



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN FENOMENA “CRACKLE” PADA MINYAK
PELUMAS DENGAN VARIASI KONTAMINAN AIR SAMPAI
TEMPERATUR MAKSIMUM 400°C**

SKRIPSI

TEGAR PRAKOSO

0606073644

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN FENOMENA “CRACKLE” PADA MINYAK
PELUMAS DENGAN VARIASI KONTAMINAN AIR SAMPAI
TEMPERATUR MAKSIMUM 400°C**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

TEGAR PRAKOSO

0606073644

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Tegar Prakoso

NPM : 06060773644

Tanda Tangan :



Tanggal : Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Tegar Prakoso
NPM : 0606073644
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : PENGUJIAN FENOMENA “CRACKLE” PADA
MINYAK PELUMAS DENGAN VARIASI
KONTAMINAN AIR SAMPAI TEMPERATUR
MAKSIMUM 400°C

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. DR. Ir. I Made K Dhiputra, Dipl.-Ing ()

Penguji : Ir. Agung Subagyo, Dipl.-Ing ()

Penguji : Dr. Ir. Adi Suryosatyo, M.Eng ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2010

KATA PENGANTAR

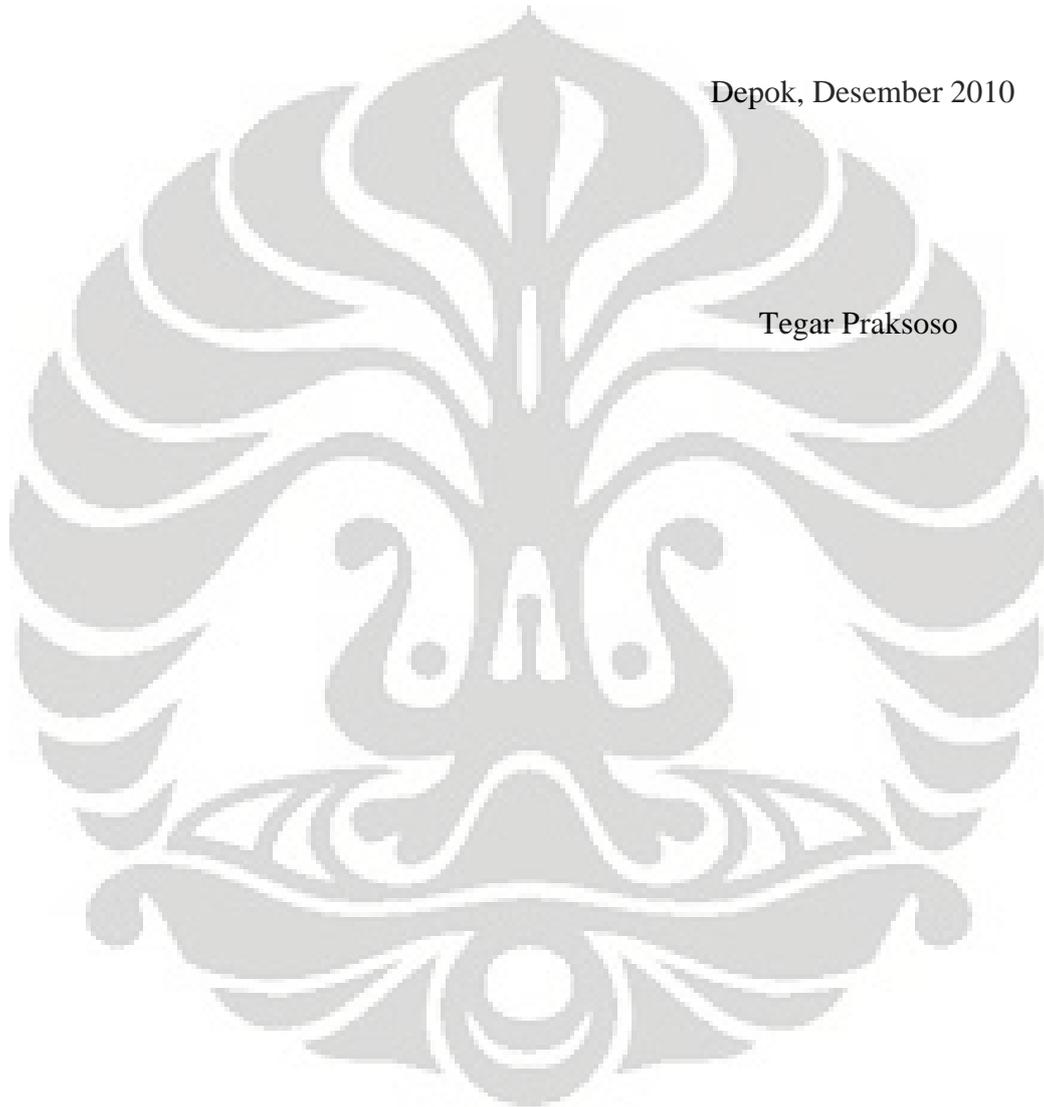
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat, karunia dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta motivasi dari berbagai pihak maka sangatlah sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. I Made K Dhiputra, Dipl.-Ing, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia untuk meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan segala perhatiannya kepada saya, sehingga saya selalu termotivasi dan mendapatkan semangat baru untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Saya pribadi ingin meminta maaf jika selama ini saya ada kesalahan selama masa bimbingan,
2. Bapak, ibu, kakak dan adik yang telah memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini,
3. Ricky Rafiandi dan Ferdy “Pday” Bastian, rekan seperjuangan untuk menuntaskan skripsi ini.
4. Seluruh sahabat saya selama kuliah di Teknik Mesin Universitas Indonesia, di antaranya Panji Arum B., Syaiful Arief, Singgih Prabowo, Indra Pranata A., M. Muammar Faruq, dll. *“Maaf jika saya belum menulis nama sahabat yang lain. Hal tersebut karena terbatasnya ruang untuk menuliskan nama kalian. Akan tetapi, nama kalian telah terukir di hati...”*
5. Seluruh teman saya di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia angkatan 2006, baik yang telah terlebih dahulu lulus, yang lulus bersama saya, maupun yang belum lulus. *“Semoga kita bisa sukses dalam hidup ini dan semoga di suatu hari nanti kita bisa berkumpul lagi...”*
6. Keluarga besar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia termasuk di dalamnya mahasiswa, dosen, dan karyawan yang ada, dan
7. Seluruh pihak yang tidak dapat saya ucapkan satu persatu. Terima kasih banyak atas segala hal yang begitu berarti dalam perjalanan hidup saya.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bisa membawa manfaat bagi kita semua secara khusus dan pengembangan ilmu pengetahuan pada umumnya.

