalah kondisi pelumasan di mana pelumas cair membentuk lapisan tebal yang memisahkan permukaan kontak secara efektif. Lapisan pelumas ini juga dapat mengalami deformasi elastis karena tekanan kontak yang tinggi.





Kurva Stribeck (Stribeck Curve) digunakan untuk menggambarkan transisi antara daerah pelumasan ini dengan memplotkan koefisien gesekan terhadap kecepatan geser (sliding speed) pada berbagai viskositas pelumas dan beban. Kurva ini membantu mengidentifikasi di mana suatu sistem pelumasan berada dalam lima daerah pelumasan tersebut dan memberikan panduan tentang kinerja pelumasan pada kondisi tertentu. Penting untuk memahami daerah pelumasan dan faktor-faktor yang mempengaruhi agar sistem pelumasan dapat berfungsi secara optimal dan mencegah keausan berlebihan serta kerusakan pada komponen mesin.

a) Kontak Padat

Kondisi Kontak Padat adalah keadaan diam di mana terjadi kontak erat antara dua permukaan. Permukaan ini terkunci oleh kekasaran permukaan masing-masing. Koefisien Gesekan berada pada maksimumnya. Nilai dari kondisi ini dinyatakan sebagai Koefisien Gesekan Statis. Kondisi ini juga disebut "Stiction," karena dua permukaan tersebut secara harfiah melekat satu sama lain. Semakin tinggi Koefisien Gesekan Statis atau Stiction, semakin besar gaya yang diperlukan untuk memindahkan dua permukaan satu sama lain. Karena tidak ada pergerakan, tidak ada Aus. Karena dua permukaan tersebut diam dan terkunci oleh kekasaran permukaan, tidak ada Pemisahan antara dua permukaan.

b) Pelumasan Batas

Pelumasan Batas terjadi saat terjadi gerakan lambat dan saat dua permukaan bantalan tidak lagi terkunci tetapi juga tidak sepenuhnya terpisah. Puncak kekasaran permukaan saling bersentuhan, menyebabkan

gesekan dan aus yang tinggi. Kondisi pelumasan seperti ini terjadi selama saat mulai.

#### 1. Pelumasan Campuran (Pelumasan Elastohidrodinamik)

Pelumasan Campuran terjadi ketika lapisan pelumas sangat tipis atau beban sangat tinggi sehingga pelumas tidak dapat sepenuhnya memisahkan dua permukaan bantalan. Beban tinggi menyebabkan elastodeformasi permukaan, dan viskositas pelumas meningkat. Kontak minimal kekasaran permukaan terjadi dan ini menyebabkan aus yang rendah. Ketika jarak Pemisahan antara dua permukaan bantalan meningkat, Koefisien Gesekan secara cepat berkurang.

#### 2. Pelumasan Hidrodinamik

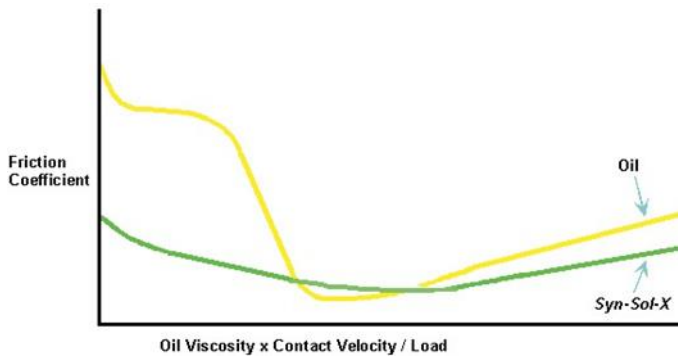
Pelumasan Hidrodinamik terjadi ketika permukaan bantalan sepenuhnya terpisahkan oleh lapisan minyak yang lebih tebal daripada kekasaran permukaan. Di bawah kondisi seperti ini, gesekan rendah dan hanya dipengaruhi oleh Viskositas Minyak. Karena tidak ada kontak antara permukaan bantalan, tidak ada aus. Saat kecepatan gesekan meningkat, Viskositas Minyak menyebabkan peningkatan kecil dalam Koefisien Gesekan.

Kondisi Pelumasan Hidrodinamik memiliki Kecepatan TINGGI, Gesekan RENDAH, Aus TIDAK ADA, Pemisahan Lebih dari Kekasaran Permukaan.

#### 3. Pelumasan Sol

Pelumasan Sol terjadi ketika permukaan bantalan sepenuhnya terpisahkan oleh lapisan minyak yang mengandung partikel koloid yang lebih besar dalam diameter daripada kekasaran permukaan. Di bawah kondisi seperti ini, gesekan rendah dan hanya dipengaruhi oleh Viskositas Sol. Karena tidak ada kontak antara permukaan bantalan, tidak ada aus. Saat kecepatan gesekan meningkat, Viskositas Sol menyebabkan peningkatan kecil dalam Koefisien Gesekan.

Perbandingan Kurva Stribeck antara Pelumasan Konvensional dan Pelumasan Sol.



Fitur Utama:

1. Koefisien Gesekan Saat Mulai Jauh Lebih Rendah tanpa Efek "Stick-Slip"
2. Penurunan Gradual dalam Koefisien Gesekan menuju Titik Gesekan Minimum
3. Peningkatan Gradual dalam Koefisien Gesekan dari Titik Gesekan Minimum

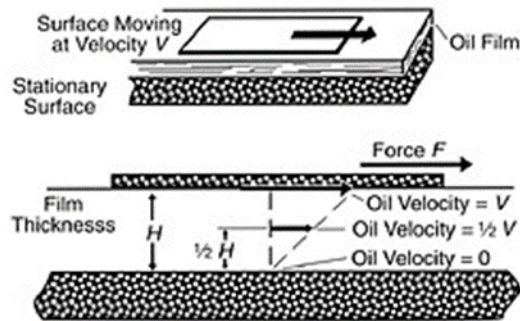
Kembali ke pelumasan berbasis minyak, dapat terlihat bahwa kecepatan relatif, beban, dan viskositas minyak semuanya saling terkait, dan untuk membawa beban yang lebih tinggi dengan kecepatan yang sama, atau beban yang sama dengan kecepatan yang lebih lambat, viskositas minyak harus lebih tinggi. Inilah mengapa minyak dicampur dengan berbagai viskositas. Selain pemilihan viskositas yang tepat, pilihan minyak dasar juga dapat berperan penting dalam memastikan friksi diminimalkan. Di bawah tekanan, molekul-molekul minyak mencoba untuk sejajar sedemikian rupa sehingga mengurangi ruang yang mereka tempati, hal ini mengakibatkan peningkatan viskositas. Perubahan viskositas dengan tekanan (hubungan  $p/v$ ) tergantung pada jenis minyak. Sebagai contoh, minyak parafinik mengental dengan sangat cepat menjadi lilin dalam kondisi tertentu, sedangkan minyak silikon memiliki kurva  $p/v$  yang sangat buruk dan oleh karena itu sebaiknya tidak digunakan dalam aplikasi beban tinggi.

## B. Viskositas

Pelumas Viskositas adalah salah satu sifat paling penting dari minyak pelumas. Ini adalah faktor yang bertanggung jawab atas pembentukan lapisan pelumas dalam kondisi lapisan tebal dan tipis. Viskositas memengaruhi pembangkitan panas dalam bantalan, silinder, dan gigi karena gesekan fluida internal. Ini memengaruhi sifat penyegelan minyak dan laju konsumsi minyak. Ini menentukan seberapa mudah mesin dapat dihidupkan pada berbagai suhu, terutama suhu dingin. Operasi yang memuaskannya dari

peralatan tertentu tergantung pada penggunaan minyak dengan viskositas yang tepat sesuai kondisi operasi yang diharapkan.

#### Concept of Dynamic Viscosity



Konsep dasar viskositas diperlihatkan dalam gambar, di mana sebuah lempeng ditarik dengan kecepatan seragam di atas lapisan minyak. Minyak melekat pada permukaan yang bergerak dan permukaan yang diam. Minyak yang berkontak dengan permukaan yang bergerak bergerak pada kecepatan yang sama,  $V$ , dengan permukaan tersebut, sementara minyak yang berkontak dengan permukaan yang diam berada pada kecepatan nol. Di antaranya, lapisan minyak dapat dipahami sebagai banyak lapisan, masing-masing ditarik oleh lapisan di atasnya dengan sebagian kecepatan  $V$  proporsional terhadap jaraknya di atas lempeng diam.

Sebuah gaya  $F$  harus diterapkan pada lempeng yang bergerak untuk mengatasi gesekan antara lapisan cair. Karena gesekan ini terkait dengan viskositas, gaya yang diperlukan untuk menggerakkan lempeng adalah proporsional terhadap viskositas. Viskositas dapat ditentukan dengan mengukur gaya yang diperlukan untuk mengatasi gesekan cairan dalam lapisan dengan dimensi yang diketahui. Viskositas yang ditentukan dengan cara ini disebut viskositas dinamis atau absolut.

Viskositas dinamis biasanya dilaporkan dalam poise (P) atau centipoise (cP, di mana  $1 \text{ cP} = 0,01 \text{ P}$ ), atau dalam satuan SI sebagai pascal-sekon (Pa-s, di mana  $1 \text{ Pa-s} = 10 \text{ P}$ ). Viskositas dinamis, yang merupakan fungsi dari gesekan internal cairan, adalah kuantitas yang paling sering digunakan dalam perancangan bantalan dan perhitungan aliran minyak.

Karena lebih nyaman untuk mengukur viskositas dengan cara yang pengukurannya dipengaruhi oleh densitas minyak, viskositas kinematik biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi pelumas. Viskositas kinematik dari suatu cairan sama dengan viskositas dinamisnya dibagi oleh densitasnya,

keduanya diukur pada suhu yang sama dan dalam satuan yang konsisten. Unit yang paling umum untuk melaporkan viskositas kinematik adalah stokes (St) atau centistokes (cSt, di mana  $1 \text{ cSt} = 0,01 \text{ St}$ ), atau dalam satuan SI sebagai milimeter persegi per detik ( $\text{mm}^2/\text{s}$ , di mana  $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$ ).

Viskositas dinamis dalam centipoise dapat diubah menjadi viskositas kinematik dalam centistokes dengan membagi dengan densitas cairan dalam gram per sentimeter kubik ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) pada suhu yang sama. Viskositas kinematik dalam milimeter persegi per detik dapat diubah menjadi viskositas dinamis dalam pascal-sekon dengan mengalikan dengan densitas dalam gram per sentimeter kubik dan membagi hasilnya dengan 1000.

Sistem viskositas lainnya, termasuk Saybolt, Redwood, dan Engler, juga pernah digunakan karena familiaritasnya bagi banyak orang. Alat yang dikembangkan untuk mengukur viskositas dalam sistem ini jarang digunakan. Sebagian besar penentuan viskositas dilakukan dalam centistokes dan diubah menjadi nilai dalam sistem lain.

Viskositas dari setiap cairan berubah dengan suhu, meningkat saat suhu menurun, dan menurun saat suhu naik. Viskositas juga dapat berubah dengan perubahan dalam tekanan gesekan atau laju gesekan.

Untuk membandingkan minyak dasar petroleum dengan variasi viskositas terkait suhu, Metode ASTM D 2270 memberikan cara untuk menghitung indeks viskositas (VI). Ini adalah angka sewenang-wenang yang digunakan untuk mengkarakterisasi variasi viskositas kinematik produk petroleum dengan suhu. Perhitungan ini didasarkan pada pengukuran viskositas kinematik pada 40 dan  $100^\circ\text{C}$ . Untuk minyak dengan viskositas kinematik serupa, semakin tinggi indeks viskositas, semakin kecil efek suhu.

Manfaat VI yang lebih tinggi adalah: 1. Viskositas yang lebih tinggi pada suhu tinggi, yang menghasilkan konsumsi minyak mesin yang lebih rendah dan lebih sedikit aus. 2. Viskositas yang lebih rendah pada suhu rendah, yang untuk minyak mesin dapat menghasilkan kemampuan start yang lebih baik dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah selama pemanasan.

Pengukuran viskositas absolut di bawah kondisi realistis telah menggantikan konsep indeks viskositas konvensional dalam mengevaluasi pelumas dalam kondisi operasi. Faktor lain dalam pengukuran viskositas adalah efek tekanan gesekan atau laju gesekan. Untuk cairan tertentu, disebut sebagai cairan Newtonian, viskositas independen terhadap tekanan gesekan atau laju gesekan. Ketika viskositas dipengaruhi oleh perubahan

dalam tekanan gesekan/laju gesekan, cairan tersebut dianggap non-Newtonian.

Pengukuran viskositas kinematik dilakukan pada laju gesekan rendah ( $100 \text{ s}^{-1}$ ). Metode lain tersedia untuk mengukur viskositas pada laju gesekan yang mensimulasikan lingkungan pelumas dalam kondisi operasi aktual. Berbagai alat yang digunakan untuk mengukur viskositas kinematik adalah:

1. Kapiler Viscometers mengukur laju aliran volume tetap cairan melalui suatu orifis kecil pada suhu terkendali. Laju gesekan dapat diubah dari dekat nol hingga  $10^6 \text{ s}^{-1}$  dengan mengubah diameter kapiler dan tekanan yang diterapkan. Jenis kapiler viscometers dan mode operasi mereka adalah:
  - a. Glass Capillary Viscometer — Cairan melewati orifis dengan diameter tetap di bawah pengaruh gravitasi. Laju gesekan kurang dari  $10 \text{ s}^{-1}$ . Semua viskositas kinematik dari cairan otomotif diukur oleh kapiler viscometers.
  - b. High-Pressure Capillary Viscometer — Tekanan gas yang diterapkan memaksa volume tetap cairan melewati kapiler kaca berdiameter kecil. Laju gesekan dapat diubah hingga  $10^6 \text{ s}^{-1}$ . Teknik ini umumnya digunakan untuk mensimulasikan viskositas minyak motor dalam bantalan poros engkol yang beroperasi. Viskositas ini disebut viskositas high-temperature high-shear (HTHS) dan diukur pada  $150^\circ\text{C}$  dan  $10^6 \text{ s}^{-1}$ . Viskositas HTHS juga diukur oleh Tapered Bearing Simulator (lihat di bawah).
2. Rotary Viscometers menggunakan torsi pada poros yang berputar untuk mengukur resistensi cairan terhadap aliran. Cold Cranking Simulator (CCS), Mini-Rotary Viscometer (MRV), Brookfield Viscometer, dan Tapered Bearing Simulator (TBS) semuanya adalah rotary viscometers. Laju gesekan dapat diubah dengan mengubah dimensi rotor, celah antara rotor dan dinding stator, dan kecepatan rotasi.
  - a. Cold Cranking Simulator — CCS mengukur viskositas tampak dalam kisaran 500 hingga 200,000 cP. Laju gesekan berkisar antara  $10^4$  dan  $10^5 \text{ s}^{-1}$ . Rentang suhu operasi normal adalah 0 hingga  $-40^\circ\text{C}$ . CCS telah menunjukkan korelasi yang sangat baik dengan data engkol mesin pada suhu rendah. Klasifikasi viskositas SAE J300 menentukan kinerja viskomatik minyak pelumas suhu rendah dengan batas CCS dan persyaratan MRV.

- b. Mini-Rotary Viscometer (ASTM D 4684) — Uji MRV, yang terkait dengan mekanisme pumpability, adalah pengukuran laju gesekan rendah. Laju pendinginan sampel yang lambat adalah fitur utama metode ini. Sampel diproses sebelumnya untuk memiliki sejarah termal yang ditentukan yang mencakup pemanasan, pendinginan lambat, dan siklus perendaman. MRV mengukur tegangan yield tampak, yang jika lebih besar dari nilai ambang, menunjukkan masalah kegagalan pompa pengikatan udara potensial. Di atas viskositas tertentu (saat ini didefinisikan sebagai 60,000 cP oleh SAE J 300), minyak dapat mengalami kegagalan pumpabilitas oleh mekanisme yang disebut "flow limited" behavior. Sebagai contoh, minyak SAE 10W diharuskan memiliki viskositas maksimum 60,000 cP pada -30°C tanpa tegangan yield. Metode ini juga mengukur viskositas tampak di bawah laju gesekan 1 hingga 50 s<sup>-1</sup>.
- c. Brookfield Viscometer — Menentukan rentang viskositas yang luas (1 hingga 105 P) di bawah laju gesekan rendah (hingga 102 s<sup>-1</sup>). Ini digunakan terutama untuk menentukan viskositas suhu rendah dari minyak gigi otomotif, cairan transmisi otomatis, fluida konverter torsi dan traktor, serta cairan hidrolik industri dan otomotif. Suhu uji dijaga konstan dalam rentang -5 hingga -40°C. Teknik Scanning Brookfield mengukur viskositas Brookfield dari sampel saat didinginkan pada laju tetap 1°C/jam. Seperti MRV, metode ini dimaksudkan untuk berkaitan dengan kemampuan pompa minyak pada suhu rendah. Uji melaporkan titik gelasi, yang didefinisikan sebagai suhu di mana sampel mencapai 30,000 cP. Indeks gelasi juga dilaporkan, dan didefinisikan sebagai laju perubahan peningkatan viskositas dari -5°C ke suhu uji terendah. Metode ini mulai diterapkan pada minyak mesin, dan dibutuhkan oleh ILSAC GF-2.
- d. Tapered Bearing Simulator — Teknik ini juga mengukur viskositas high-temperature high-shear rate minyak motor (lihat High Pressure Capillary Viscometer). Laju gesekan sangat tinggi diperoleh dengan menggunakan celah yang sangat kecil antara rotor dan dinding stator. Persyaratan fisik untuk minyak carter dan pelumas gigi didefinisikan oleh SAE J-300
1. kalium hidroksida yang diperlukan untuk menetralkan satu gram pelumas.
  2. Angka Penetrasi: Angka penetrasi, yang diterapkan pada gemuk, adalah ukuran dari karakteristik film gemuk. Uji ini terdiri dari menjatuhkan

- kerucut standar ke dalam sampel gemuk yang diuji. Gradasi menunjukkan kedalaman penetrasi: semakin tinggi angka, semakin cair gemuk tersebut.
3. Indeks Viskositas: Indeks viskositas adalah angka empiris yang menunjukkan bagaimana perubahan suhu mempengaruhi viskositas minyak pelumas. Nilai ini ditentukan melalui perbandingan viskositas pada suhu tertentu. Semakin kecil perubahan viskositas dengan fluktuasi suhu, semakin tinggi indeks viskositasnya.
  4. Warna: Warna pada minyak pelumas baru menunjukkan tingkat kemurniannya, sementara warna pada minyak pelumas bekas menunjukkan tingkat kontaminasi.
  5. Kestabilan Oksidasi: Minyak pelumas, seperti hidrokarbon lainnya, dapat mengalami oksidasi saat terpapar udara pada suhu tinggi. Reaksi oksidasi menghasilkan senyawa asam organik dan peroksida yang dapat mengubah sifat-sifat pelumas, seperti viskositas, keasaman, dan endapan.
- Semua properti ini bersama-sama memberikan gambaran tentang kualitas dan kinerja pelumas cair dalam berbagai kondisi operasi.

### **C. Peran Aditif**

Aditif dapat diartikan sebagai senyawa yang memiliki kemampuan untuk memperbaiki atau memperkuat spesifikasi atau karakteristik dasar minyak pelumas. Beberapa aditif bersifat serbaguna dan mampu meningkatkan beberapa karakteristik dasar minyak, sementara yang lain berfungsi sebagai pelengkap. Berikut ini beberapa klasifikasi utama dari aditif:

1. Memperbaiki Sifat Minyak Dasar:
  - a. Peningkat Indeks Viskositas (Viscosity Index Improver): Mempengaruhi hubungan antara viskositas dan suhu, mengurangi penurunan viskositas saat suhu naik, dan meningkatkan viskositas saat suhu turun. Biasanya berbentuk polimer, seperti polimetakrilat, kopolimer etilen-propilen (OCP), kopolimer stiren, poli-isoprena.
  - b. Penurun Titik Tuang (Pour Point Depressant): Mengurangi suhu di mana minyak berhenti mengalir, meningkatkan kelincahan pada suhu rendah.
  - c. Antifoamants: Mencegah atau mengurangi pembentukan busa yang dapat mengganggu kinerja pelumas.
2. Memberikan Sifat Baru pada Minyak Dasar:
  - a. Antiwear/EP Agents (agen Anti Aus/Extreme Pressure): Mengurangi aus mekanis pada permukaan yang bersentuhan.



- b. Detergen: Mengurangi aus korosif, deposit, dan lumpur.
- c. Dispersan: Mengurangi deposit dan lumpur dalam minyak.
- d. Antikarat (Antirust): Melindungi dari korosi.

3. Memperpanjang Umur:

- a. Antioksidan: Mencegah oksidasi minyak pelumas oleh udara atau panas, sehingga memperpanjang umur dan menjaga kualitas pelumas.

Cara Kerjanya:

- Pada suhu rendah: Aditif Peningkat Indeks Viskositas (VII) meningkatkan viskositas minyak pada suhu rendah, membantu mencegah gesekan berlebihan saat start awal.
- Pada suhu tinggi: Aditif Antioksidan melindungi minyak dari oksidasi yang disebabkan oleh suhu dan udara panas.

Penting untuk memahami bahwa aditif memiliki peran yang penting dalam meningkatkan dan mempertahankan kinerja minyak pelumas dalam berbagai kondisi operasi.

Cara kerja

Temperatur Rendah



Tempaeratur Tinggi



Pada suhu rendah, peningkat indeks viskositas berada dalam posisi "terlipat" dan tidak memberikan banyak hambatan terhadap aliran minyak. Pada suhu tinggi, secara alami mereka "melipat" dan menciptakan lebih banyak hambatan terhadap aliran minyak.

Kekuatan Penebalan (Thickening Power) Kekuatan penebalan merupakan ukuran efektivitas aditif dalam mengubah viskositas. Semakin efektif aditif tersebut, semakin sedikit jumlah Penambah Indeks Viskositas (VII) yang diperlukan untuk mengubah viskositas. Ini diukur dengan menambahkan sejumlah aditif ke dalam minyak referensi dan mengukur perubahan viskositasnya. Namun, kestabilan geser (shear stability) menjadi pertimbangan penting, terutama untuk Penambah Indeks Viskositas yang berupa molekul panjang, karena selama penggunaan, molekul ini dapat terputus oleh gaya mekanik

kuat, mengakibatkan penurunan viskositas selama penggunaan. VII yang baik akan meminimalkan fenomena ini. Kekuatan penebalan cenderung meningkat dengan berat molekul, namun semakin besar berat molekul, umur molekulnya biasanya lebih pendek. Kekuatan penebalan dan kestabilan geser berada dalam konflik, dan produsen VII harus mencapai kompromi antara keduanya.

Penekanan Titik Tuang (Pour Point Depressants - PPD) PPD memiliki peran dalam mencegah pembentukan kristal pada suhu rendah, yang dapat mengganggu aliran minyak. Contoh bahan PPD termasuk poli-metakrilat, kopolimer etilen vinil asetat, poli-fumarat. Efektivitas penekanan titik tuang tergantung pada karakteristik minyak dasar dan konsentrasi polimer. PPD lebih efektif jika digunakan dalam minyak dasar dengan viskositas rendah (seperti SN 80, SN 150). PPD memiliki batas konsentrasi efektif yang berkisar antara 0.1 hingga 1 persen.

#### D. Deterjen Molekul

Molekul deterjen dapat dijelaskan sebagai berikut;

Detergents/Dispersants.



Bagian polar dari molekul menempel pada permukaan logam dan menghindari pembentukan endapan atau menempel pada bahan tak larut, sehingga menghindari penggumpalan.

Dispersan Dispersan menjaga senyawa yang tak larut, seperti sludge, tetap dalam suspensi, mencegah penggumpalan dan pengendapan. Fungsinya adalah mengendalikan pembentukan endapan pada suhu tinggi. Jenis-jenisnya meliputi succinimida dan ester suksinat, dasar Mannich. Dalam paket aditif pelumas mesin, dispersan memiliki kandungan sekitar 50% dari total aditif. Dispersan adalah aditif utama yang berfungsi untuk mengdispersikan sludge dalam mesin bensin, atau dalam mesin diesel, untuk mengdispersikan jelaga (soot) dan mencegah kenaikan viskositas.

Antiwear - EP (Extreme Pressure) Pada kondisi beban medium-tinggi, aditif antiwear (EP) bereaksi dengan permukaan logam dan membentuk lapisan dengan koefisien gesekan yang rendah. Jenisnya termasuk zinc dialkyl dithiophosphate (ZnDTP), senyawa sulfur-fosfor, kloroparafin terklorinasi,

senyawa belerang organik. Aditif ini juga berfungsi sebagai antioksidan. Namun, penggunaan ZnDTP remaja dipertanyakan karena fosfor dalam ZnDTP dapat meracuni katalis. Hal ini terjadi karena pelumas yang terbakar bersama bensin mencampur dengan gas buang. Karena belum ada aditif pengganti yang setara dengan ZDDP, pengurangan fosfor dalam minyak lumas menjadi satu-satunya pilihan.

Antioksidan Antioksidan berfungsi untuk menghentikan atau memperlambat reaksi kimia antara molekul hidrokarbon dalam pelumas dan oksigen dari udara. Oksidasi adalah mekanisme utama yang menyebabkan kerusakan pelumas, seperti pembentukan lapisan varnish, sludge, jelaga, dan aus akibat korosi. Oksidasi juga menyebabkan kenaikan viskositas dan mengubah rheologi pelumas.

Inhibitor Korosi - Antirust Inhibitor korosi berfungsi utamanya untuk membentuk lapisan fisik pada permukaan logam yang mencegah serangan senyawa korosif seperti air, asam hasil oksidasi, oksidator pada permukaan logam. Jenisnya meliputi asam suksinat dodekil, ester fosforat, amina, imidazolina, derivatif belerang.

Antifoaming Antifoaming bekerja dengan memodifikasi permukaan pelumas di antara udara dan minyak. Biasanya senyawa ini lebih banyak terdispersi di udara daripada dalam minyak. Jenisnya meliputi silikon dan poliakrilat.

Paket Aditif Paket aditif adalah campuran kompleks aditif yang ditambahkan ke dalam minyak dasar untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Interaksi antara beberapa aditif yang berbeda dapat bersifat sinergis atau antagonis. Pengetahuan tentang interaksi ini seringkali menjadi pengetahuan rahasia (proprietary know-how).

Paket Aditif Minyak Mesin

1. Dispersan: 35-60%
2. Deterjen: 25-35%
3. Antiwear: 15-20%
4. Lainnya: 5-15%

## **E. Fungsi Pelumas**

Fungsi utama pelumas adalah mengendalikan friksi dan keausan, tetapi mereka juga memiliki beberapa fungsi lain yang bervariasi tergantung pada aplikasinya. Jumlah dan karakteristik pelumas mempengaruhi sejauh mana friksi dapat dikendalikan. Pelumasan dengan lapisan fluida dapat mengurangi

friksi hingga 200 kali lipat dibandingkan tanpa pelumas. Dalam pelumasan dengan lapisan fluida, friksi berkaitan langsung dengan viskositas pelumas. Namun, pada kondisi pelumasan batas, sifat kimia pelumas lebih memegang peranan penting daripada viskositasnya.

Keausan terjadi pada permukaan karena abrasi, korosi, dan adesi. Pelumas yang baik juga diminta untuk membantu mengurangi keausan ini. Keausan akibat adesi dan abrasi dikurangi dengan cara membentuk lapisan fluida, sehingga permukaan terpisah sepenuhnya dari kontak asperitas dan kontaminan.

### **1. Pencegahan Korosi**

Pelumas juga memiliki peran dalam mencegah korosi. Saat mesin dalam kondisi diam, pelumas berperan sebagai bahan pengawet. Saat mesin beroperasi, pelumas melapisi bagian mesin dengan lapisan pelindung yang mengandung aditif untuk menetralkan zat-zat korosif. Kemampuan pelumas untuk mengontrol korosi tergantung pada ketebalan lapisan fluida dan komposisi kimianya.

### **2. Pengeluaran Panas**

Fungsi penting lain dari pelumas adalah sebagai pendingin, menghilangkan panas yang dihasilkan oleh gesekan atau sumber lain seperti pembakaran atau kontak dengan bahan ber suhu tinggi. Saat menjalankan fungsi ini, pelumas harus tetap relatif stabil. Perubahan dalam stabilitas termal dan oksidatif akan secara signifikan mengurangi efisiensi pelumas dalam hal ini. Biasanya aditif digunakan untuk mengatasi masalah tersebut.

### **3. Penahanan Kontaminan**

Kemampuan sebuah pelumas untuk tetap efektif dalam hadapan kontaminan luar cukup penting. Kontaminan-kontaminan ini termasuk air, produk pembakaran asam, dan partikel-partikel halus. Umumnya aditif digunakan untuk meminimalkan efek buruk kontaminan-kontaminan ini.

### **4. Fungsi Lainnya**

Berbagai pelumas digunakan sebagai cairan hidrolis dalam perangkat transmisi cair. Beberapa pelumas digunakan untuk menghilangkan kontaminan dalam sistem mekanis. Dalam aplikasi khusus seperti transformator dan perangkat penyambung sakelar, pelumas dengan konstanta dielektrik tinggi berfungsi sebagai isolator listrik. Untuk mempertahankan sifat isolasi maksimal, pelumas harus bebas dari kontaminan dan air. Pelumas juga berfungsi sebagai cairan penyerap

goncangan dalam perangkat yang mentransfer energi (misalnya, peredam guncangan) dan di sekitar bagian mesin seperti gigi yang terkena beban intermiten yang tinggi.

## **F. Karakteristik Penting untuk Pelumas Cair**

Beberapa sifat penting yang diperlukan agar minyak pelumas dapat berfungsi dengan baik adalah:

1. **Volatilitas Rendah:** Minyak pelumas tidak boleh menguap dengan mudah, terutama dalam kondisi operasi. Volatilitas minyak pelumas penting dalam memilih jenis minyak dasar yang sesuai dengan penggunaan. Sifat ini umumnya tidak bisa diperbaiki dengan aditif.
2. **Fluiditas:** Karakteristik aliran dalam suhu operasi. Sifat aliran dipengaruhi oleh minyak dasar. Fluiditas dapat ditingkatkan dengan aditif pengurang titik tuang untuk meningkatkan aliran pada suhu rendah, dan modifikator viskositas untuk meningkatkan aliran pada suhu tinggi.
3. **Stabilitas:** Stabilitas selama penggunaan. Beberapa sifat ditentukan oleh minyak dasar, tetapi sebagian besar ditentukan oleh aditif yang meningkatkan stabilitas. Stabilitas pelumas sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, potensial oksidasi, kontaminasi air, fraksi bahan tak terbakar, dan asam korosif. Aditif berperan dalam meningkatkan kinerja dan umur pelumas.
4. **Kompatibilitas:** Kecocokan dengan bahan lain dalam sistem. Kompatibilitas pelumas dengan segel, bantalan, pelat kopling, dll., sebagian ditentukan oleh minyak dasar, tetapi aditif juga dapat memainkan peran besar dalam memperbaiki sifat ini.

## **G. Pelumas Petro (Minyak Mineral)**

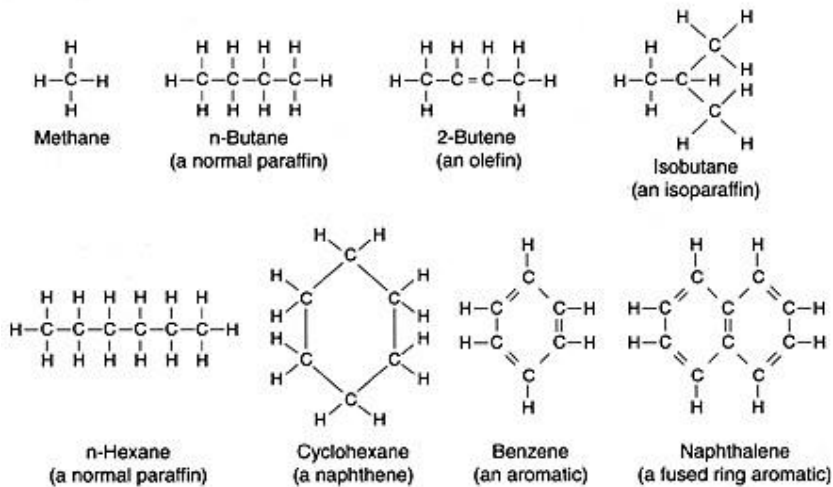
Minyak bumi terbentuk ribuan tahun lalu dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan kecil yang terendap di air bersama dengan lumpur dan pasir di dasar laut. Endapan ini mengalami tekanan dan suhu tinggi dari lapisan yang menumpuk, mengubahnya menjadi hidrokarbon dan senyawa lain dalam minyak mentah. Minyak mentah terperangkap dalam lapisan batuan berpori, dikompresi oleh batuan impermeabel. Lapisan air garam sering ditemukan di bagian bawah minyak.

Minyak mentah diekstraksi dari sumur yang dalamnya biasanya mencapai lima mil di bawah permukaan bumi. Minyak mentah dalam sumur biasanya dalam tekanan tinggi dan mengandung gas. Gas dipisahkan dari

cairan minyak, dan komponen cair yang lebih volatil diolah menjadi "gas alam." Gas dapat digunakan sebagai bahan bakar atau dikembalikan ke sumur untuk mempertahankan tekanan dan meningkatkan produksi minyak mentah.

Minyak mentah ada dalam variasi berbagai jenis, mulai dari bening (kaya akan bensin) hingga hitam pekat. Minyak mentah adalah campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, mulai dari metana hingga senyawa dengan lebih dari 50 atom karbon.

**Typical Hydrocarbon Configurations**



Titik titik didih senyawa hidrokarbon meningkat dengan bertambahnya jumlah atom karbon :

<b>Components</b>	<b>Approximate Boiling Range (°C)</b>
Natural Gas Hydrocarbons	Below -20
Gasoline Components	30 to 200
Diesel and Home Heating Oils	200 to 350
Lubricating Oils and Heavier Fuels	Above 350

## **H. Pembuatan Pelumas Petro (Minyak Mineral)**

Pembuatan minyak pelumas mineral melibatkan serangkaian langkah untuk meningkatkan sifat-sifat pelumas yang diinginkan. Ini meliputi Indeks Viskositas, Oksidasi, Ketahanan Panas, dan Fluiditas pada Suhu Rendah.