Depok, Desember 2010

Tegar Prakoso



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tegar Prakoso
NPM : 0606073644
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

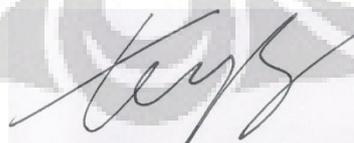
Pengujian Fenomena “Crackle” pada Minyak Pelumas dengan Variasi Kontaminan Air sampai Temperatur Maksimum 400°C

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Desember 2010

Yang menyatakan



Tegar Prakoso

ABSTRAK

Nama : Tegar Prakoso
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengujian Fenomena “Crackle” pada Minyak Pelumas dengan Variasi Kontaminan Air sampai Temperatur Maksimum 400°C

Fenomena crackle merupakan fenomena yang masih jarang diteliti. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui fenomena crackle. Dasar teori yang menjadi acuan pengujian ini adalah Leidenfrost Effect. Leidenfrost Effect adalah suatu fenomena yang muncul ketika cairan dijatuhkan ke atas plat di mana temperatur dari plat tersebut berada di atas titik didih cairan.

Pengujian ini dilakukan dengan cara meneteskan satu tetesan tunggal ke suatu plat yang memiliki temperatur tinggi. Faktor yang mempengaruhi fenomena ini antara lain temperatur plat dan tegangan permukaan dari cairan tersebut. Bahan yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah minyak pelumas yang telah dikontaminasi air sedangkan temperatur maksimum yang digunakan pada pengujian sebesar maksimum 400°C. Pelumas yang dikontaminasi air ini dapat kita asumsikan pelumas bekas yang telah lama dipakai.

Fenomena “Crackle” muncul ketika minyak pelumas menyentuh permukaan dan ‘melompat’ dengan massa lebih ringan daripada saat tumbukan pertama. Hasil pengujian menunjukkan akibat adanya kontaminasi ini, jika pelumas diteteskan pada suatu permukaan yang panas dengan temperatur di atas titik didih cairannya, akan timbul fenomena crackle.

Key Words: crackle; Leidenfrost Effect; temperatur; tegangan permukaan; minyak pelumas; kontaminasi air

ABSTRACT

Name : Tegar Prakoso
Study Program : Mechanical Engineering
Title : “Crackle” Phenomenon Testing of Water Contaminate Oil Lubricants up to 400°C Maximum Temperature

Crackle phenomena testing is an infrequently research to do .The purpose of this testing is to understand the crackle phenomena. The basic theory that this testing use is the Leidenfrost Effect. Leidenfrost Effect is a phenomenon that occur when a liquid being dropped on a plate when the temperature of the plate is above the boiling temperature of the liquid.