Dimulai dari minyak mentah petroleum, pembuatan minyak pelumas melibatkan sekitar lima tahap:

1. **Pemisahan Komponen yang Lebih Ringan:** Komponen yang lebih ringan seperti bensin, bahan bakar jet, diesel, dll., dipisahkan dari minyak mentah melalui distilasi atmosfer. Hasil feed ini dimasukkan ke dalam kolom distilasi vakum di mana fraksi pelumas dengan rentang viskositas tertentu dihasilkan. Fraksi-fraksi ini diperlakukan secara individu dalam kolom ekstraksi pelarut di mana pelarut dicampur dengan fraksi pelumas. Ini mengekstraksi hingga 80% hidrokarbon aromatik dan komponen yang tidak diinginkan lainnya. Setelah menghilangkan hidrokarbon aromatik, fraksi pelumas yang diekstraksi dengan pelarut tersebut didinginkan untuk memperbaiki fluiditas pada suhu rendah. Akhirnya, fraksi pelumas yang didinginkan diakhiri untuk memperbaiki warna dan stabilitas mereka. Salah satu metode umum untuk penyelesaian ini adalah mild hydrotreating.
2. **Distilasi Vakum:** Memisahkan residu distilasi atmosferik menjadi beberapa fraksi yang mewakili berat molekul atau viskositas yang berbeda. Residu ini berisi minyak dasar berat seperti bright stocks. Sebelum diproses lebih lanjut dengan ekstraksi, residu ini harus dipisahkan dari komponen asphaltenes dan resins melalui proses Propana Deasphalting.
3. **Ekstraksi:** Proses ini menggunakan pelarut furfural untuk memisahkan senyawa aromatik dari senyawa non-aromatik. Furfural dicampur dengan feed, kemudian campuran tersebut dipisahkan menjadi dua fase: ekstrak dan rafinat. Fasa ekstrak kaya akan hidrokarbon aromatik, sementara fasa rafinat kaya akan hidrokarbon naftenik. Proses ekstraksi meningkatkan stabilitas termal dan oksidatif serta memperbaiki karakteristik viskositas/temperatur atau indeks viskositas.
4. **Penghilangan Lilin:** Proses ini bertujuan untuk memperbaiki sifat fluiditas atau titik tuang pada suhu rendah. Methyl ethyl ketone (MEK) dicampur dengan feed, dan campuran tersebut didinginkan di bawah titik tuang yang diinginkan. Kristal lilin yang terbentuk kemudian dihilangkan dengan filtrasi.
5. **Hydrofinishing atau Perlakuan Clay:** Tujuan dari tahap ini adalah untuk memperbaiki warna, stabilitas oksidasi, dan stabilitas termal. Hydrofinishing melibatkan mengalirkan minyak panas dan hidrogen melalui katalis, menghilangkan senyawa penyebab warna dan komponen tidak stabil seperti senyawa nitrogen dan belerang. Salah satu

alternatifnya adalah perlakuan clay, yang juga menghilangkan warna gelap dan molekul yang tidak stabil.

6. **Hydrotreating**: Proses ini lebih kuat dan terkadang dilakukan sebelum ekstraksi. Tujuannya adalah meningkatkan hasil ekstraksi dengan mengubah senyawa aromatik menjadi non-aromatik agar tetap ada di rafinat. Selain itu, proses ini juga berfungsi sebagai proses desulfurisasi dan penghilangan senyawa nitrogen.
7. **Hydrocracking**: Pendekatan yang berbeda dalam pembuatan minyak pelumas adalah melalui proses hydrocracking. Proses ini mengubah struktur beberapa senyawa dalam feed. Senyawa aromatik diubah menjadi senyawa naftenik, cincin senyawa naftenik dibuka, dan senyawa naftenik diubah atau diformulasikan ulang. Proses reformasi ini menghasilkan molekul dengan karakteristik viskositas/temperatur yang baik dan meningkatkan stabilitas oksidasi. Proses ini lebih fleksibel terhadap feed dan menghasilkan minyak dasar berkualitas.

### **I. Proses Pemurnian Pelarut**

Proses ini, yang dikembangkan pada tahun 1920-an, mencoba menghilangkan komponen-komponen yang tidak diinginkan dari bahan baku dengan ekstraksi pelarut. Minyak-minyak ringan seperti bensin, diesel, dll., pertama-tama dipisahkan dari minyak mentah melalui distilasi atmosfer. Hasil feed ini dimasukkan ke dalam kolom distilasi vakum di mana fraksi pelumas dengan rentang viskositas tertentu dihasilkan. Fraksi-fraksi ini diperlakukan secara individu dalam kolom ekstraksi pelarut di mana pelarut dicampur dengan fraksi pelumas. Ini mengekstraksi hingga 80% hidrokarbon aromatik dan komponen yang tidak diinginkan lainnya. Setelah menghilangkan hidrokarbon aromatik, fraksi pelumas yang diekstraksi dengan pelarut tersebut didinginkan untuk memperbaiki fluiditas pada suhu rendah. Akhirnya, fraksi pelumas yang didinginkan diakhiri untuk memperbaiki warna dan stabilitas mereka. Salah satu metode umum untuk penyelesaian ini adalah mild hydrotreating.



	Specific Gravity at 60°F	Sulfur (% wt)	Viscosity Index	Kinematic Viscosity (cSt)		Pour Point (°C)	COC Flash (°C)
				at 40°C	at 100°C		
<b>Source 1</b>							
100 Neutral	0.860	0.065	101	20.39	4.11	-13	192
200 Neutral	0.872	0.096	99	40.74	6.23	-20	226
350 Neutral	0.877	0.126	97	65.59	8.39	-18	252
650 Neutral	0.882	0.155	96	117.90	12.43	-18	272
150 Bright Stock	0.895	0.263	95	438.00	29.46	-18	302

## J. Klasifikasi Minyak Lumas Berdasarkan Indeks Viskositas

Minyak dasar yang dihasilkan dari pengilangan memiliki berbagai macam viskositas. Selain itu, ada klasifikasi minyak berdasarkan Indeks Viskositas, yaitu:

1. **HVI (High Viscosity Index):** Minyak lumas dengan indeks viskositas >85.
2. **MVI (Medium Viscosity Index):** Minyak lumas dengan indeks viskositas 30-85.
3. **LVI (Low Viscosity Index):** Minyak lumas dengan indeks viskositas <30.

## K. Proses Hydrotreating

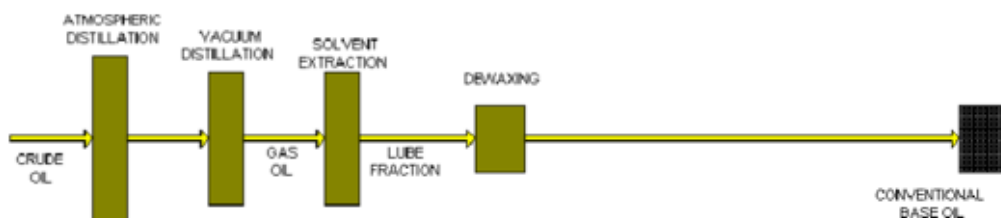
Proses hydrotreating melibatkan penghilangan aromatik dan zat-zat pencemar dengan bereaksi secara kimiawi dengan bahan baku pelumas menggunakan hidrogen di bawah tekanan dan suhu tinggi dalam kehadiran katalis. Beberapa reaksi yang berbeda terjadi dalam proses ini, yang utamanya adalah:

1. Penghilangan senyawa polar yang mengandung sulfur, nitrogen, dan oksigen.
2. Konversi hidrokarbon aromatik menjadi hidrokarbon siklik jenuh.
3. Pemutusan hidrokarbon polisiklo-parafin berat menjadi hidrokarbon jenuh yang lebih ringan.

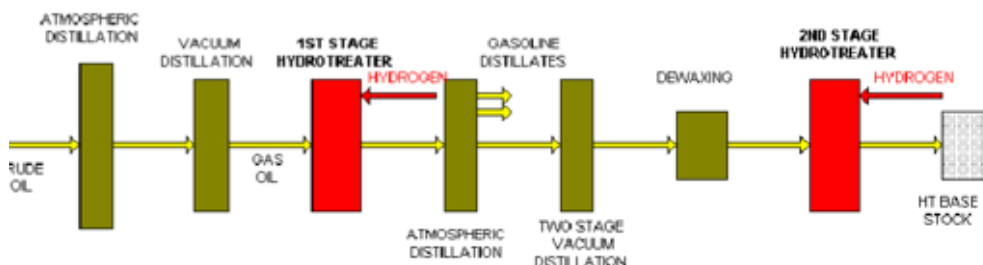
Reaksi-reaksi ini terjadi pada suhu sangat tinggi (400°C) dan tekanan tinggi (3000 psi) dalam kehadiran katalis. Molekul-molekul hidrokarbon yang terbentuk dalam proses ini sangat stabil, sehingga membuatnya cocok untuk digunakan sebagai minyak dasar pelumas.

Tahap pertama proses hydrotreating menghilangkan senyawa polar yang tidak diinginkan dan mengubah bahan baku yang tak jenuh menjadi fraksi minyak lumas yang jenuh dan lilin. Setelah dipisahkan menjadi tingkat viskositas yang diinginkan, batch minyak dasar lilin tersebut dideparrasakan dan dijalankan melalui tahap hydrotreater tahap kedua untuk saturasi tambahan. Ini memaksimalkan stabilitas minyak dasar dengan menghilangkan jejak-jejak tersisa dari senyawa polar dan tak jenuh.

### SOLVENT REFINING



### HYDROTREATING



Minyak dasar yang dimurnikan dengan HydroTreated dan Solvent

## **L. Perbedaan Antara Hydro Treated dan Solvent Refined Base Oils**

Perbedaan utama ini terletak pada eliminasi hampir total senyawa aromatik (kurang dari 0,5%) dalam proses HydroTreating. Oleh karena itu, minyak dasar yang telah melalui proses HydroTreating dapat disebut "99,5% Murni." Sebagai perbandingan, kandungan senyawa aromatik dalam minyak hasil

Pemurnian Pelarut sekitar 20%, sehingga minyak hasil Pemurnian Pelarut dianggap "80% Murni." Berikut adalah karakteristik dan perbedaan signifikan lainnya:

1. **Warna:** Semua minyak dasar yang telah melalui proses Hydrotreating berwarna jernih dan tidak berwarna.
2. **Indeks Viskositas (VI):** Minyak dasar HydroTreated umumnya memiliki VI yang lebih tinggi daripada minyak hasil Pemurnian Pelarut. Akibatnya, viskositas kurang berkurang pada suhu tinggi dibandingkan dengan minyak hasil Pemurnian Pelarut.
3. **Residu Karbon:** Lebih rendah untuk minyak dasar HydroTreated.
4. **Total Angka Asam (TAN):** Lebih rendah untuk minyak dasar HydroTreated.
5. **Demulsibility:** Minyak dasar HydroTreated akan lebih baik dalam memisahkan air daripada minyak hasil Pemurnian Pelarut.
6. **Tahan Oksidasi:** Minyak dasar HydroTreated, dengan tingkat perlakuan antioksidan yang sama, memberikan ketahanan yang lebih unggul terhadap oksidasi.
7. **Stabilitas Suhu Tinggi:** Stabilitas suhu tinggi lebih baik untuk minyak dasar HydroTreated.

### **M. Minyak Dasar Pelumas**

Minyak dasar pelumas (berasal dari minyak bumi) tetap menjadi bagian utama dari pelumas saat ini. Ini adalah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon jenis parafinik, aromatik, dan naftenik, dengan jumlah atom karbon berkisar dari 14 hingga 40+. Mereka merupakan segmen yang sangat penting dalam industri hidrokarbon. Pembuatan minyak dasar ini dalam dua dekade terakhir mengalami perubahan evolusioner karena sejumlah alasan. Berbagai jenis minyak mentah yang perlu diolah meningkat secara signifikan, bersamaan dengan pengenalan proses pengilangan baru dan lebih baik. Proses hidroproses muncul sebagai rute yang paling penting untuk tujuan ini. Berbagai konfigurasi pengolahan yang melibatkan penggantian tahap dearomatisasi, penghilangan lilin, dan hidrofinishing telah dikembangkan. Hidrocracking / hidroisomerisasi memungkinkan kilang untuk menghasilkan minyak dasar / minyak dasar VHVI (Viscosity Index Tinggi) yang setara dalam kinerja dengan cairan dasar sintesis. Minyak dasar parafinik digunakan secara preferensial untuk merumuskan sebagian besar pelumas otomotif dan industri di dunia, termasuk minyak mesin, cairan

transmisi, dan minyak gigi, karena stabilitas oksidasi yang lebih baik, indeks viskositas yang lebih tinggi, dan volatilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak dasar naftenik dengan viskositas yang serupa. Minyak dasar naftenik memiliki titik curah yang lebih rendah dan karakteristik solvabilitas yang lebih baik, dibandingkan dengan minyak dasar parafinik yang membuatnya sangat berguna dalam merumuskan minyak hidrolik suhu rendah, minyak pendingin, minyak proses karet, minyak kerja logam, serta pelumas silinder untuk mesin besar dan gemuk.

Minyak dasar berbeda secara luas dalam komposisi molekul, sifat fisik dan kimia karena sumber minyak mentah dan langkah-langkah pengolahan yang digunakan dalam pembuatannya. Perbedaan dalam komposisi minyak dasar, bahkan dengan sifat fisik yang serupa, dapat memengaruhi kinerja pelumas jadi. Oleh karena itu, minyak dasar pelumas dianggap sebagai produk non-fungible dalam banyak aplikasi penggunaan akhir. Pada tahun 1990, American Petroleum Institute (API) memperkenalkan sistem klasifikasi minyak dasar untuk membantu pemasar dalam mengurangi biaya pengujian ulang saat mencampurkan minyak pelumas berlisensi dengan minyak dasar dari berbagai sumber manufaktur. Sistem ini menggunakan parameter fisik dan kimia untuk membagi semua minyak dasar menjadi lima kelompok seperti yang tercantum dalam tabel di bawah ini:

#### N. Klasifikasi API Minyak Dasar

Group	Saturate wt %	Sulphur wt %	Viscosity Index
I	< 90 and/or	> 0.03	> 80 to < 120
II	≥ 90 and	≤ 0.03	≥ 80 to X 120
III	≥ 90	X 0.03	≥ 120
IV	All poly alpha olefins (PAOs)		
V	All base stocks not included in Groups I-IV		

Dari data yang diberikan, terlihat bahwa seiring berpindah dari kelompok basis I ke basis III, parafinitas meningkat bersamaan dengan karakteristik volatilitas karena perubahan dalam praktik manufaktur dan kandungan

isoparafin yang lebih tinggi. Basis kelompok IV mencakup semua basis PAO (Polyalphaolefins), yang digunakan baik dalam bentuk murni maupun dalam kombinasi dengan basis minyak mineral untuk meningkatkan sifat pelumas. Kelompok basis API V melibatkan semua basis lainnya, termasuk basis minyak naftenik, basis parafinik dengan VI sedang, dan cairan sintesis seperti ester, silikon, dan poligliserol.

Edisi keempat 'Lubricants World' baru-baru ini menerbitkan daftar '2002 Base Oil Refining Facilities' di seluruh dunia, yang dikategorikan berdasarkan wilayah, dan distribusinya ditampilkan dalam tabel berikut:

**Distribusi Kapasitas Pemurnian Minyak Basis Global Berdasarkan Wilayah (2002)**

Sl.No.	Region	Number of LubeRefineries/ Plants	Total Capacity(BPD)
1	Canada	4	26500
2	United States	23	218900
3	Latin America	13	59805
4	Europe	24	177444
5	Former Soviet Union	17	259600
6	Asia	34	220533
7	Middle East & Africa	15	49245
8	Australia	3	12679
	Total*	133	1024706

Minyak sintesis dihasilkan melalui reaksi kimia senyawa berat molekul rendah menjadi senyawa berat molekul tinggi yang dirancang untuk memenuhi sifat-sifat tertentu. Ini berbeda dengan minyak pelumas mineral yang terdiri dari berbagai komponen dengan komposisi yang bervariasi tergantung pada metode produksi dan sumber minyak mentahnya.

Minyak sintesis dimulai dari blok kimia yang relatif murni dan sederhana yang kemudian direaksikan atau disintesis menjadi molekul yang lebih besar dan baru. Hasilnya, minyak sintesis hanya terdiri dari molekul-molekul yang

telah dipilih sebelumnya dan tidak memiliki ikatan lemah yang tidak diinginkan yang menghambat kinerjanya. Kemampuan ini untuk memilih atau merancang molekul-molekul tertentu yang ideal untuk tugas tertentu, dan kemudian menciptakan hanya molekul-molekul itu, membuka dunia baru dalam pembuatan minyak dasar yang unggul untuk pelumas. Faktanya, pendekatan formulasi keseluruhan berbeda: daripada mencoba membersihkan campuran kimia yang terjadi secara alami hingga mencapai tingkat yang dapat diterima dengan mempertimbangkan biaya, insinyur molekular sintetis dapat berfokus pada kinerja optimal dalam aplikasi tertentu dengan pengetahuan bahwa mereka dapat menciptakan molekul-molekul yang diperlukan untuk mencapainya. Karena sintetis biaya jauh lebih mahal daripada basis minyak bumi, biasanya mereka hanya digunakan untuk aplikasi masalah di mana minyak konvensional gagal, atau di mana manfaat efisiensi dari sintetis mengimbangi biaya awal.

Penggunaan basis sintetis untuk memecahkan masalah pelumasan bukanlah hal baru. Berbagai jenis sintetis dikembangkan dan banyak digunakan selama Perang Dunia II untuk mencegah minyak membeku di dalam tangki tank selama pertempuran musim dingin. Setelah perang, sintetis terbukti penting untuk mesin jet baru yang berjalan terlalu panas untuk minyak mineral, menyebabkan minyak habis terbakar dengan cepat dan meninggalkan endapan. Mesin jet ini juga harus dapat dihidupkan kembali di ketinggian yang tinggi di mana suhu sering mencapai -50 derajat Fahrenheit, sehingga minyak harus dapat dipompa pada suhu sangat rendah serta bertahan pada suhu tinggi di dalam mesin. Bahkan, mesin jet modern tidak akan ada hari ini jika bukan karena perkembangan teknologi basis sintetis pada tahun 1950-an, dan saat ini hampir setiap mesin jet di dunia hanya beroperasi dengan pelumas sintetis.

Selama tahun 1960-an dan 1970-an, sintetis secara bertahap masuk ke aplikasi industri yang berat di mana mereka memecahkan masalah endapan suhu tinggi dengan kompresor udara dan rantai konveyor oven, dan masalah aliran suhu rendah di iklim kutub. Kimia sintetis baru muncul untuk memenuhi dan mencocokkan setiap masalah yang dapat diciptakan oleh pengguna industri, dan memang banyak! Secara bertahap, pelumas sintetis mahal dan tinggi teknologi ini memasuki mainstream dan diambil serius karena mereka membuktikan kemampuan mereka untuk menghemat uang melalui waktu henti yang berkurang, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, umur peralatan yang diperpanjang, konsumsi energi yang lebih rendah, dan produktivitas

yang lebih tinggi. Fokus beralih ke biaya total pelumasan, bukan hanya biaya pelumas, dan sintetis seringkali menjadi pemenangnya.

Minyak motor sintetis pertama kali diperkenalkan pada awal tahun 1970-an dengan klaim performa yang fantastis sehingga pada awalnya menghadapi penentang dari produsen otomotif dan perusahaan minyak terhadap produk baru yang belum terbukti. Meskipun sebagian besar klaim tersebut secara arah valid, tingkat perbaikan sering kali dibesar-besarkan hingga menciptakan reputasi "minyak ular". Selama bertahun-tahun berikutnya, manfaat sebenarnya dari minyak motor sintetis diidentifikasi dan diukur hingga memuaskan industri, termasuk stabilitas suhu tinggi yang lebih baik, karakteristik aliran suhu rendah yang sangat baik, volatilitas yang lebih rendah, efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi, dan kapabilitas umur yang diperpanjang. Saat ini, produsen mobil dan perusahaan minyak dengan senang hati mengakui performa unggul dari minyak motor dan minyak gigi sintetis, terutama dalam penggunaan wadah atau penggunaan tugas berat. Namun, untuk pemilik mobil rata-rata, kondisi berkendara cukup ringan untuk minyak mineral konvensional bekerja secara memuaskan, yang menimbulkan pertanyaan apakah manfaat sintetis benar-benar diperlukan untuk mobil penumpang dan apakah sepadan dengan harga yang lebih tinggi. Dalam sebagian besar kasus, perbaikan yang digabungkan akan mengembalikan biaya awal yang lebih tinggi, tetapi karena perbaikan ini tidak dirasakan dengan mudah oleh pengemudi, penetrasi pasar tetap hanya beberapa persen setelah hampir tiga puluh tahun. Penggunaan minyak motor sintetis kemungkinan akan meningkat dalam beberapa tahun mendatang saat pembuat mesin memanfaatkan manfaat dalam desain mesin baru dan meningkatkan kinerja minyak melalui spesifikasi yang lebih ketat.

Saat ini, penggunaan pelumas sintetis diterima, tersebar luas, dan berkembang dengan pesat seiring kemampuan dan manfaat efisiensi biaya mereka yang semakin dikenal di seluruh dunia. Pesawat jet menggunakan minyak sintetis di mesin, sistem hidrolik, instrumen, dan landing gear; kompresor menggunakan sintetis di karter dan silinder; sistem pendingin menggunakan sintetis dengan refrigeran ramah lingkungan yang baru; armada truk menggunakan sintetis di mesin, transmisi, dan kotak gigi; dan daftar berlanjut. Di mana pun ada masalah dengan minyak mineral atau potensi efisiensi biaya yang lebih baik yang terungkap, ada minyak pelumas sintetis yang siap dan mampu untuk turun tangan dan menurunkan biaya pelumasan secara keseluruhan.

Dari banyak minyak sintetis yang ada, yang banyak dijual di pasaran adalah:

1. Olefin oligomer — Aplikasi otomotif dan industri
2. Neopentyl polyol ester — Aplikasi otomotif dan pesawat
3. Ester dari asam dibasis — Aplikasi otomotif dan pesawat
4. Aromatik teralkilasi — Aplikasi otomotif dan industri

Keempat jenis ini banyak digunakan dalam pelumas kendaraan bermotor, baik sendiri atau dicampur dengan minyak mineral. Tabel di bawah ini menunjukkan beberapa karakteristik minyak sintetis tersebut.

### Karakteristik Inspeksi Fisik dari Cairan Sintetis Tertentu

Fluid	Dynamic Viscosity (cP) at - 40°F	Kinematic Viscosity (cSt)		Viscosity Index	Pour Point (°C)	COC Flash (°C)	Temperat ure Range (°C)
		at 40°C	at 100°C				
Olefin Oligomer	2371	18.12	3.96	126	-79	221	-65 to 232
Olefin Oligomer	8176	34.07	6.00	134	-68	243	-65 to 232
Ester of Dibasic Acid — Dioctyl Sebacate	3450	119.58	—	76	-51	232	-54 to 204
Ester of Trimethylol Propane (C <sub>7</sub> )	2360	15.00	3.50	—	< -51	232	-59 to 280
Alkylated Aromatics	9047	29.37	5.10	119	-54	224	-40 to 177

Fluida sintetis lain yang memiliki penggunaan yang sangat spesifik adalah polyglycols, phosphate esters, silicones, silicate esters, dan polyphenyl ethers. Secara umum, minyak sintetis dapat digunakan dalam rentang suhu yang lebih lebar dibandingkan dengan minyak mineral dengan viskositas yang sama.

Berikut adalah beberapa contoh pelumas sintetis yang umum digunakan:

1. **Polyglycol fluids:** Polyalkylene Glycol, Polyglycol Ethers, Polyalkylene Glycol Ethers
2. **Silicones**
3. **Esters:** Diesters (Dibasic Acid Esters)



4. **Esters:** Polyolesters (Neopentyl Poly Esters)
5. **Polymerized alpha olefin:** Polyalphaolefin, Olefin Polymers, Olefin Oligomers - hidrokarbon sintetik
6. **Alkylated Aromatics:** Dialkylbenzenes - hidrokarbon sintetik
7. **Phosphate Esters**

Ada banyak jenis pelumas sintetik lainnya dan variasi kimia dari pelumas sintetik tersebut. Tidak ada pelumas sintetik tunggal yang unggul dalam semua aspek, meskipun suatu pelumas sintetik tertentu mungkin memiliki keunggulan tertentu untuk aplikasi tertentu. Pelumas sintetik yang terdaftar dalam buku ini mencakup sebagian besar volume bahan dasar pelumas sintetik yang digunakan saat ini.

Beberapa aplikasi umum dari setiap jenis pelumas sintetik serta proses umum pembuatan pelumas sintetik jika berlaku, dijelaskan sebagai berikut:

**Polyglycols:** Fluida sintetik ini digunakan pertama kali ketika ditemui kondisi suhu ekstrem. Penggunaan pertama polyglycols adalah sebagai fluida hidrolik berbasis air untuk Angkatan Laut AS pada tahun 1943, digunakan pada pesawat militer agar tidak terjadi kebakaran jika peluru atau serpihan memotong jalur hidrolik. Polyglycols memiliki pelumas yang baik, endapan lumpur rendah, indeks viskositas alami tinggi, dan stabilitas suhu yang baik. Aplikasi tipikal mencakup sistem rem hidrolik otomotif (ethylene dan polyethylene glycol), minyak gigi industri, cairan tahan api (dengan mencampur polyglycol dengan air), gemuk, cairan pemrosesan logam, dan minyak kompresor gas. Polyglycols telah diuji secara ekstensif untuk mesin mobil tetapi tidak pernah berkembang menjadi penggunaan yang luas. Polyglycols tidak kompatibel dengan minyak petroleum.

**Silicones:** Silicones memiliki indeks viskositas yang tinggi dan stabilitas termal yang baik serta kinerja suhu rendah yang luar biasa, yang membuatnya cocok digunakan dalam gemuk tertentu, peredam torsi, dan sistem rem hidrolik otomotif. Cairan rem silikon memiliki stabilitas suhu yang sangat baik pada kendaraan modern yang memiliki sistem rem kinerja tinggi, meskipun mereka tidak sekuat minyak rem Polyglycol dalam mentoleransi air. Ketidakcocokan antara cairan rem silikon dan cairan rem Polyglycol dapat menyebabkan masalah kinerja rem yang serius jika keduanya dicampur. Selain itu, semakin tinggi peringkat suhu/kinerja dari cairan rem, baik itu Polyglycol atau Silikon, semakin tinggi afinitas cairan rem terhadap penyerapan air.

**Esters: Diesters (dibasic acid esters):** Selama Perang Dunia II, berbagai jenis minyak sintetis dikembangkan. Di antara ini, ester dari alkohol rantai panjang dan asam terbutir sangat baik sebagai pelumas suhu rendah. Setelah Perang Dunia II, pengembangan lebih lanjut dari ester sangat terkait dengan turbin gas pesawat terbang. Pada awal tahun 1960-an, ester neopolyol digunakan dalam aplikasi ini karena volatilitas rendah, titik nyala tinggi, dan stabilitas termal yang baik. Diester disiapkan dengan merespons asam dibasis dengan alkohol yang mengandung satu gugus hidroksil yang reaktif. Diester memiliki sifat pelumasan yang baik, stabilitas termal dan geser yang baik, indeks viskositas tinggi, dan memiliki kelarutan dan kemampuan detergen yang luar biasa. Diester adalah pelumas unggul untuk mesin pesawat dan kompresor, meskipun terutama pada pesawat jet yang lebih tua. Diester juga digunakan sebagai pelumas dasar atau bagian dari minyak mesin otomotif dan beberapa gemuk suhu rendah (catatan: hampir semua pesawat jet militer dan komersial modern sebagian besar menggunakan pelumas yang diformulasikan dengan ester polioliol sebagai bahan dasar sekarang).

**Esters: Polyolesters (Neopentyl Poly Esters):** Polyol ester terbentuk dengan merespons alkohol dengan dua atau lebih gugus hidroksil yang reaktif. Cairan sintetis ini digunakan terutama untuk mesin pesawat, turbin gas suhu tinggi, cairan hidrolik, dan cairan pertukaran panas. Polyol ester jauh lebih mahal daripada diester. Pelumas gemuk dengan dasar polyol ester sangat cocok untuk aplikasi suhu tinggi. Polyol ester memiliki keunggulan/kelemahan yang sama dengan diester. Namun, polyol ester jauh lebih stabil dan cenderung digunakan sebagai pengganti diester di mana stabilitas suhu penting. Dalam banyak hal, polyol ester dianggap lebih stabil secara termal sekitar 40-50 derajat Celsius dibandingkan dengan diester dengan viskositas yang sama. Ester memberikan koefisien gesekan yang lebih rendah daripada PAO dan minyak mineral. Dengan menambahkan 5-10% ester ke PAO atau minyak mineral, koefisien gesek minyak dapat dikurangi secara signifikan.

**Polymerized alpha olefin: Polyalphaolefin, Olefin Polymers, Olefin Oligomers - hidrokarbon sintetis:** PAO sering digunakan untuk menggambarkan oligomer olefin dan polimer olefin. PAO awalnya digunakan oleh Gulf Oil Company (kemudian diakuisisi oleh Chevron), tetapi sekarang menjadi istilah umum untuk hidrokarbon yang dibuat dengan oligomerisasi katalitik dari olefin alfa linear yang memiliki enam atau lebih atom karbon.

PAO semakin diterima sebagai pelumas kinerja tinggi dan cairan fungsional karena memiliki karakteristik yang diinginkan. Keuntungan ini meliputi rentang suhu operasi yang luas, viskometriks yang baik (indeks viskositas tinggi), stabilitas termal, stabilitas oksidasi, stabilitas hidrolisis, stabilitas geser, korosivitas rendah, kompatibilitas dengan minyak mineral, kompatibilitas dengan berbagai material konstruksi, toksisitas rendah, dan fleksibilitas manufaktur yang memungkinkan produk disesuaikan dengan persyaratan aplikasi akhir yang spesifik.

<b>Common Acids</b>	<b>No. of Carbons</b>	<b>Ester Family</b>	<b>Available Alcohols</b>
Adipic	6	Adipates	n-octyl isooctyl 2- Ethylhexyl isononyl isodecyl tridecyl
Azaleic	9	Azelates	
Sebacic	10	Sebacates	
Dodecanedioic	12	Dodecanedioates	
Phthalic	8	Phthalates	
Dimer	36	Dimerates	

Adipat adalah diester yang paling banyak digunakan karena biaya relatifnya yang rendah dan keseimbangan sifat yang baik. Secara umum, viskositas adipat berkisar antara 2,3 hingga 5,4 cSt pada suhu 100°C dan memiliki titik tuang di bawah -60°C. Indeks viskositas adipat biasanya berkisar antara 130 hingga 150 dan stabilitas oksidatif serta termalnya, seperti sebagian besar diester lainnya, sebanding dengan PAO. Perbedaan utama antara diester adipat dan PAO adalah keberadaan dua ikatan ester dan manfaat yang terkait seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Penggunaan paling umum dari diester adipat adalah dalam kombinasi dengan PAO dalam berbagai aplikasi seperti minyak kompresor sekrup, minyak roda gigi dan transmisi, minyak karter otomotif, dan cairan hidrolik. Adipat juga digunakan sebagai bahan dasar tunggal di mana biodegradabilitas diinginkan atau kebersihan suhu tinggi kritis seperti dalam pelumas ramah lingkungan, pelumas tekstil, dan minyak kompresor udara bolak-balik.

Azelat, sebakat, dan dodekanediatat adalah serupa dengan adipat kecuali bahwa dalam setiap kasus panjang rantai karbon (tulang belakang) dari asam dibasa lebih panjang. Peregangan "tulang belakang" ini secara signifikan meningkatkan indeks viskositas dan meningkatkan karakteristik

pelumas dari ester sambil mempertahankan semua sifat yang diinginkan dari adipat. Satu-satunya kekurangan dari jenis diester ini adalah harga yang cenderung sekitar 50 - 100% lebih tinggi daripada adipat pada tingkat grosir. Kelompok DBE linear ini terutama digunakan dalam spesifikasi militer yang lebih tua dan di mana faktor pelumas menjadi parameter penting.

Ftalat adalah diester aromatik dan struktur cincin ini sangat mengurangi indeks viskositas (biasanya jauh di bawah 100) dan menghilangkan sebagian besar manfaat biodegradabilitas. Dalam semua hal lain, ftalat berperilaku serupa dengan diester lainnya dan biayanya sekitar 20 - 30% lebih rendah. Ftalat banyak digunakan dalam pelumas kompresor udara (terutama tipe bolak-balik) di mana indeks viskositas rendah adalah norma dan operasi bersih dengan biaya rendah diinginkan.

Asam dimer dibuat dengan menggabungkan dua asam oleat yang menciptakan asam dibasa bercabang besar dari mana diester menarik dibuat. Dimerat memiliki viskositas dan indeks viskositas tinggi sambil mempertahankan aliran suhu rendah yang sangat baik. Dibandingkan dengan adipat, dimerat memiliki harga lebih tinggi (30 - 40%), memiliki biodegradabilitas yang marginal, dan tidak sebersih dalam operasi suhu tinggi. Pelumas mereka sangat baik dan sering digunakan dalam minyak roda gigi sintetis dan minyak 2-tak.

Alkohol yang digunakan untuk membuat diester juga akan mempengaruhi sifat-sifat ester yang dihasilkan dan oleh karena itu merupakan faktor penting dalam proses desain. Alkohol dapat bereaksi sendirian atau dicampur dengan alkohol lain untuk membentuk koester dengan sifat unik mereka sendiri. Tiga alkohol pertama dalam tabel di atas semuanya mengandung delapan atom karbon dan ketika bereaksi dengan asam adipat semuanya menciptakan "adipat dioctyl"; namun, sifat-sifatnya benar-benar berbeda. Adipat n-oktil akan memiliki viskositas tertinggi dan indeks viskositas tertinggi (sekitar 50% lebih tinggi dari pada adipat 2-etilheksil) tetapi akan menunjukkan titik beku yang relatif tinggi sehingga penggunaannya dalam aplikasi suhu rendah hampir tidak mungkin. Dengan bercabangnya alkohol oktil, dua DOA lainnya tidak menunjukkan kecenderungan titik beku dan memiliki titik tuang di bawah -70°C. Adipat isooktil menawarkan keseimbangan sifat terbaik dengan menggabungkan indeks viskositas tinggi dengan rentang suhu yang luas. Adipat 2-etilheksil memiliki VI sekitar 45 unit lebih rendah dan volatilitas sedikit lebih tinggi. Contoh-contoh ini menunjukkan pentingnya menggabungkan alkohol yang

tepat dengan asam yang tepat saat merancang struktur diester dan memberikan keuletan yang besar bagi insinyur ester.

Ester polioliol Istilah "ester polioliol" singkat untuk ester polioliol neopentil yang dibuat dengan merespons asam lemak monobasic dengan alkohol polihedral yang memiliki struktur "neopentil". Fitur unik dari struktur neopentil dari molekul alkohol polioliol adalah fakta bahwa tidak ada atom hidrogen pada beta-karbon. Karena "beta-hidrogen" ini adalah situs serangan termal pertama pada diester, menghilangkan situs ini secara signifikan meningkatkan stabilitas termal ester polioliol dan memungkinkan penggunaan pada suhu yang jauh lebih tinggi. Selain itu, ester polioliol biasanya memiliki lebih banyak gugus ester daripada diester dan polaritas tambahan ini lebih lanjut mengurangi volatilitas dan meningkatkan karakteristik pelumas sambil mempertahankan semua sifat yang diinginkan lainnya yang melekat pada diester. Ini membuat ester polioliol sangat cocok untuk aplikasi suhu lebih tinggi di mana kinerja diester dan PAO mulai memudar.

Seperti diester, banyak asam dan alkohol yang berbeda tersedia untuk memproduksi ester polioliol dan memang jumlah permutasi yang lebih besar mungkin terjadi karena ikatan ester ganda. Tidak seperti diester, ester polioliol (POE) dinamai berdasarkan alkohol bukan asam dan asam sering diwakili oleh panjang rantai karbon mereka. Sebagai contoh, ester polioliol yang dibuat dengan merespons campuran asam lemak

<b>POLYOL ESTERS AND AVAILABLE ACIDS</b>			
<b>Common Alcohols</b>	<b># of Ester Groups</b>	<b>Family</b>	<b>Available Acids</b>
Neopentyl Glycol	2	NPG	Valeric (nC5) Isopentanoic (iC5)
Trimethylolpropane	3	TMP	Hexanoic (nC6) Heptanoic (nC7)
Pentaerythritol	4	PE	Octanoic (nC8)

DiPentaerythritol	6	DiPE	Isooctanoic (iC8) 2-Ethylhexanoic (2EH) Pelargonic (nC9) Isononanoic (iC9) Decanoic (nC10)
-------------------	---	------	--

Setiap alkohol yang ditunjukkan di atas tidak memiliki beta-hidrogen dan secara utama berbeda dalam jumlah gugus hidroksil yang terkandung untuk bereaksi dengan asam lemak. Perbedaan dalam sifat ester sehubungan dengan alkohol ini terutama berkaitan dengan berat molekul seperti viskositas, titik tuang, titik kilat, dan volatilitas. Fleksibilitas dalam merancang cairan ini sebagian besar terkait dengan pemilihan dan campuran dari asam-asam yang diesterifikasi pada alkohol-alkohol ini.