The testing is done by dropped a single droplet on a very high temperature plate. Factors that influence this phenomenon are the temperature of the plate and the surface tense of the liquid. The substance that being used as a material testing is water contaminated oil lubricant meanwhile the maximum temperature for the plate is 400°C. We can this water contaminated oil lubricant as a used oil lubricant which has a long usage time.

The phenomenon of "*Crackle*" occurs when the fuel strike a surface and then 'bounce' with the weight of mass smaller than the initial collision. The result of this testing shown that because of this contaminating, the lubricants that we drop on a very hot plate above its boiling temperature, would be emerge the crackle phenomena.

Key Words: crackle; Leidenfrost Effect; temperature; surface tense; oil lubricant; water contaminated

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Judul Penelitian.....	1
1.2 Latar Belakang.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penelitian.....	3
2. DASAR TEORI.....	5
2.1 Fenomena Tetesan.....	5
2.2 Tegangan Permukaan.....	7
2.3 Gerak Jatuh Bebas.....	9
2.4 Momentum, Impuls dan Tumbukan.....	10
2.4.1 Momentum.....	10
2.4.2 Impuls.....	11
2.4.3 Kekekalan Momentum.....	12
2.4.4 Tumbukan.....	13

2.5 Perpindahan Kalor Didih.....	15
2.6 Penguapan Droplet.....	17
2.7 Fenomena <i>Leidenfrost Effect</i>	18
2.8 <i>Crackle</i>	20
2.9 Pelumas.....	21
2.10 Minyak Pelumas yang Dikontaminasi.....	24
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Peralatan.....	26
3.2 Perlengkapan.....	28
3.3 Setting Alat.....	28
3.4 Metode Penelitian Pengambilan Data Temperatur dan Tegangan.....	29
3.5 Metode Percobaan Single Droplet Minyak Pelumas yang Telah Dikontaminasi Air.....	29
4. HASIL DAN ANALISA.....	31
4.1 Data Hasil Percobaan.....	31
4.2 Hasil Pengujian Tetesan Minyak Pelumas yang Dikontaminasi Air.....	39
4.3 Analisa.....	46
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
REFERENSI.....	52
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi pengujian tetesan.....	6
Gambar 2.2 Contoh tegangan permukaan pada bejana yang diisi air.....	7
Gambar 2.3 Tegangan permukaan yang bekerja pada permukaan kecil.....	8
Gambar 2.4 Ilustrasi gerak jatuh bebas.....	9
Gambar 2.5 Ilustrasi tumbukan.....	12
Gambar 2.6 Kurva didih.....	16
Gambar 2.7 Grafik perbandingan temperatur plat dengan lifetime droplet.....	19
Gambar 2.8 Saat butiran menyentuh plat.....	20
Gambar 2.9 Butiran mengalami efek <i>Leidenfrost</i>	20
Gambar 2.10 Butiran mengalami fenomena <i>crackle</i>	20
Gambar 2.11 Grafik nilai TBN dan TAN vs waktu pakai minyak pelumas.....	22
Gambar 2.12 Sistem Pelumasan.....	22
Gambar 2.13. Kategori Pengujian Pelumasan.....	23
Gambar 3.1 Kompor Listrik.....	26
Gambar 3.2 Alat suntik.....	27
Gambar 3.3 Termometer laser.....	27
Gambar 3.4 Tang ampere.....	28
Gambar 4.1 Elemen Pemanas Kompor Listrik.....	46
Gambar 4.2 Grafik <i>lifetime</i> vs kontaminasi air.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Penelitian.....	47
--	----



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 JUDUL PENELITIAN

Pengujian Fenomena “Crackle” pada Minyak Pelumas dengan Variasi Kontaminan Air sampai Temperatur Maksimum 400°C

1.2 LATAR BELAKANG MASALAH

Pelumas adalah merupakan permasalahan yang sangat krusial dalam bidang mekanikal. Setiap pergerakan mesin memerlukan pelumas agar dapat bekerja dengan baik. Akan tetapi, setiap benda yang diciptakan mempunyai usia masing-masing, tidak terkecuali dengan pelumas. Pemakaian pelumas harus diikuti dengan pemantauan yang baik. Pemantauan ini diperlukan untuk dapat melihat kapan saatnya pelumas tersebut diganti agar kerusakan pada mesin dapat dihindari. Kerusakan pada pelumas salah satunya adalah karena kontaminasi air. Salah satu metode yang dipakai untuk mengetahui kontaminasi air pada pelumasan adalah pengujian fenomena “crackle” pada pelumas.