Asam normal atau linear semua memberikan sifat kinerja yang serupa dengan sifat fisik yang dipengaruhi oleh panjang rantai karbon mereka atau berat molekulnya. Sebagai contoh, asam yang lebih ringan seperti valerat mungkin diinginkan untuk mengurangi viskositas suhu rendah pada alkohol yang lebih tinggi, atau tujuan yang sama dapat dicapai dengan melakukan esterifikasi asam yang lebih panjang pada alkohol yang lebih pendek. Sementara sifat-sifat asam normal sebagian besar terkait dengan panjang rantai, ada beberapa perbedaan yang lebih halus di antara mereka yang memungkinkan perumus untuk memvariasikan sifat-sifat seperti stabilitas oksidatif dan pelumas.

Asam bercabang menambah dimensi baru karena panjang, lokasi, dan jumlah cabang semuanya memengaruhi kinerja ester akhir. Sebagai contoh, cabang yang diinkorporasikan dekat dengan grup asam dapat membantu menghambat hidrolisis sementara cabang-cabang ganda mungkin berguna untuk membangun viskositas, meningkatkan aliran suhu rendah, dan meningkatkan stabilitas oksidatif serta kebersihan. Fleksibilitas ester poliol paling baik dipahami ketika seseorang mempertimbangkan bahwa banyak asam biasanya diesterifikasi bersama alkohol poliol yang memungkinkan insinyur ester mengontrol beberapa sifat dalam satu ester. Memang, asam tunggal jarang digunakan dalam ester poliol karena sifat-sifat yang ditingkatkan yang dapat diperoleh melalui koesterifikasi.

Ester polioliol dapat memperluas rentang operasi suhu tinggi dari pelumas sebanyak 50 - 100°C karena stabilitas superior dan volatilitas rendah mereka. Mereka juga terkenal karena kekuatan film dan pelumas yang lebih tinggi yang berguna dalam mengurangi konsumsi energi dalam banyak aplikasi. Satu-satunya kekurangan ester polioliol dibandingkan dengan diester adalah harganya yang lebih tinggi; secara umum, harganya 20 - 70% lebih tinggi dalam basis grosir.

Aplikasi utama untuk ester polioliol adalah pelumas mesin jet di mana mereka telah digunakan secara eksklusif selama lebih dari 30 tahun. Dalam aplikasi ini, minyak diharapkan mengalir pada suhu -54°C, mudah dipompa pada suhu -40°C, dan tahan pada suhu sump mendekati 200°C dengan interval penggantian diukur dalam tahun. Hanya ester polioliol yang ditemukan memenuhi aplikasi yang menuntut ini dan mencampurkan bahkan sejumlah kecil diester atau PAO akan menyebabkan.

## **O. Pelumas Berbasis Biodaya**

### **Pelumas dan Gemuk yang Dapat Terurai dan Berbahan Baku Biodaya**

*Oleh Lou A. T. Honary, Universitas Northern Iowa*

Penggunaan minyak nabati dan lemak hewan dalam tujuan pelumasan telah dilakukan dalam jangka waktu yang lama, tetapi dengan munculnya minyak bumi, alternatif-alternatif ini menjadi kurang populer. Namun, dalam situasi seperti kelangkaan minyak selama perang dan kekhawatiran akan lingkungan, minyak nabati kembali menjadi sorotan. Selama Perang Dunia I dan II, minyak nabati semakin banyak digunakan sebagai bahan bakar, pelumas, dan transfer energi. Demikian pula, embargo minyak pada tahun 1973 mendorong eksplorasi alternatif-alternatif.

Dua dekade terakhir ini telah menyaksikan kebangkitan dalam penggunaan pelumas berbasis minyak nabati karena kesadaran akan lingkungan. Di Eropa, regulasi mendorong penggunaan pelumas yang dapat terurai, sementara Amerika Serikat mulai mengembangkan produk-produk semacam itu pada tahun 1990-an. Alasan utama untuk pertumbuhan yang diantisipasi dalam penggunaan pelumas dan gemuk yang dapat terurai adalah investasi yang dilakukan oleh asosiasi petani Amerika Serikat dalam penelitian di bidang penggunaan "baru" yang bukan untuk pangan guna mengurangi surplus tanaman.

Kemajuan dalam bidang rekayasa genetik telah menghasilkan biji-bijian dengan stabilitas oksidatif yang lebih baik. Sementara minyak nabati alami memiliki sifat yang menarik, mereka kurang memiliki stabilitas yang diperlukan. Modifikasi kimia dan antioksidan dapat mengatasi hal ini, meskipun dengan biaya. Peningkatan genetik, bagaimanapun, telah menghasilkan biji-bijian dengan stabilitas yang lebih baik. Varietas canola, rapeseed, bunga matahari, dan kedelai yang mengandung banyak asam oleat tinggi kini menjadi pilihan utama untuk pelumas yang dapat terurai.

Minyak-minyak nabati ini menunjukkan sifat yang dapat terurai, dapat diperbaharui, dan memiliki toksisitas yang rendah, menjadikan mereka pilihan yang ramah lingkungan. Meskipun demikian, mereka memiliki keterbatasan seperti ketidakstabilan oksidatif dan titik tuang yang tinggi. Teknik-teknik seperti winterisasi, penambahan bahan kimia, dan pencampuran dapat mengatasi masalah-masalah ini. Ester sintetis yang dapat terurai digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat pada suhu dingin, sementara minyak sintetis dapat menurunkan titik tuang.

Tanaman-tanaman khusus yang dikembangkan dalam rekayasa genetik cenderung mengurangi harga dari sejumlah pelumas ini. Di Eropa, peraturan lingkungan telah memperluas penggunaan produk-produk semacam itu. Di Amerika Serikat, kurangnya peraturan yang mengatur dan harga yang lebih tinggi telah menghambat pertumbuhan penggunaan. Namun, kewajiban jangka panjang terhadap manajemen dan harga yang semakin tinggi untuk minyak bumi sedang mengubah paradigma ini.

Pasaran kedelai memiliki infrastruktur yang memenuhi persyaratan mutu dan kuantitas untuk industri pelumas. Pasokan minyak kedelai di seluruh dunia sekitar 6,2 miliar galon, setengahnya diproduksi di Amerika Serikat. Minyak kedelai memiliki stabilitas yang rendah secara inheren, sehingga sebelumnya tidak digunakan untuk pelumas sampai UNI-ABIL (Program Penelitian Perusahaan Soya) mendapatkan pendanaan dari Dewan Promosi Kedelai untuk mempelajari dan mengembangkan produk-produk. Setelah 10 tahun penelitian, pengujian lapangan, dan kegiatan komersialisasi, pelumas dan gemuk yang ekonomis dan unggul dibuat dengan menggunakan minyak kedelai yang ditanam di Amerika Serikat. Banyak dari produk-produk ini digunakan oleh fasilitas pemerintah federal, peralatan milik negara bagian Iowa, dan perusahaan truk dan kereta api.

UNI-ABIL telah memberikan lisensi untuk 16 pelumas, gemuk, dan bahan dasar yang diformulasikan dari biji kedelai oleat tinggi yang telah



ditingkatkan secara genetik untuk stabilitas. Produk-produk ini memenuhi dan melebihi persyaratan industri, dan banyak di antaranya tidak jauh lebih mahal dari produk-produk berbahan dasar minyak bumi. Jika produk-produk ini dapat bersaing dalam kinerja dan harga, manfaat lingkungan yang mereka tawarkan akan semakin menarik bagi para pengguna.

Produk-produk yang saat ini tersedia dari minyak kedelai meliputi: cairan hidrolis untuk transmisi traktor, cairan hidrolis industri untuk proses dan aplikasi mesin, cairan hidrolis yang aman untuk konsumsi manusia dan gemuk, gemuk untuk penggunaan di otomotif, kereta api, dan aplikasi mesin, minyak untuk rantai gergaji mesin, pelumas gigi, minyak kompresor, dan cairan pendingin untuk transformator dan jalur transmisi. Saat ini, uji lapangan masih berlanjut untuk minyak mesin dua-tak, cairan kerja logam, dan pelumas khusus lainnya.

Dengan inisiatif pemerintah sebagai contoh, advokasi oleh asosiasi petani, dan kemajuan dalam penelitian pelumas dan rekayasa genetik biji-bijian, pasar Amerika Serikat akan semakin banyak melihat pelumas berbahan dasar nabati. Seiring pengguna industri mengetahui dan menggunakan produk-produk ini, pelumas berbasis minyak nabati, juga disebut sebagai pelumas yang dapat terurai atau pelumas berbahan dasar nabati, akan menjadi penambahan penting untuk industri pelumas yang ada saat ini. Dengan manfaat yang dimilikinya, produk-produk ini akan semakin banyak digunakan dalam aplikasi di mana kekhawatiran terhadap lingkungan dan keselamatan tinggi, dan akan lebih sedikit digunakan di tempat-tempat di mana produk-produk berbahan dasar minyak bumi menawarkan harga dan kinerja yang melebihi yang dapat ditawarkan oleh produk-produk berbahan dasar nabati. Dapat dipastikan bahwa pelumas dan gemuk berbasis nabati yang ramah lingkungan akan tetap hadir dan bertahan dalam jangka panjang.

## **P. Teknologi Aditif dalam Pelumas**

Aditif dalam pelumas merupakan komponen penting yang ditambahkan untuk meningkatkan kinerja dan sifat pelumas. Beberapa jenis aditif yang sering digunakan meliputi:

1. Deterjen (Metallic Dispersants): Contohnya salisilat, sulfonat, fenat, sulfophenat. Aditif ini membantu dalam menjaga partikel-partikel kontaminan tetap terdispersi dalam cairan pelumas.

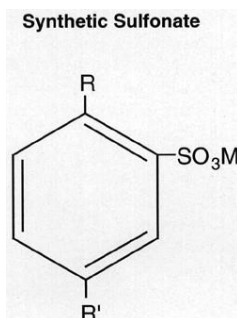
2. Ashless Dispersants: Biasanya merupakan N-substitusi dari succinimida rantai panjang alkenil. Fungsinya juga untuk menjaga partikel terdispersi dalam pelumas.
3. Ester dan Poliester Berberat Molekul Tinggi: Mereka membantu dalam mempertahankan stabilitas oksidatif dan mencegah korosi pada bantalan.
4. Garam Amina dari Asam Organik Berberat Molekul Tinggi: Mereka membantu mengurangi gesekan dan aus pada permukaan logam.
5. Basah Mannich yang berasal dari Fenol Alkilat Berberat Molekul Tinggi: Fungsinya adalah sebagai antioksidan dan peredam aus.
6. Kopolimer dari Derivatif Asam Metakrilat atau Akrilat yang Mengandung Gugus Polar seperti Amina, Amida, Imina, Imida, Hidroksil, Eter, dll.: Ini juga termasuk sebagai modifikasi viskositas.
7. Kopolimer Etilena-Propilena yang Mengandung Gugus Polar seperti yang Disebutkan di Atas: Fungsinya mirip dengan kopolimer di atas.
8. Inhibitor Korosi dan Oksidasi Bantalan: Contohnya adalah fosfit organik dan ditiokarbamat logam.
9. Antioksidan: Termasuk senyawa fenolik dan senyawa nitrogen aromatik.
10. Modifikasi Viskositas: Berupa polimetakrilat, kopolimer etilena-propilena (OCP), kopolimer stiren-diene, dan kopolimer stiren-ester.
11. Aditif Anti-Keausan: Sama seperti inhibitor korosi dan oksidasi, beberapa contohnya adalah fosfit organik, olefin yang telah disulfurisasi, dan ditiophosphat seng.
12. Penurun Titik Tuang: Bahan seperti alkilat naphthalene lilin, polimetakrilat, fenol alkilat lilin tercrosslinked, dan kopolimer asetat vinil/ester asam fumarat. Beberapa juga berfungsi sebagai modifikasi viskositas.

## **Deterjen**

Aditif deterjen memiliki struktur molekuler yang memiliki "ekor" hidrokarbon besar dan gugus kepala polar. Bagian ekor, yang bersifat oleofilik, berfungsi sebagai pelarut dalam cairan dasar, sementara gugus polar tertarik pada kontaminan dalam pelumas. Meskipun sering disebut sebagai deterjen, fungsi sebenarnya adalah untuk mendispersikan partikel-partikel kontaminan daripada membersihkan kotoran yang sudah ada. Oleh karena itu, lebih tepat untuk mengategorikan mereka sebagai dispersan.

## Sulfonat

Sulfonat adalah hasil dari netralisasi asam sulfonat dengan dasar logam. Struktur molekuler dari bagian organik sulfonat minyak bumi belum sepenuhnya diketahui karena bergantung pada sumber minyak mentah. Sulfonat sintetis adalah hasil dari reaksi sulfonasi aromatik alifatik dengan trifluorida belerang. Beberapa sulfonat sintetis adalah turunan dari benzena dengan substituen alkil panjang. Dalam dunia pelumasan, aditif-aditif ini dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja dan umur pakai pelumas dengan mengatasi tantangan yang ada.



## Kation Logam dalam Deterjen Sulfonat

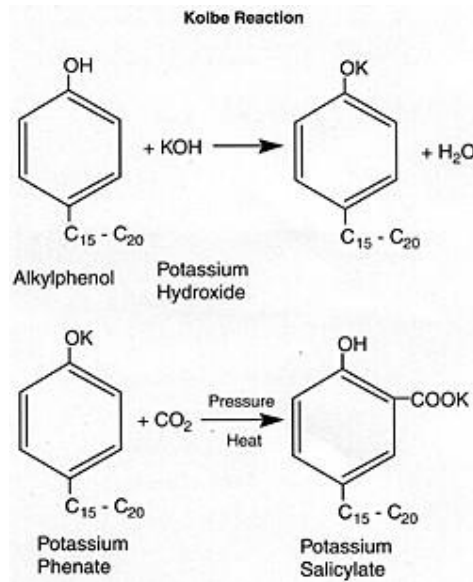
Deterjen sulfonat mengandung kation logam seperti kalsium, magnesium, dan natrium. Sulfonat alkali tanah dapat disiapkan dengan mereaksikan langsung asam sulfonat dengan oksida atau hidroksida logam, atau dengan mereaksikan sulfonat natrium dengan klorida logam.

## Sulfonat Dasar

Sulfonat yang larut dalam minyak dan mengandung logam dalam jumlah lebih dari jumlah stoikiometri disebut sebagai sulfonat dasar. Keuntungan dari sulfonat dasar adalah kemampuannya yang lebih besar untuk menetralkan zat asam selain sebagai agen dispersi untuk kontaminan.

## Salisilat

Salisilat umumnya disiapkan dari alkil fenol melalui reaksi kimia yang dikenal sebagai reaksi Kolbe.



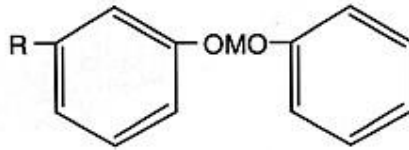
### **Salisilat Kalium dan Fenat dalam Pelumas**

#### **Salisilat Kalium dan Pembentukan Deterjen yang Sangat Basa**

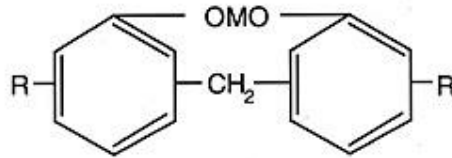
Salisilat kalium dapat diubah menjadi garam kalsium atau garam magnesium melalui metatesis dengan klorida kalsium atau klorida magnesium. Garam-garam yang dihasilkan kemudian dijadikan deterjen sangat basa yang telah terbukti efektif dalam formulasi minyak mesin diesel.

**Fenat dan Garam Sulfida Fenol** Kelas luas fenat logam mencakup garam alkilfenol, garam alkilfenol sulfida, dan produk alkilfenol aldehida. Kelarutan dalam minyak diberikan melalui alkilasi fenol dengan olefin yang umumnya mengandung tujuh atau lebih atom karbon.

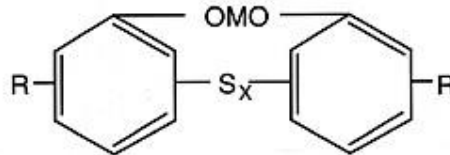
### Normal Phenate



### Methylene Coupled Phenate



### Sulfur Coupled Phenate



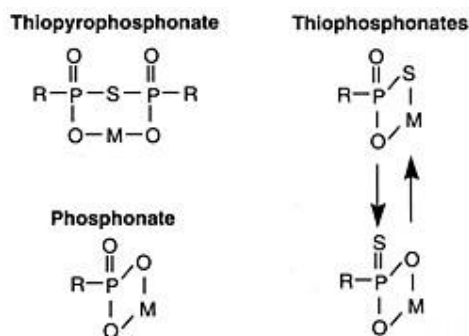
### Fenat dengan Kandungan Sulfur dalam Pelumas

Sulfur dimasukkan ke dalam fenat dengan mereaksikan alkilfenol dengan sulfur klorida atau sulfur unsur. Penambahan sulfur dan kehadiran jembatan metilena menurunkan sifat korosif produk terhadap bahan bantalan dan meningkatkan karakteristik antioksidannya.

### Fenat Kalsium sebagai Tipe yang Paling Umum Digunakan

Saat ini, fenat kalsium adalah jenis yang paling banyak digunakan. Mereka diproduksi dengan mereaksikan fenol yang telah mengalami substitusi dengan oksida atau hidroksida logam. Fenat basa dapat dihasilkan dengan menggunakan kelebihan basis logam daripada jumlah yang diperlukan untuk membentuk fenat netral. Fenat basa memiliki potensi netralisasi asam yang lebih besar per unit berat. Produk semacam itu memiliki dua hingga tiga kali jumlah logam yang diperlukan untuk fenat netral.

Dalam struktur-struktur untuk berbagai fenat yang ditunjukkan, M = logam divalen dan R = gugus alkil.



### Thiophosphonat

Produk komersial dari jenis ini umumnya berasal dari komponen asam yang dihasilkan dari reaksi antara polibutena (dengan rentang berat molekul 500 hingga 1000) dan fosforus pentasulfida. Studi tentang struktur senyawa-senyawa ini menunjukkan bahwa garam organik yang ada pada umumnya adalah tiopirosfosfonat, disertai dalam beberapa kasus dengan 10 hingga 25 persen mol tioposfonat dan posfonat. Fosfonat dan tioposfonat yang larut dalam minyak dan mengandung logam dalam jumlah yang berlebihan juga dapat disiapkan. Namun, bahan-bahan ini hampir tidak digunakan lagi.

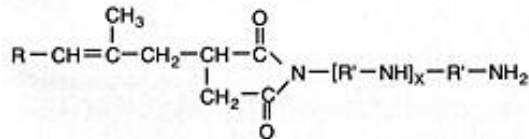
**Penghambur (Dispersant)** Salah satu perkembangan utama dalam bidang aditif adalah penemuan dan penggunaan penghambur tanpa abu. Bahan-bahan ini dapat dikategorikan menjadi dua tipe besar: penghambur polimerik berberat molekul tinggi yang digunakan untuk merumuskan minyak multigrade dan aditif berberat molekul lebih rendah untuk digunakan di mana modifikasi viskositas tidak diperlukan. Aditif-aditif ini jauh lebih efektif daripada tipe logam dalam mengendalikan endapan lumpur dan noda yang dihasilkan dari operasi mesin bensin yang terjadi secara intermitten dan pada suhu rendah.

Senyawa-senyawa yang berguna untuk tujuan ini ditandai dengan kelompok polar yang terikat pada rantai hidrokarbon berat molekul relatif tinggi. Kelompok polar ini umumnya mengandung satu atau lebih unsur nitrogen, oksigen, dan fosfor. Rantai-rantai yang dapat menghancurkan solubilitas umumnya lebih tinggi dalam berat molekul daripada detergent; namun, dalam beberapa kasus, mereka dapat mirip.

Tidak akan diupayakan untuk menggambarkan semua bahan yang masuk ke dalam kategori ini. Diskusi akan dibatasi pada beberapa produk komersial yang lebih banyak digunakan.

**N-Substitusi Alkenil Sukkinimid Berantai Panjang** Sebagian besar produk yang saat ini digunakan adalah tipe ini atau bahan terkait yang sesuai dengan rumus umum berikut:

Succinimide Type

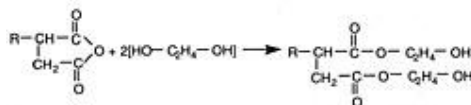


### Asam Alkenilsuksinat Berantai Panjang

Intermediate asam alkenilsuksinat diperoleh dengan mengkondensasi polimer olefin, umumnya poliisobutilena dengan berat molekul dalam rentang 800 hingga 1200, dengan anhidrida maleat. Bagian dasar dari aditif ini biasanya berasal dari N-amino alkilpoliamina, terutama poliamina polialkilena seperti trietilentetramina, tetraetilen pentamina, dll.

**Ester Berat Molekul Tinggi** Bahan-bahan yang menarik secara komersial di bidang ini termasuk produk yang terbentuk dari esterifikasi asam suksinat yang tergantikan oleh olefin dengan alkohol alifatik mono atau polihidrik. Pengganti olefin dalam asam memiliki setidaknya 50 atom karbon alifatik dan berat molekul sekitar 700 hingga 5000. Contoh dari bahan seperti ini adalah produk reaksi etilena glikol dengan anhidrida suksinat yang digantikan:

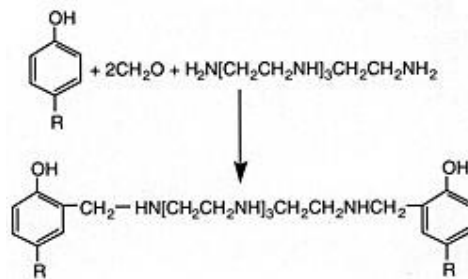
Succinate Type



### Basis Mannich dari Fenol Alkilasi Berat Molekul Tinggi

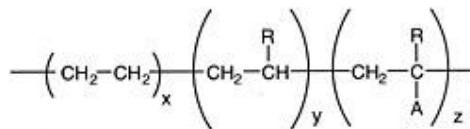
Produk-produk semacam ini terbentuk melalui kondensasi fenol tergantikan alkil berat molekul tinggi, alkilenpoliamina, dan aldehida seperti formaldehida. Deskripsi produk reaksi dari polipropilena fenol, tetraetilenpentamina, dan formaldehida adalah:

### Mannich Base



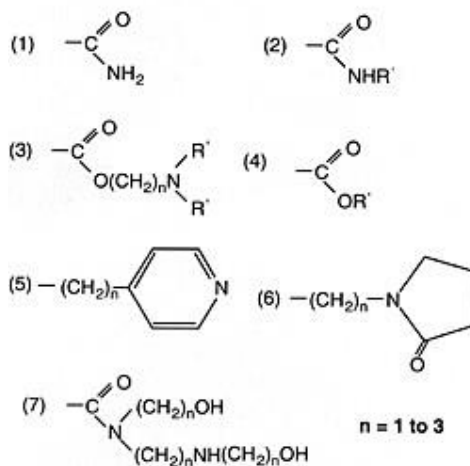
Dispersan tanpa abu ini dapat berfungsi ganda sebagai dispersan dan pengubah viskositas. Mereka memiliki dua fitur struktural yang berbeda: yang mirip dengan bahan yang digunakan sebagai pengubah viskositas dan yang bersifat polar (yang memberikan dispersi). Pengubah viskositas akan dibahas dalam bagian terpisah. Formula umum untuk polimer dispersan mungkin adalah:

### Polymeric Dispersant



di mana bagian hidrokarbon adalah kelompok oleofilik, A = kelompok polar, dan R = hidrogen C1-6 alkil, C4-6 alkenil, atau alkil. Beberapa kemungkinan kelompok polar adalah:

### Polar Groups

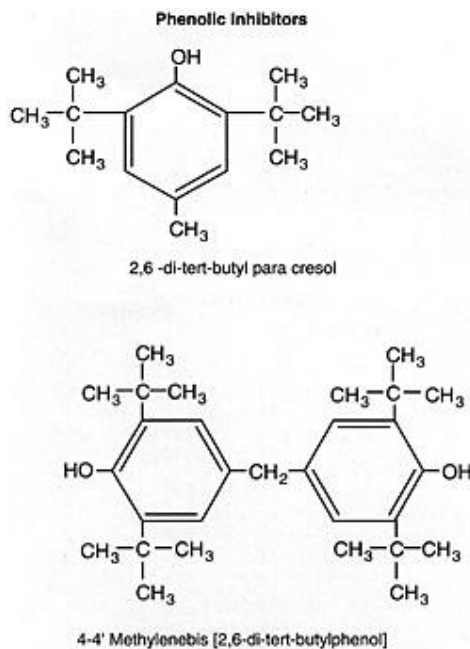


**Inhibitor Oksidasi dan Korosi Bantalan** Fungsi inhibitor oksidasi adalah mencegah kerusakan pelumas yang terkait dengan serangan oksigen. Inhibitor-inhibitor ini entah menghancurkan radikal bebas (pemutusan rantai)



atau berinteraksi dengan peroksida yang terlibat dalam mekanisme oksidasi. Di antara jenis antioksidan yang banyak digunakan adalah jenis fenolik dan seng ditioposfat. Jenis pertama dianggap sebagai penghancur rantai, sedangkan yang terakhir diyakini sebagai pemusnah peroksida. Korosi logam bantalan umumnya dianggap disebabkan oleh reaksi asam dengan oksida logam bantalan. Dalam operasi mesin, asam-asam ini entah berasal dari produk pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna yang masuk ke dalam pelumas sebagai gas blowby atau dihasilkan dari oksidasi pelumas. Inhibitor oksidasi dapat mengurangi kecenderungan ini secara signifikan.

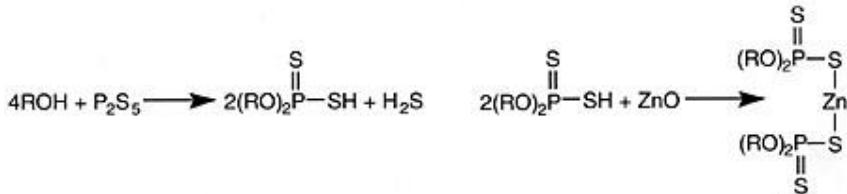
Deterjen dapat mengurangi korosi bantalan dengan menetralkan asam-asam yang bersifat korosif. Inhibitor lain seperti seng ditioposfat dan olefin yang difosforisasi tidak hanya menghambat oksidasi tetapi juga membentuk lapisan pelindung pada permukaan bantalan, menjadikannya tahan terhadap serangan asam.



**Inhibitor Fenolik (Pemutusan Rantai)** Efisiensi inhibitor fenolik secara signifikan ditingkatkan dengan menggantikan gugus alkil dalam dua posisi orto dan para. Ini terutama ditingkatkan ketika substituen orto adalah gugus-gugus besar seperti tert-butyl dan substituen para adalah gugus alkil. Berbagai jenis fenolik yang sulit direaksikan secara komersial diproduksi dan digunakan sebagai inhibitor dalam minyak transformator, turbin, dan mesin. Struktur metilenbis lebih efektif dalam aplikasi suhu tinggi karena

karakteristik volatilitas yang lebih rendah dibandingkan molekul lainnya. **Zinc Ditioposfat (Pemusnah Peroxida)** Yang paling penting secara komersial dalam pelumas mesin adalah zinc ditioposfat, yang tidak hanya berfungsi sebagai antioksidan tetapi juga memberikan perlindungan antiaus dan korosi bantalan. Zinc ditioposfat dibuat sebagai berikut:

Zinc Dithiophosphates



di mana R = alkil atau aril. Kedua derivatif alkil dan aril digunakan secara komersial. Derivatif alkil umumnya lebih efektif sebagai aditif antiaus. Derivatif aril memiliki tingkat stabilitas termal yang lebih tinggi. Baik karakteristik antiaus maupun stabilitas termal dari senyawa alkil dapat bervariasi dengan menggunakan alkohol yang berbeda; yaitu alkohol primer vs. sekunder dan berat molekul tinggi vs. rendah. Alkil utama adalah propil, butil, heksil, oktil, dan campuran dari ini. Efek radikal alkil pada suhu dekomposisi termal dari zinc dialkyldithiophosphates (ZDP) ditunjukkan di bawah ini:

#### Effect of Alkyl Radical on Thermal Decomposition of ZDP

Alkyl Radical	Decomposition Temperature (°C)
Isopropyl	196
4-Methyl 2-pentyl	197
N-Amyl	212
N-Octyl	>251

Stabilitas meningkat seiring dengan panjang rantai alkil dan lebih rendah untuk kelompok alkil sekunder dengan jumlah atom karbon yang sama. Namun perlu dicatat bahwa karakteristik kinerja keseluruhan dari ZDP tidak terkait dengan suhu dekomposisi.

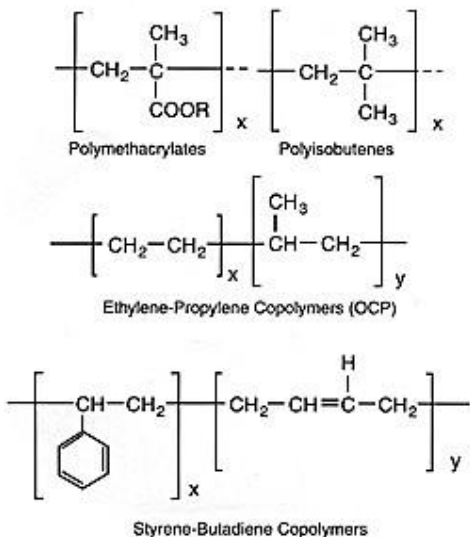
Aditif Antiaus Aus adalah hilangnya logam dengan perubahan selanjutnya dalam celah antara permukaan yang saling bergerak. Jika terus berlanjut, hal ini akan menyebabkan gangguan peralatan. Di antara faktor utama yang menyebabkan aus adalah kontak logam ke logam, keberadaan

zat partikel abrasif, dan serangan asam korosif. Kontak logam ke logam dapat dicegah dengan menambahkan senyawa pembentuk lapisan yang melindungi permukaan baik dengan penyerapan fisik atau reaksi kimia. Zinc dithiophosphate banyak digunakan untuk tujuan ini dan sangat efektif dalam mengurangi aus pada mekanisme valvetrain. Senyawa ini dijelaskan dalam penghambat oksidasi dan korosi bantalan. Aditif lain yang efektif mengandung fosfor, belerang, atau kombinasi dari unsur-unsur ini. Aus abrasif dapat dicegah dengan penghilangan zat partikel yang efektif dengan penyaringan udara yang masuk ke mesin dan pelumas selama operasi mesin.

Aus korosif sebagian besar merupakan hasil dari produk blowby asam yang terbentuk selama pembakaran bahan bakar. Jenis aus ini dapat dikontrol dengan menggunakan aditif alkalin seperti fenat dan sulfonat dasar.

Peningkat viskositas, atau peningkat indeks viskositas seperti yang dikenal sebelumnya, terdiri dari kelas bahan yang meningkatkan karakteristik viskositas/suhu dari pelumas. Modifikasi sifat reologis ini menghasilkan peningkatan viskositas pada semua suhu. Peningkatan viskositas lebih menonjol pada suhu tinggi yang secara signifikan meningkatkan indeks viskositas pelumas. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan kemiringan garis viskositas/suhu yang digambar pada kertas logaritma ASTM.

Viscosity Modifiers

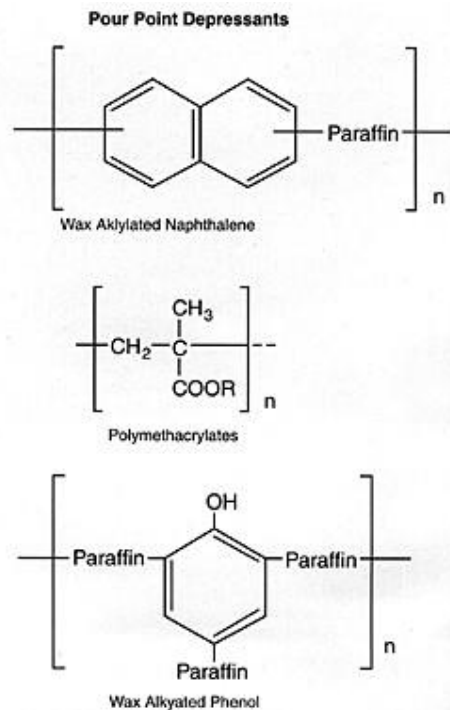


Berat molekul berkisar antara sekitar 10.000 hingga 1 juta. Molekul polimer dalam larutan membengkak oleh pelumas, dan volume entitas yang membengkak menentukan sejauh mana polimer meningkatkan viskositas. Semakin tinggi suhu, semakin besar volume dan semakin besar efek

"penebalan" polimer. Oleh karena itu, minyak cenderung "menggencang" lebih sedikit karena peningkatan suhu.

Selain peningkatan viskositas, kinerja polimer ini juga tergantung pada stabilitas geser atau ketahanan terhadap geseran mekanis serta stabilitas kimia dan termalnya. Dalam sistem polimer tertentu, stabilitas geser berkurang dengan peningkatan berat molekul. Kerugian akibat geseran tercermin dalam penurunan viskositas pelumas. Di sisi lain, "kemampuan penebalan" dari modifikasi viskositas meningkat dengan peningkatan berat molekul untuk jenis polimer tertentu. Sebuah keseimbangan kinerja harus ditetapkan yang mempertimbangkan stabilitas geser dan kebutuhan viskositas serta stabilitas termal dan oksidatif dalam operasi mesin sebenarnya.

Penekan Titik Tuang Penekan titik tuang mencegah pembekuan minyak pada suhu rendah. Fenomena ini terkait dengan pengkristalan lilin parafin yang ada dalam fraksi minyak mineral. Untuk memberikan titik tuang rendah, pengilang menghilangkan konstituen lilin, yang mengeras pada suhu yang relatif tinggi, dalam proses yang dikenal sebagai pemberian lilin. Pemberian lilin yang lengkap akan mengurangi hasil minyak pelumas menjadi tingkat yang tidak ekonomis. Oleh karena itu, proses pemberian lilin dilengkapi dengan penggunaan aditif yang menurunkan titik tuang minyak.



Penekan titik tuang sebenarnya tidak mencegah lilin mengkristal dalam minyak. Sebaliknya, mereka diserap pada kristal lilin dan, dengan demikian, mengurangi jumlah minyak yang terperangkap pada kristal. Mengurangi volume kristal memungkinkan aliran pelumas.

Aditif Lainnya Kategori ini mencakup senyawa antikorosi dan penghambat busa. Bahan kimia yang digunakan sebagai penghambat korosi termasuk sulfonat, asam alkenil suksinat, imidazolin yang tergantikan, amina, dan amine fosfat. Banyak informasi tentang aditif-aditif ini terdapat dalam literatur paten. Agen anti busa meliputi silikon dan beragam kopolimer organik lainnya.

# **BAB 4**

## **FORMULASI MINYAK PELUMAS**

Fungsi dasar dari sebuah pelumas adalah mengurangi gesekan dan aus, menghilangkan panas, dan menyuspensi kontaminan. Selain digunakan dalam mesin pembakaran dalam, kendaraan, dan kotak gigi industri, kompresor, turbin, atau sistem hidrolik, terdapat banyak aplikasi lain yang memerlukan pelumas yang dirancang khusus. Merancang pelumas untuk menjalankan fungsi di atas dalam sistem yang berbeda merupakan tugas yang kompleks, melibatkan keseimbangan yang hati-hati antara sifat-sifat dalam lapisan dasar pelumas dan aditif yang meningkatkan kinerjanya. Antara 5000 hingga 10000 formulasi pelumas yang berbeda diperlukan untuk memenuhi lebih dari 90% dari semua aplikasi pelumas.