Fenomena crackle merupakan fenomena yang masih jarang diteliti. Hal ini disebabkan sulitnya penanganan dan pengamatan terhadap perilaku crackle. Waktu yang dibutuhkan serta temperatur yang diperlukan agar fenomena ini terjadi, masih harus diteliti lebih lanjut. Fenomena ini dapat kita amati pada mesin-mesin kendaraan yang tempat minyak pelumasnya secara tidak sengaja dimasuki oleh air.

Fenomena crackle pada dasarnya dapat terjadi pada semua liquid/cairan. Akan tetapi, tiap cairan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga satu metode penelitian tidak bisa dilakukan dengan cara yang sama pada tiap cairan. Oleh karena itulah, penulis mencoba mengamati fenomena ini dengan memilih menggunakan minyak pelumas yang dikontaminasi oleh air dari 0 hingga 5 %.

Fenomena ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dari droplet burning. Hal ini disebabkan sebelum fenomena crackle adalah fenomena awal sebelum terjadinya droplet burning. Temperatur yang dipakai pada penelitian ini pun tidak jauh berbeda dari temperatur yang diterapkan pada pengujian droplet burning.

1.3 TUJUAN PENULISAN

Penulisan ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk kelulusan Sarjana Strata Satu Teknik Mesin Universitas Indonesia. Selain itu, sesuai dengan perumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui fenomena lompatan atau dikenal dengan fenomena "*Crackle*" pada Minyak Pelumas yang dikontaminasi air.
2. Mengetahui pengaruh temperatur pada fenomena "*Crackle*".
3. Mengetahui hubungan fenomena "*Crackle*" dengan minyak pelumas yang telah dikontaminasi

1.4 PEMBATAHAN MASALAH

Pembatasan masalah perlu dilakukan agar penelitian dapat lebih terfokus. Adapun batasan penelitian hanya berfokus pada fenomena yang terjadi pada tetesan minyak pelumas yang dikontaminasi oleh air dari 0% hingga 5 % pada temperatur maksimum 400°C.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah :

1. Studi Pustaka

Melakukan penelitian berdasarkan literatur yang ada dan jurnal-jurnal penelitian mengenai fenomena crackle pada tetesan minyak pelumas yang telah dikontaminasi air.

2. Perancangan Modifikasi

Melakukan perancangan alat untuk mengamati fenomena crackle pada tetesan minyak pelumas yang telah dikontaminasi air

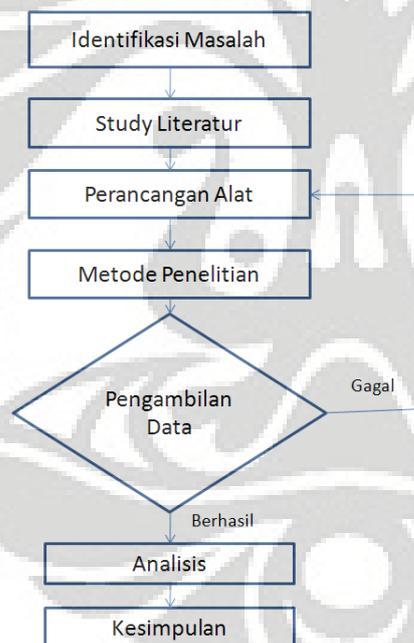
3. Studi Lapangan

Melakukan penelitian, pengamatan, dan pengambilan data untuk meneliti fenomena crackle pada tetesan.

4. Analisis

Dari data-data yang telah ada, selanjutnya dilakukan analisis terhadap data-data tersebut.

Proses pengerjaan skripsi ini dapat digambarkan dengan alur diagram seperti di bawah ini.



1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penyusunan dari tugas akhir ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi judul, latar belakang, permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Bab ini berisi dasar-dasar teori yang mendasari fenomena crackle pada pembakaran tetesan minyak pelumas.

Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi pertimbangan-pertimbangan yang dilakukan untuk pengondisian alat untuk mengamati fenomena crackle pada tetesan minyak pelumas yang dikontaminasi oleh air.

Bab IV Hasil dan Analisa

Bab ini membahas hasil pengujian yang telah dilakukan beserta analisisnya

Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran

BAB 2

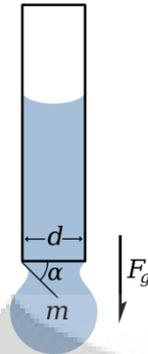
DASAR TEORI

2.1 FENOMENA TETESAN

Jika kita menyemprotkan obat nyamuk atau pewangi ruangan maka kita akan melihat banyak butiran-butiran yang keluar ketika menyemprotkan obat nyamuk atau pewangi ruangan tersebut. Butiran-butiran yang banyak tersebut kita sebut spray, sedangkan butiran-butiran kecil yang membentuk spray tadi dapat kita namakan sebagai droplet. Droplet inilah yang akan dibahas pada penelitian ini. Oleh karena droplet tersebut didapat dengan meneteskan cairan dari jarum suntik maka untuk selanjutnya kita dapat menyebutnya dengan nama tetesan.

Fenomena tetesan banyak terjadi pada kehidupan kita sehari-hari, dari keran yang bocor hingga tetesan hujan. Namun jika kita perhatikan fenomena tersebut dan menelitinya serta menggantinya dengan bahan bakar fosil maka kita akan mendapatkan fenomena yang menarik. Tetesan dari penelitian ini didapatkan dari ujung jarum suntik. Mengapa bisa menetes? Ada beberapa teori yang dapat kita ajukan sebagai alasan. Teori yang pertama adalah mengenai kekentalan zat tersebut. Kekentalan ini lebih berpengaruh kepada diameter tetesan yang akan terjadi. Teori yang kedua adalah gaya gesek cairan dengan jarum suntik, namun kali ini kita tidak akan membahas lebih lanjut mengenai gaya gesek ini. Teori yang ketiga adalah mengenai tegangan permukaan. Tetesan dalam penelitian ini dapat terjadi karena tegangan permukaan cairan pada jarum suntik tidak kuat menahan massa cairan yang terus bertambah, akibat cairan yang terus ditekan keluar secara perlahan, yang telah berada di ujung luar jarum. Akibat dari peristiwa ini, massa cairan yang berada di ujung jarum suntik akan terlepas sehingga menghasilkan tetesan.

Tetesan tersebut akan terus bertahan dalam bentuk, volume dan massanya yang sama selama tidak ada faktor yang mempengaruhi termasuk gaya gesek dengan udara, penguapan, membentur sesuatu, dll. Tetesan inilah yang akan dijadikan sebagai dasar bagi penelitian ini.



Gambar 2.1 Ilustrasi pengujian tetesan. Gambar diambil dari

<http://www.en.wikipedia.org/wiki/Droplet>

Dalam pengujian tetesan bandul, tetesan dari sebuah zat cair ditahan oleh tegangan permukaan pada ujung sebuah tabung. Gaya akibat tegangan permukaan sebanding dengan panjang batas antara zat cair dan tabung, dengan proporsional konstan dinotasikan dengan γ . Dengan batas panjang pada sistem ini adalah keliling tabung, gaya karena permukaan tegangan adalah

$$F_{\gamma} = \pi d \gamma \quad (\text{Persamaan } 2.1)$$

dengan d adalah diameter tabung.

Massa m dari tetesan yang menggantung pada ujung tabung didapat dengan menyamakan gaya gravitasi ($F_g = m g$) dengan komponen tegangan permukaan dalam arah vertikal ($F_{\gamma} \sin \alpha$) dengan persamaan

$$m g = \pi d \gamma \sin \alpha \quad (\text{Persamaan } 2.2)$$

di mana α merupakan sudut kontak dengan tabung dan g adalah percepatan gravitasi.

Batas perumusan ini, yaitu, ketika $\alpha = 90^\circ$, berat maksimum tetesan bandul untuk sebuah zat cair dengan tegangan permukaan yang diberikan, γ , adalah

$$m g = \pi d \gamma \quad (\text{Persamaan } 2.3)$$

Hubungan ini adalah dasar dari metode untuk mengukur tegangan permukaan

2.2 TEGANGAN PERMUKAAN

Tegangan permukaan didefinisikan sebagai besar gaya yang dialami zat cair per satuan panjang. Fenomena ini terjadi pada zat cair yang berada dalam keadaan diam (statis).



Gambar 2.2 Contoh tegangan permukaan pada bejana yang diisi air

Tegangan permukaan tampak ketika sebuah jarum baja yang memiliki rapat massa lebih besar dari air tetapi dapat mengambang di permukaan zat cair. Fenomena ini terjadi karena selaput zat cair dalam kondisi tegang. Jika dituliskan, maka akan seperti ini:

$$y = \frac{F}{2l}$$

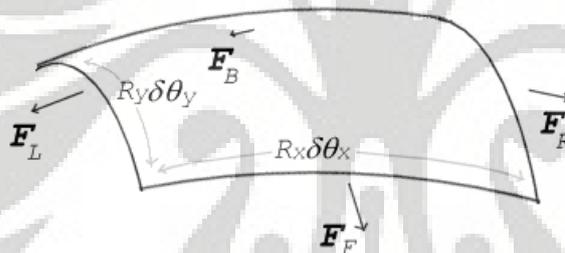
Akan tetapi, pada pengujian kali ini kita menggunakan rumus tegangan permukaan pada butiran yang berbentuk bola sehingga dapat kita turunkan rumus tersebut menjadi:

$$y = \frac{F}{4\pi r^2}$$

Penyebab terjadinya tegangan permukaan adalah karena adanya gaya tarik menarik antara partikel pada zat cair. Dengan kata lain jika gaya tarik partikel zat cair resultannya sama dengan nol maka cairan tidak akan melebar pada permukaan bawahnya atau dengan kata lain luas permukaannya akan kecil. Tegangan permukaan ini tidak sama pada setiap cairan. Hal ini disebabkan

kandungan yang terdapat pada tiap cairan berbeda-beda. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan permukaan ini antara lain suhu, konsentrasi, tekanan dan massa jenis.

Jika tidak ada gaya yang bekerja normal terhadap suatu permukaan yang diberi tegangan, maka permukaan tersebut akan tetap datar. Akan tetapi, jika tekanan pada sebuah sisi permukaan berbeda dengan permukaan lain, maka perbedaan tekanan dengan luas area yang diberi tekanan tersebut akan menghasilkan gaya normal. Agar tegangan permukaan dapat menyeimbangkan gaya akibat tekanan, maka permukaan tersebut harus melengkung. Gambar di bawah merupakan lengkung permukaan yang mengarah ke komponen tegangan permukaan. Jika resultan telah seimbang, akan didapat persamaan yang kemudian dikenal dengan persamaan *Young-Laplace*.



Gambar 2.3 Tegangan permukaan yang bekerja pada permukaan kecil. Gambar diambil dari <http://en.wikipedia.org/wiki/File:CurvedSurfaceTension.png>

Persamaan yang diberikan adalah

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \right) \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

dengan

Δp adalah perbedaan tekanan

γ adalah tegangan permukaan

R_x dan R_y adalah jari-jari kurvatur yang tegak lurus permukaan

2.3 GERAK JATUH BEBAS

Gerak jatuh bebas adalah salah satu bentuk gerak lurus dalam satu dimensi yang hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Variasi dari gerak ini adalah gerak jatuh bebas dan gerak peluru.

Secara umum, persamaan gerak yang hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi ini diberikan oleh

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

dengan:

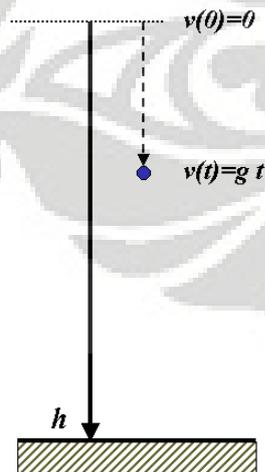
t adalah waktu (s)

y adalah posisi benda ketika saat t (m)

y_0 adalah posisi awal benda (m)

v_0 adalah kecepatan awal benda (m/s)

g adalah percepatan gravitasi (m/s^2)



Gambar 2.4 Ilustrasi gerak jatuh bebas.

Gambar diambil dari <http://www.staff.au.edu.pl>

Syarat gerak jatuh bebas adalah kecepatan awal benda adalah 0 ($v_0 = 0$). Berdasarkan hal tersebut, maka persamaan di atas menjadi

$$y = y_0 + \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

2.4 MOMENTUM, IMPULS DAN TUMBUKAN

2.4.1 MOMENTUM

Momentum berkaitan dengan kuantitas gerak yang dimiliki oleh suatu benda yang bergerak yaitu kecepatan. Dalam hal ini, momentum didefinisikan sebagai hasil perkalian antara massa dan kecepatan benda. Secara matematis momentum dapat ditentukan dengan persamaan

$$p = m v \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

dengan:

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

p = momentum benda ($kg\ m/s$)

Disebabkan kecepatan merupakan sebuah besaran vektor, sedangkan massa merupakan besaran skalar, maka momentum merupakan besaran vektor. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa besaran momentum memiliki nilai dan arah.

2.4.2 IMPULS

Jika sebuah gaya F bekerja pada sebuah benda bermassa m dalam selang waktu tertentu Δt , kecepatan benda tersebut berubah, maka momentum benda tersebut pun akan berubah. Dalam hal ini, berdasarkan hukum II *Newton* dan definisi percepatan, maka diperoleh persamaan berikut.

$$F = ma \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (\text{Persamaan 2.10})$$

Jika kedua persamaan di atas disubstitusikan, akan diperoleh persamaan

$$F \Delta t = m v_2 - m v_1 \quad (\text{Persamaan 2.11})$$

dengan :

I = impuls ($N.s$)

F = gaya (N)

Δt = selang waktu (s)

Δp = perubahan momentum ($kg.m/s$)