Pelumas saat ini diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama: pelumas otomotif dan pelumas industri. Pelumas otomotif harus berkinerja baik dalam berbagai jenis kendaraan bensin dan diesel di bawah berbagai kondisi operasi. Kendaraan modern memiliki efisiensi bahan bakar yang tinggi, nyaman, dengan tingkat kinerja yang tinggi. Mereka harus memenuhi norma emisi yang ketat. Persyaratan kualitas untuk pelumas seperti ini ditetapkan oleh Society of Automotive Engineers (SAE) dan dijelaskan dalam sistem klasifikasinya. Pelumas industri dapat dibagi menjadi minyak industri dan spesialis industri. Spesialis dalam hal ini adalah pelumas gemuk, pelumas logam kerja, dan film pelumas padat. Persyaratan kualitas untuk jenis pelumas ini ditentukan oleh Produsen Peralatan Asli (OEM) dan pengguna akhir produk. Di pasar global, pelumas otomotif menyumbang lebih dari 60% dari volume yang dijual.

Sebagian besar pelumas terdiri dari lapisan dasar dan berbagai aditif yang dipilih untuk meningkatkan atau melengkapi kinerja lapisan dasar. Lapisan dasar adalah komponen utama, biasanya 70 hingga 99% dari minyak atau gemuk jadi, dan sifat-sifatnya memainkan peran penting. Secara besar-besaran struktur dan stabilitas lapisan dasar menentukan karakteristik aliran minyak dan rentang suhu di mana minyak dapat beroperasi, serta banyak sifat penting lainnya seperti volatilitas, pelumas, dan kebersihan. Aditif meningkatkan sifat-sifat ini atau memberikan yang baru, seperti

meningkatkan stabilitas pada suhu tinggi dan rendah, memodifikasi sifat aliran, dan mengurangi aus, gesekan, karat, dan korosi. Lapisan dasar dan aditif bekerja bersama dan harus dipilih dan seimbang dengan cermat untuk memungkinkan minyak jadi melakukan pekerjaannya yang dimaksudkan, yang meliputi melindungi bagian-bagian bergerak dari aus, menghilangkan panas dan kotoran, mencegah karat dan korosi, dan meningkatkan efisiensi energi. Karena lapisan dasar adalah komponen dominan dengan peran paling penting, satu cara yang jelas untuk membuat minyak yang lebih baik adalah dengan memulai dengan lapisan dasar yang lebih baik. Itulah yang dicoba dicapai oleh minyak sintetis.

Aditif Seperti yang disebutkan sebelumnya, hampir semua pelumas komersial mengandung aditif untuk meningkatkan kinerjanya. Jumlah aditif bervariasi dari > 1% hingga 25% atau lebih. Untuk saat ini, pasar terbesar untuk aditif berada di bidang transportasi, termasuk aditif untuk mesin dan transmisi di mobil, truk, bus, lokomotif, dan kapal. Fungsi aditif dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Melindungi permukaan logam (cincin, bantalan, gigi, dll.)
2. Memperluas rentang kinerja pelumas
3. Memperpanjang umur pelumas

Kelas aditif yang sama umumnya digunakan dalam pelumas industri juga dengan bahan lain yang dirancang untuk memberikan sifat-sifat spesifik.

Hari ini, aditif terdiri dari berbagai kelas. Untuk pelumas otomotif, ini antara lain: a) Aditif pelindung permukaan: agen anti aus dan EP, deterjen, dispersan, dan pengubah gesekan. b) Aditif kinerja: penekan titik tuang, pengubah viskositas, dan agen pembengkakan segel. c) Aditif pelindung: agen anti busa, antioksidan, dan penghambat logam.

Interaksi antar aditif telah banyak diteliti dan kinerjanya dikaitkan dengan kimia spesifik atau fungsionalitas dari pasangan aditif interaktif ini. Banyak faktor yang mengatur aplikasi mereka adalah aditif harus mampu diolah dalam peralatan pencampuran konvensional, stabil dalam penyimpanan, bebas bau yang tidak sedap, dan tidak beracun menurut standar industri normal.

Formulasi, Spesifikasi, dan Pengujian Pelumas yang dibeli di pasaran dan digunakan dalam kendaraan, mesin, dan alat adalah produk yang dirumuskan yang terdiri dari lapisan dasar, aditif peningkat kinerja, dan bahan khusus lainnya. Semua komponen di atas, saat digabungkan dalam konsentrasi yang sesuai, memastikan bahwa pelumas yang dirumuskan / jadi

melaksanakan fungsi yang diperlukan dan memenuhi kebutuhan peralatan di mana itu digunakan.

Persyaratan fisikokimia dan kinerja mendefinisikan identitas pelumas dan kemampuannya untuk mengurangi gesekan, melawan oksidasi, meminimalkan pembentukan endapan, mencegah korosi dan aus. Persyaratan ini dapat ditetapkan pada tingkat nasional, regional, atau global oleh produsen mesin, organisasi publik, atau otoritas militer. Sistem yang paling banyak dikenal untuk pelumas otomotif (sebagai kategori utama) adalah klasifikasi API dan sistem Eropa ACEA (Association Des Constructeurs European d'Automobiles). Sistem API, yang umum digunakan di seluruh dunia, bergantung pada kerjasama antara tiga badan yaitu SAE, API, dan American Society for Testing and Materials (ASTM), masing-masing dengan peran dan tanggung jawab yang terdefinisi dengan baik.

Sistem klasifikasi kinerja API, yang diperkenalkan pada tahun 1970, memberi prefiks 'S' (untuk stasiun layanan) diikuti oleh serangkaian huruf dari 'A' ke depan yang menunjukkan tingkat kualitas atau peningkatan yang meningkat yang saat ini berada di 'SJ', diperkenalkan pada tahun 1996. Mirip dengan sistem di atas, minyak mesin diesel juga dikodekan menggunakan prefiks 'C' (untuk komersial) yang sekarang berada di CH-4 atau lebih tinggi diperkenalkan pada tahun 1998 untuk mesin 4 langkah.

Seperti minyak mesin 4 langkah, ada sistem serupa untuk minyak mesin 2 langkah juga. Minyak 2 langkah dialokasikan ke kelompok kinerja tertentu, yang memberikan informasi tentang aplikasi yang sesuai. Saat ini, sistem klasifikasi grup kinerja API, Klasifikasi Organisasi Standar Otomotif Jepang (JASO), dan sistem klasifikasi Organisasi Standar Internasional (ISO) diikuti di sebagian besar dunia.

Kefektifan pelumas dinilai melalui pengujian skala laboratorium dan skala penuh di laboratorium dan lapangan. Pengujian laboratorium adalah pengujian percepatan di peralatan dunia nyata yang mensimulasikan kondisi layanan sebenarnya. Pengujian ini adalah mesin sebenarnya, transmisi, sumbu roda, pompa hidrolis, dan sebagainya dan dijalankan dalam kondisi standar sesuai dengan prosedur yang ditentukan. Pengujian ini kompleks dan mahal. Tujuannya di sini adalah untuk memastikan bahwa pelumas memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan oleh berbagai organisasi, yang muncul dalam kondisi pengiriman, standar internal, dan spesifikasi umum. Gemuk pelumas yang juga merupakan bagian dari industri pelumas secara keseluruhan adalah produk cair hingga setengah padat yang



diciptakan dengan mendispersikan agen pengental dalam pelumas cair, biasanya sabun logam bersama dengan senyawa aditif tertentu yang memberikan sifat khusus, diolah dalam pabrik gemuk untuk menghasilkan bahan seperti gel. Jauh lebih penting penerapan gemuk adalah untuk pelumasan bantalan elemen bergulir. Gemuk terus diklasifikasikan oleh prosedur yang didefinisikan oleh National Lubricating Grease Institute (NLG) Amerika Serikat sesuai dengan metode penetrasi kerucut.

**SAE Viscosity Grades for Engine Oils<sup>a</sup> — SAE J300 Apr 97**

SAE Viscosity Grade	Low Temperature Viscosities		High-Temperature Viscosities		
	Cranking <sup>b</sup> (cP) max at temp °C	Pumping <sup>c</sup> (cP) max with no yield stress at temp °C	Low Shear Rate Kinematic <sup>d</sup> (cSt) at 100°C		High Shear <sup>e</sup> Rate (cP) at 150°C min
			min	max	
0W	3250 at -30	60,000 at -40	3.8	—	—
5W	3500 at -25	60,000 at -35	3.8	—	—
10W	3500 at -20	60,000 at -30	4.1	—	—
15W	3500 at -15	60,000 at -25	5.6	—	—
20W	4500 at -10	60,000 at -20	5.6	—	—
25W	6000 at -5	60,000 at -15	9.3	—	—
20	—	—	5.6	<9.3	2.6
30	—	—	9.3	<12.5	2.9
40	—	—	12.5	<16.3	2.9 (0W-40, 5W-40, 10W-40 grades)
40	—	—	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W40, 40 grades)
50	—	—	16.3	<21.9	3.7
60	—	—	21.9	<26.1	3.7

a Semua nilai adalah spesifikasi kritis seperti yang didefinisikan oleh ASTM D 3244 (lihat teks, Bagian 3). b ASTM D 5293 c ASTM D 4684 (lihat juga Lampiran B dan teks Bagian 4.1): Kehadiran tegangan luluh apa pun yang

terdeteksi oleh metode ini dianggap sebagai kegagalan terlepas dari viskositas. d ASTM D 445 e ASTM D 4683, ASTM D 4741, CEC-L-36-A-90

### SAE Viscosity Grades for Engine Oils<sup>a</sup> — SAE J300 Dec 99

SAE Viscosity Grade	Low Temperature Viscosities		High-Temperature Viscosities		
	Cranking <sup>b</sup> (cP) max at temp °C	Pumping <sup>c</sup> (cP) max with no yield stress at temp °C	Low Shear Rate Kinematic <sup>d</sup> (cSt) at 100°C		High Shear <sup>e</sup> Rate (cP) at 150°C min
			min	max	
0W	6200 at -35	60,000 at -40	3.8	—	—
5W	6600 at -30	60,000 at -35	3.8	—	—
10W	7000 at -25	60,000 at -30	4.1	—	—
15W	7000 at -20	60,000 at -25	5.6	—	—
20W	9500 at -15	60,000 at -20	5.6	—	—
25W	13,000 at -10	60,000 at -15	9.3	—	—
20	—	—	5.6	<9.3	2.6
30	—	—	9.3	<12.5	2.9
40	—	—	12.5	<16.3	2.9 (0W-40, 5W-40, 10W-40 grades)
40	—	—	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grades)
50	—	—	16.3	<21.9	3.7
60	—	—	21.9	<26.1	3.7

a Semua nilai adalah spesifikasi kritis seperti yang didefinisikan oleh ASTM D 3244 (lihat teks, Bagian 3). b ASTM D 5293 c ASTM D 4684 (lihat juga Lampiran B dan teks Bagian 4.1): Keberadaan tegangan luluh apa pun yang dapat terdeteksi oleh metode ini dianggap sebagai kegagalan terlepas dari viskositas. d ASTM D 445 e ASTM D 4683, ASTM D 4741, CEC-L-36-A-90

Military Grades

<b>Specification: MIL-PRF- CID</b>	<b>2104G</b>	<b>2104G</b>	<b>2104G</b>	<b>A-A- 52039B</b>	<b>A-A- 52039B</b>	<b>2104G A-A- 52306A</b>	
<b>Viscosity Grade</b>	<b>10W</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>5W-30</b>	<b>10W- 30</b>	<b>15W-40</b>	
<b>Cranking Viscosity<sup>a</sup> (cP)</b> at temperature °C							
	min max	3500 at -25 3500 at -20	— —	— —	3500 at - 30 3500 at -25	3500 at -25 3500 at -20	3500 at - 20 3500 at - 15
<b>Pumping Viscosity<sup>b</sup> (cP)</b> at temp °C, max		30,000 at -25	—	—	30,000 at -30	30,000 at -25	30,000 at -20
<b>Viscosity<sup>c</sup> (cSt) at 100°C</b>							
	min max	5.6 <7.4	9.3 <12.5	12.5 <16.3	9.3 <12.5	9.3 <12.5	12.5 <16.3
<b>Viscosity Index, min</b>		—	80	80	—	—	—
<b>HTHS Viscosity (cP) min</b>		2.9	—	—	2.9	2.9	3.7
<b>Pour Point (°C) max</b>		-30	-18	-15	-35	-30	-23
<b>Stable Pour Point (°C)</b> max		-30	—	—	-35	-30	-23
<b>Flash Point (°C) min</b>		205	220	225	200	205	215
<b>Evaporative Loss<sup>d</sup> (%)</b> max		18	—	—	20	17	15

a ASTM D 2602 Termodifikasi b ASTM D 4684, tidak mengizinkan adanya tegangan luluh yang terdeteksi c ASTM D 445 d Tidak diperlukan untuk semua spesifikasi militer

Engine Oil Classification System For Automotive Gasoline Engine Service

### "S" — SERVICE OILS

<b>API Automotive Gasoline Engine Service Categories</b>	<b>Previous API Engine Service Categories</b>	<b>Related Industry Definitions</b>	<b>Engine Test Requirements</b>
<u>SA</u>	ML	Straight mineral oil	None
<u>SB</u>	MM	Inhibited oil only	CRC L-4* or L-38; Sequence IV*
<u>SC</u>	MS (1964)	1964 Models	CRC L-38; Sequence IIA*; Sequence IIIA*; Sequence IV*; Sequence V*; Caterpillar L-1* (1% sulfur fuel)
<u>SD</u>	MS (1968)	1968 Models	CRC L-38; Sequence IIB*; Sequence IIIB*; Sequence IV*; Sequence VB*; Falcon Rust*; Caterpillar L-1* or 1H*
<u>SE</u>	None	1972 Models	CRC L-38; Sequence IIB*; Sequence IIIC* or IIID*; Sequence VC* or VD*
<u>SF</u>	None	1980 Models	CRC L-38; Sequence IID; Sequence IIID*; Sequence VD*
<u>SG</u>	None	1989 Models	CRC L-38; Sequence IID; Sequence IIIE; Sequence VE; Caterpillar 1H2*
<u>SH</u>	None	1994 Models	CRC L-38; Sequence IID; Sequence IIIE; Sequence VE
<u>SJ</u>	None	1997 Models	CRC L-38; Sequence IID; Sequence IIIE; Sequence VE

4. Tes ini sudah usang; suku cadang mesin, bahan bakar uji, atau minyak referensi tidak lagi umum tersedia, atau tes ini tidak lagi dimonitor oleh pengembang tes atau ASTM. SA — Dulunya untuk Layanan Mesin Bensin dan Diesel Utilitas (Usang) — Kategori SA mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin tua yang dioperasikan di bawah kondisi yang begitu ringan sehingga perlindungan yang diberikan oleh minyak yang dicampur tidak diperlukan. Kategori ini tidak memiliki persyaratan kinerja, dan minyak dalam kategori ini tidak boleh digunakan dalam mesin apa pun kecuali secara khusus direkomendasikan oleh produsen peralatan.

SB — Layanan Mesin Bensin Minimum-Duty (Usang) — Kategori SB mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin tua yang dioperasikan di bawah kondisi yang begitu ringan sehingga hanya perlindungan minimum yang diberikan oleh campuran yang diinginkan. Minyak yang dirancang untuk layanan ini telah digunakan sejak tahun 1930-an dan memberikan kemampuan antiskuff yang ringan serta ketahanan terhadap oksidasi minyak dan korosi bantalan. Mereka tidak boleh digunakan dalam mesin apa pun kecuali secara khusus direkomendasikan oleh produsen peralatan.

SC — Layanan Mesin Bensin 1964 (Usang) — Kategori SC mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin bensin pada model mobil penumpang tahun 1964 hingga 1967 dan beberapa truk, yang beroperasi di bawah jaminan produsen mesin yang berlaku selama tahun-tahun model tersebut. Minyak yang dirancang untuk layanan ini memberikan kontrol terhadap endapan suhu tinggi dan rendah, aus, karat, dan korosi dalam mesin bensin.

SD — Layanan Mesin Bensin 1968 (Usang) — Kategori SD mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin bensin pada model mobil penumpang tahun 1968 hingga 1970 dan beberapa truk, yang beroperasi di bawah jaminan produsen mesin yang berlaku selama tahun-tahun model tersebut. Kategori ini juga dapat berlaku untuk beberapa model 1971 atau lebih baru seperti yang ditentukan (atau direkomendasikan) dalam buku manual pemilik. Minyak yang dirancang untuk layanan ini memberikan perlindungan lebih terhadap endapan suhu tinggi dan rendah, aus, karat, dan korosi dalam mesin bensin daripada minyak yang memenuhi persyaratan minimal Kategori Layanan Mesin API SC dan dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API SC direkomendasikan.

SE — Layanan Mesin Bensin 1972 (Usang) — Kategori SE mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin bensin pada mobil penumpang dan beberapa truk mulai tahun 1972 dan beberapa model 1971 hingga 1979 yang beroperasi di bawah jaminan produsen mesin. Minyak yang dirancang untuk layanan ini memberikan perlindungan lebih terhadap oksidasi minyak, endapan suhu tinggi dalam mesin, karat, dan korosi dalam mesin bensin daripada minyak yang memadai untuk Kategori Layanan Mesin API SD atau SC dan dapat digunakan ketika salah satu dari kategori ini direkomendasikan.

SF — Layanan Mesin Bensin 1980 (Usang) — Kategori SF mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin bensin pada mobil penumpang dan beberapa truk mulai tahun 1980 hingga 1989 yang beroperasi di bawah prosedur pemeliharaan yang direkomendasikan oleh produsen mesin. Minyak yang dikembangkan untuk layanan ini memberikan stabilitas oksidasi yang lebih tinggi dan kinerja antiwear yang lebih baik dibandingkan dengan minyak yang memenuhi persyaratan minimum Kategori Layanan Mesin API SE. Minyak ini juga memberikan perlindungan terhadap endapan mesin, karat, dan korosi. Minyak yang memenuhi Kategori Layanan Mesin API SF dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API SE, SD, atau SC direkomendasikan.

SG — Layanan Mesin Bensin 1989 (Usang) — Kategori SG mengindikasikan layanan yang khas untuk mesin bensin pada mobil penumpang, van, dan truk ringan yang beroperasi di bawah prosedur pemeliharaan yang direkomendasikan oleh produsen. Minyak kategori SG termasuk sifat kinerja Kategori Layanan Mesin API CC. (Beberapa produsen mesin bensin memerlukan minyak yang juga memenuhi Kategori Mesin Diesel CD yang lebih tinggi.) Minyak yang dikembangkan untuk layanan ini memberikan kontrol yang lebih baik terhadap endapan mesin, oksidasi minyak, dan aus mesin dibandingkan dengan minyak yang dikembangkan untuk kategori sebelumnya. Minyak ini juga memberikan perlindungan terhadap karat dan korosi. Minyak yang memenuhi Kategori Layanan Mesin API SG dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API SF, SE, SF/CC, atau SE/CC direkomendasikan.

SH — Layanan Mesin Bensin 1994 — Kategori SH diadopsi pada tahun 1992 untuk menggambarkan minyak mesin yang pertama kali diwajibkan pada tahun 1993. Ini digunakan dalam layanan yang khas untuk mesin bensin pada mobil penumpang saat ini dan sebelumnya, van, dan truk ringan yang

beroperasi di bawah prosedur pemeliharaan yang direkomendasikan oleh produsen kendaraan. Minyak mesin yang dikembangkan untuk kategori ini memberikan kinerja yang melebihi persyaratan minimum Kategori Layanan Mesin API SG, yang ditujukan untuk menggantikannya, dalam hal pengendalian endapan, oksidasi minyak, aus, karat, dan korosi. Minyak yang memenuhi persyaratan API SH telah diuji sesuai dengan Pedoman Persetujuan Produk Asosiasi Produsen Kimia (CMA) dan dapat menggunakan Pedoman Pertukaran Minyak Dasar API dan Pedoman Pengujian Mesin Kelas Viskositas. Mereka dapat digunakan di mana Kategori Layanan Mesin API SG dan kategori sebelumnya direkomendasikan. Mulai 1 Agustus 1997, API SH tidak dapat digunakan kecuali dengan API CF, CF2, CF-4, atau CG-4 ketika ditampilkan dalam simbol layanan API, dan kategori C harus muncul pertama.

SJ — Layanan Mesin Bensin 1997 — Kategori SJ diadopsi pada tahun 1996 untuk menggambarkan minyak mesin yang pertama kali diwajibkan pada tahun 1997. Ini digunakan dalam layanan yang khas untuk mesin bensin pada mobil penumpang saat ini dan sebelumnya, van, dan truk ringan yang beroperasi di bawah prosedur pemeliharaan yang direkomendasikan oleh produsen kendaraan. Minyak yang memenuhi persyaratan API SJ telah diuji sesuai dengan Pedoman Persetujuan Produk Asosiasi Produsen Kimia (CMA) dan dapat menggunakan Pedoman Pertukaran Minyak Dasar API dan Pedoman Pengujian Mesin Kelas Viskositas. Mereka dapat digunakan di mana Kategori Layanan Mesin API SH dan kategori sebelumnya direkomendasikan

Engine Oil Classification System for Commercial Diesel Engine Service

**"C" — COMMERCIAL OILS  
(FLEETS, CONTRACTORS, FARMERS, ETC.)**

<b>API Commercial Engine Service Categories</b>	<b>Previous API Engine Service Categories</b>	<b>Related Military or Industry Designations</b>	<b>Engine Test Requirements</b>
<u>CA</u>	DG	MIL-L-2104A	CRC L-38; Caterpillar L-1* (0.4% sulfur)
<u>CB</u>	DM	MIL-L-2104A, Supplement 1	CRC L-38; Caterpillar L-1* (0.4% sulfur)

<u>CC</u>	DM	MIL-L-2104B MIL-L-46152B	CRC L-38; Sequence IID; Caterpillar 1H2*
<u>CD</u>	DS	MIL-L-45199B, Series 3 MIL-L-2104C/D/E	CRC L-38; Caterpillar 1G2*
<u>CD-II</u>	None	MIL-L-2104D/E	CRC L-38; Caterpillar 1G2*; Detroit Diesel 6V53T
<u>CE</u>	None	None	CRC L-38; Caterpillar 1G2*; Cummins NTC400*; Mack T-6; Mack T-7
<u>CF-4</u>	None	None	CRC L-38; Cummins NTC-400*; Mack T-6; Mack T-7; Caterpillar 1K
<u>CF-2</u>	None	None	CRC L-38; Caterpillar 1M-PC; Detroit Diesel 6V92TA
<u>CF</u>	None	None	CRC L-38; Caterpillar 1M-PC
<u>CG-4</u>	None	None	CRC L-38; Sequence IIIIE; Roller Follower Wear; Mack T-8; Caterpillar 1N
<u>CH-4</u>	None	None	Sequence IIIIE; Roller Follower Wear; Mack T-8E; Mack T-9; Cummins M11; Caterpillar 1P; Caterpillar 1K

- Tes ini sudah usang; suku cadang mesin, bahan bakar uji, atau minyak referensi tidak lagi umum tersedia, atau tes ini tidak lagi dimonitor oleh pengembang tes atau ASTM. CA — Layanan Mesin Diesel (Usang) — Layanan yang khas untuk mesin diesel yang dioperasikan dalam tugas ringan hingga sedang dengan bahan bakar berkualitas tinggi; kadang-kadang mencakup mesin bensin dalam layanan ringan. Minyak yang dirancang untuk layanan ini memberikan perlindungan dari korosi bantalan dan endapan cincin-sabuk pada beberapa mesin diesel asli yang dioperasikan dengan bahan bakar berkualitas sehingga tidak memerlukan



persyaratan tidak biasa untuk perlindungan aus dan endapan. Minyak ini banyak digunakan pada tahun 1940-an dan 1950-an tetapi tidak boleh digunakan dalam mesin apa pun kecuali secara khusus direkomendasikan oleh produsen peralatan.

CB — Layanan Mesin Diesel (Usang) — Layanan yang khas untuk mesin diesel yang dioperasikan dalam tugas ringan hingga sedang, tetapi dengan bahan bakar berkualitas rendah, yang memerlukan perlindungan lebih dari aus dan endapan; kadang-kadang mencakup mesin bensin dalam layanan ringan. Minyak yang dirancang untuk layanan ini diperkenalkan pada tahun 1949. Minyak ini memberikan perlindungan yang diperlukan dari korosi bantalan dan endapan suhu tinggi dalam mesin diesel asli dengan bahan bakar sulfur yang lebih tinggi.

CC — Layanan Mesin Diesel (Usang) — Layanan yang khas untuk beberapa mesin diesel asli, yang dioperasikan dalam layanan sedang hingga berat, dan beberapa mesin bensin berat. Minyak yang dirancang untuk layanan ini memberikan perlindungan dari endapan suhu tinggi dan korosi bantalan dalam mesin diesel ini, dan juga dari karat, korosi, dan endapan suhu rendah dalam mesin bensin. Minyak ini diperkenalkan pada tahun 1961.

CD — Layanan Mesin Diesel (Usang) — Layanan yang khas untuk beberapa mesin diesel asli, yang dioperasikan dalam kondisi di mana pengendalian aus dan endapan yang sangat efektif sangat penting, atau ketika menggunakan bahan bakar dengan rentang kualitas yang luas (termasuk bahan bakar berke

ualitas tinggi). Minyak yang dirancang untuk layanan ini diperkenalkan pada tahun 1955 dan memberikan perlindungan dari endapan suhu tinggi dan korosi bantalan dalam mesin diesel ini.

CD-II — Layanan Mesin Diesel Siklus Dua Langkah Berat (Usang) — Layanan yang khas untuk mesin diesel siklus dua langkah yang memerlukan pengendalian aus dan endapan yang sangat efektif. Minyak yang dirancang untuk layanan ini juga memenuhi semua persyaratan kinerja API Kategori Layanan Mesin CD.

CE — Layanan Mesin Diesel 1983 (Usang) — Layanan yang khas untuk mesin diesel berat yang turbocharged atau supercharged, diproduksi sejak tahun 1983 dan dioperasikan dalam kondisi kecepatan rendah, beban tinggi, dan kecepatan tinggi, beban tinggi. Minyak yang ditunjuk untuk layanan ini juga dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API CD direkomendasikan untuk mesin diesel.

CF-4 — Layanan Mesin Diesel 1990 — Layanan yang khas untuk mesin diesel siklus empat berkecepatan tinggi. Minyak API CF-4 melebihi persyaratan kategori API CE, memberikan pengendalian konsumsi minyak dan endapan piston yang lebih baik. Minyak ini harus digunakan sebagai pengganti minyak API CE. Mereka sangat cocok untuk aplikasi truk berat di jalan raya. Ketika dikombinasikan dengan kategori "S" yang tepat, mereka juga dapat digunakan pada kendaraan pribadi yang ditenagai bensin dan diesel — misalnya, mobil penumpang, truk ringan, dan van — ketika direkomendasikan oleh produsen kendaraan atau mesin.

CF — Layanan Mesin Diesel Suntik Tidak Langsung — Layanan yang khas untuk mesin diesel suntik tidak langsung dan mesin diesel lainnya yang menggunakan berbagai jenis bahan bakar, termasuk bahan bakar dengan kandungan belerang tinggi; misalnya, lebih dari 0,5% berat. Pengendalian efektif terhadap endapan piston, aus, dan korosi bantalan yang mengandung tembaga penting untuk mesin-mesin ini, yang mungkin asli, turbocharged, atau supercharged. Minyak yang ditunjuk untuk layanan ini telah ada sejak tahun 1994 dan dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API CD direkomendasikan.

CF-2 — Layanan Mesin Diesel Siklus Dua Langkah Berat — Layanan yang khas untuk mesin diesel siklus dua langkah yang memerlukan pengendalian yang sangat efektif terhadap goresan dan endapan silinder dan permukaan cincin. Minyak yang dirancang untuk layanan ini telah ada sejak tahun 1994 dan juga dapat digunakan ketika Kategori Layanan Mesin API CD-II direkomendasikan. Minyak ini tidak selalu memenuhi persyaratan API CF atau CF-4 kecuali jika mereka melewati persyaratan tes untuk kategori-kategori ini.

CG-4 — Layanan Mesin Diesel Berat 1994 — Kategori Layanan Mesin API CG-4 menggambarkan minyak untuk digunakan dalam mesin diesel siklus empat berkecepatan tinggi, digunakan dalam aplikasi berat di jalan raya (bahan bakar belerang 0,05% berat) dan di luar jalan raya (bahan bakar kurang dari 0,5% berat). Minyak CG-4 memberikan pengendalian efektif atas endapan piston suhu tinggi, aus, korosi, busa, stabilitas oksidasi, dan penumpukan jelaga. Minyak ini terutama efektif dalam mesin yang dirancang untuk memenuhi standar emisi knalpot 1994 dan juga dapat digunakan dalam mesin yang memerlukan Kategori Layanan Mesin API CD, CE, dan CF-4. Minyak yang ditunjuk

## Klasifikasi menurut SAE

SAE (Society of Automotive Engineer) mengeluarkan klasifikasi pelumas mesin seperti tabel dibawah..

No	Tingkat viskositas SAE	Viskositas kinematik min. @ -18C (cSt)	Viskositas kinematik mak. @ -18C (cSt)	Viskositas kinematik min. @ 98,9C (cSt)	Viskositas kinematik mak. @ 98,9C (cSt)
1	5W	-	869	-	-
2	10W	1303	2606	-	-
3	20W	2603	10243	-	-
4	20	-	-	5.73	9.62
5	30	-	-	9.62	12.93
6	40	-	-	12.93	16.77
7	50	-	-	16.77	22.68

Minyak pelumas "multigrade" adalah minyak pelumas yang dirancang untuk memenuhi dua atau lebih tingkatan viskositas dari standar SAE (Society of Automotive Engineers), seperti 20W-40. Angka pertama (misalnya, "20W") menunjukkan viskositas minyak pada suhu rendah atau dingin, sedangkan angka kedua (misalnya, "40") menunjukkan viskositas pada suhu operasi normal mesin yang lebih panas. Minyak pelumas multigrade ini mengandung aditif khusus yang memungkinkan minyak menjaga kinerjanya baik pada suhu rendah dan suhu tinggi.

Misalnya, SAE 20W-40 berarti bahwa minyak memiliki viskositas setara SAE 20 pada suhu rendah (seperti saat mesin dingin dihidupkan) dan viskositas setara SAE 40 pada suhu operasi normal mesin yang lebih panas.

Minyak pelumas "singlegrade" seperti SAE 30 atau SAE 40 memiliki satu tingkatan viskositas yang tetap pada berbagai suhu. SAE 30 atau SAE 40 biasanya digunakan di daerah dengan iklim tropis atau kondisi operasi yang lebih panas, di mana viskositas yang lebih tinggi pada suhu operasi normal dapat memberikan perlindungan yang baik terhadap aus dan kebocoran minyak.

Pemilihan jenis minyak pelumas yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dan perlindungan bagi mesin kendaraan atau peralatan. Iklim dan kondisi operasi yang berbeda memerlukan jenis minyak yang sesuai untuk menjaga mesin berjalan dengan baik dan terlindungi.

# DAFTAR PUSTAKA

- Akrom, D. 2009. Lub oil, Minyak Pelumas. Power plant.
- Arisandi M., Darmanto & Tri Priangkoso. 2012. "Analisa Pengaruh Bahan Dasar Pelumas Terhadap Viskositas Pelumas dan Konsumsi Bahan Bakar" Universitas Wahid Hasyim, Semarang.
- Arnoldi, Dwi, 2009. "Pemilihan Minyak Pelumas/Oli Kendaraan Bermotor", Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Darmanto, 2011. "Mengenal Pelumas Pada Mesin, Jurnal Momentum, Vol.7, hal. 5 – 10" , Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang.
- Effendi, Syafwansyah M. & Rabaitul Adawiyah. 2014. " Penurunan Nilai Kekentalan Akibat Pengaruh Kenaikan Temperatur Pada Beberapa Merk Minyak Pelumas", Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin.
- Hardianto, Lian. 2016. "Analisa Karakteristik Viskositas dan Konduktivitas Termal Minyak Pelumas MPX 2 Baru dan MPX 2 Bekas Serta Pengaruhnya Terhadap Motor Honda Vario 125 cc". Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Lisunda, Anggar. 2016. "Analisa Karakteristik Viskositas dan Konduktivitas Termal Minyak Pelumas MPX 2 Baru dan MPX 2 Bekas Terhadap Kinerja Motor Honda Vario 110 cc". Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Nurhadiyanto, Didik & Heri Wibowo. 2011. "Pengaruh Temperatur Kerja Minyak Pelumas Jenis SAE 10W-40, SAE 20W dan SAE 40W Terhadap Viskositas".

- Raharjo Nugroho, Stefan & Hasto Sunarto. 2012. "Identifikasi Fisis Viskositas Oli Mesin Kendaraan Bermotor Terhadap Fungsi Suhu Dengan Menggunakan Laser Helium Neon", ITS, Surabaya. Silaban, Mawardi. 2015. "Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Perbandingan Pelumas Mineral dan Sintetis, Tangerang Selatan. Siskayanti, Rini. 2015. "Perbandingan Kinerja Pelumas Motor Skutik Mineral dan Sintetis Pada Uji Jalan Sampai 6000 KM" UMJ, Jakarta.
- Sukirno. 1988. "Pelumasan dan Teknologi Pelumas", Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Suyanto, Wardan. 1989. "Teori Motor Bensin. BSE SMK, Departemen Pendidikan Nasional". Wibowo, Aris Setiawan Budi. 2016. "Kajian Tentang Pengaruh Penggunaan Beberapa Jenis Minyak Pelumas Terhadap Kinerja Motor Empat Langkah 150" Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.Yogyakarta

# TENTANG PENULIS



Riyan Ariyansah Lahir di Karawang, 24 Juni 1991 Pernah menempuh pendidikan Sarjana S-1 di Universitas Singaperbangsa Karawang Program studi Teknik Mesin, S-2 pada program pascasarjana Universitas Pancasila jurusan Teknik Mesin, S-3 Universitas Sebelasmaret Program studi Teknik Matakuliah yang diampu : Statika Struktur, Mekanika Kekuatan Material, Getaran Mekanik Dan Lain Lain penulis dapat dihubungi melalui Email: [riyan\\_ariyansah@uhamka.ac.id](mailto:riyan_ariyansah@uhamka.ac.id)



Dan Mugisidi Lahir 01 Desember 1969 Pernah menempuh pendidikan Sarjana S-1 di Universitas Indonesia Program studi Teknik Mesin, S-2 pada program pascasarjana Universitas Indonesia Program Studi Ilmu Bahan, S-3 Universitas Indonesia Program studi Ilmu Bahan, S3 Universitas Diponegoro Semarang program studi Teknik Mesin penulis dapat dihubungi melalui Email: [dan.mugisidi@uhamka.ac.id](mailto:dan.mugisidi@uhamka.ac.id)



Oktarina Heryani Lahir 05 Juni 1977 Pernah menempuh pendidikan Sarjana S-1 di Universitas Sumatra Utara Program studi Fisika, S-2 pada program pascasarjana Institut Teknologi Bandung jurusan Teknik dan Menejemen Industri, S3 Universitas Diponegoro Semarang program studi Teknik Mesin penulis dapat dihubungi melalui Email: [oktarina@uhamka.ac.id](mailto:oktarina@uhamka.ac.id)