$F \cdot \Delta t$ merupakan impuls, sedangkan $m v_2 - m v_1$ merupakan perubahan momentum (momentum akhir - momentum awal). Dengan demikian hubungan impuls dan momentum adalah sebagai berikut,

$$I = F \Delta t = \Delta p = m v_2 - m v_1 \quad (\text{Persamaan } 2.12)$$

dengan

I = impuls ($N.s$)

F = gaya (N)

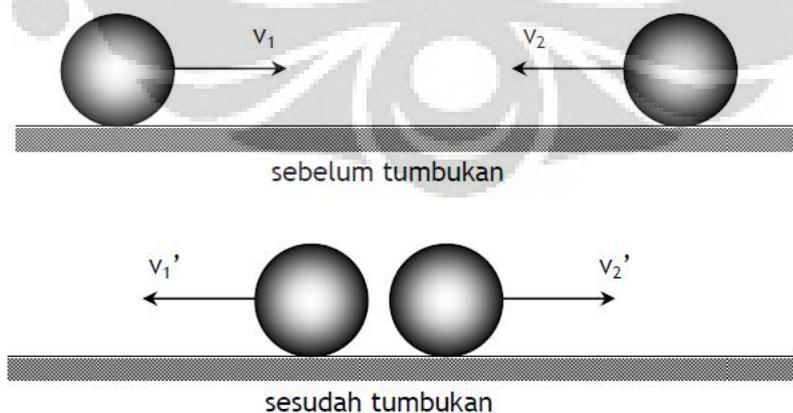
Δt = selang waktu (s)

Δp = perubahan momentum ($kg.m/s$)

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa impuls merupakan perubahan momentum yang dialami suatu benda.

2.4.3 KEKALKAN MOMENTUM

Dua buah bola bergerak saling mendekat dengan kecepatan v_1 dan v_2 seperti tampak pada gambar berikut. Kedua bola tersebut akan bertumbukan sehingga setelah tumbukan benda (1) akan berbalik arah ke kiri dengan kecepatan v_1' dan benda (2) akan berbalik arah ke kanan dengan kecepatan v_2' .



Gambar 2.5 Ilustrasi tumbukan

Pada peristiwa semua tumbukan akan berlaku hukum kekekalan momentum, sehingga pada proses tumbukan tersebut berlaku, “*momentum kedua benda sebelum tumbukan sama dengan momentum kedua benda setelah tumbukan*” sehingga berlaku persamaan

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (\text{Persamaan 2.13})$$

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' \quad (\text{Persamaan 2.14})$$

Persamaan di atas merupakan hukum kekekalan momentum. Dalam hal ini hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa “*jumlah momentum benda sebelum tumbukan sama dengan jumlah momentum benda setelah tumbukan*”.

2.4.4 TUMBUKAN

Peristiwa tumbukan antara dua buah benda dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

- a. tumbukan lenting sempurna
- b. tumbukan lenting sebagian
- c. tumbukan tidak lenting sama sekali

Perbedaan tumbukan berdasarkan nilai koefisien tumbukan (*koefisien restitusi*) dari dua benda yang bertumbukan. Secara matematis, koefisien restitusi dapat dinyatakan dengan persamaan

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \quad (\text{Persamaan 2.15})$$

dengan

e = koefisien restitusi ($0 \leq e \leq 1$)

a. Tumbukan Lenting Sempurna

Tumbukan antara dua buah benda disebut sebagai lenting sempurna apabila jumlah energi kinetik benda sebelum dan sesudah tumbukan tetap, sehingga nilai koefisien restitusi sama dengan 1 ($e = 1$). Sehingga pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik, persamaan yang digunakan adalah

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (\text{Persamaan 2.16})$$

$$1 = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \quad (\text{Persamaan 2.17})$$

b. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian, hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku karena terjadi perubahan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan. Pada tumbukan lenting sebagian hanya berlaku hukum kekekalan momentum dan koefisien restitusi tumbukan lenting sebagian memiliki nilai di antara nol dan satu. Persamaan yang digunakan adalah

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (\text{Persamaan 2.18})$$

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2} \quad (\text{Persamaan 2.19})$$

c. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Tumbukan antara dua buah benda dikatakan tidak lenting sama sekali sesudah tumbukan kedua benda menjadi satu (bergabung), sehingga kedua benda memiliki kecepatan sama, yaitu

$$v_1' = v_2' = v'$$

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, jumlah energi kinetik benda sesudah tumbukan lebih kecil dibanding jumlah energi kinetik benda sebelum tumbukan. Pada tumbukan ini terjadi pengurangan energi kinetik. Nilai koefisien restitusi pada tumbukan tidak lenting sama sekali adalah nol ($e = 0$). Sehingga pada tumbukan tidak lenting sama sekali berlaku persamaan matematis :

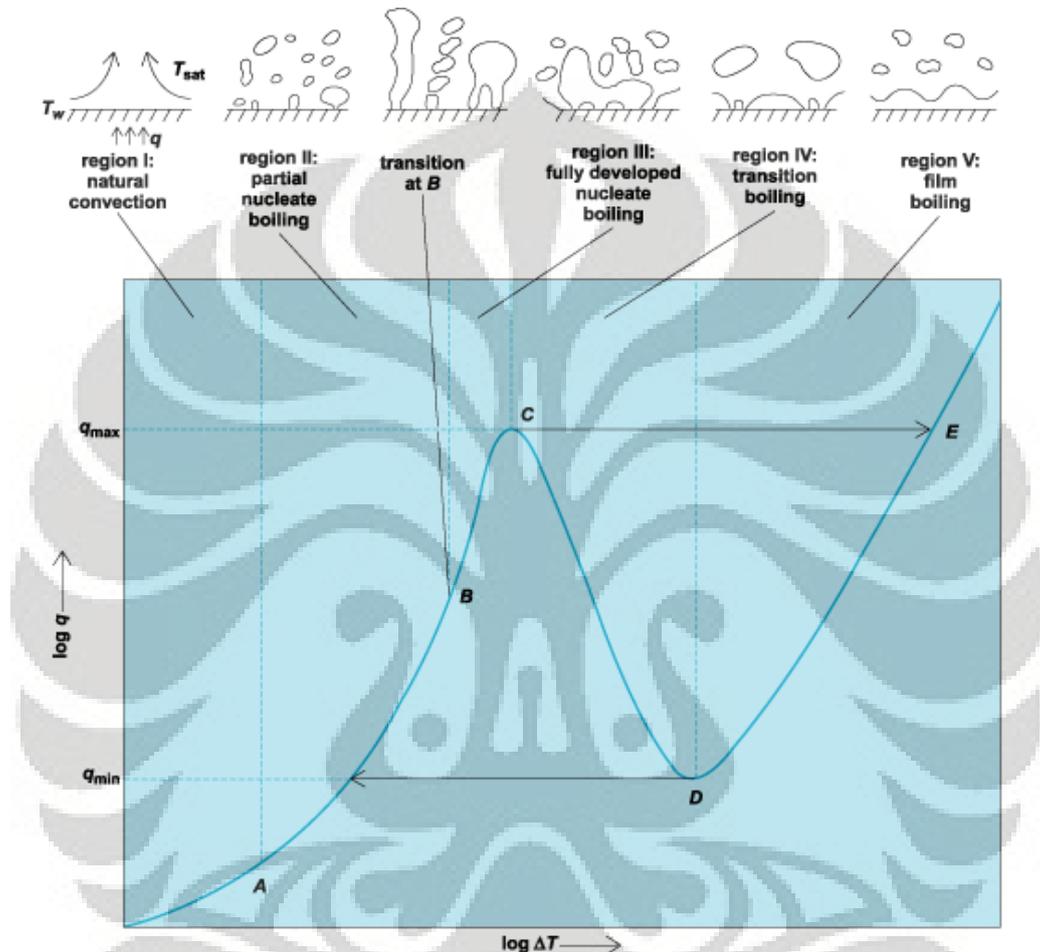
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \quad (\text{Persamaan } 2.20)$$

2.5 PERPINDAHAN KALOR DIDIH

Jika suatu permukaan bersentuhan dengan zat cair dan temperatur permukaan tersebut dijaga pada temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur jenuh zat cair tersebut, maka akan terjadi proses didih. Fluks kalor (*heat flux*) yang terjadi bergantung pada perbedaan antara temperatur permukaan dengan temperatur jenuh zat cair tersebut. Secara umum, didih diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu :

- a. Didih kolam (*pool boiling*), yaitu didih yang terjadi ketika sebuah permukaan yang dipanaskan tersebut terbenam di bawah permukaan-bebas zat cair.
- b. Didih dingin lanjut (*subcooled boiling*), atau didih lokal (*local boiling*), yaitu didih yang terjadi ketika temperatur zat cair berada di bawah temperatur jenuh.

- c. Didih jenuh (*saturated boiling*) atau kadang dikenal sebagai didih limbak (*bulk boiling*), yaitu didih yang terjadi ketika zat cair tersebut dijaga pada temperatur jenuh.



Gambar 2.6 Kurva didih. Diambil dari <http://www.answer.com>

Berbagai klasifikasi didih tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5, di mana data fluks kalor dari sebuah kawat platina yang dipanaskan dengan listrik dan dibenamkan di dalam air digambarkan dalam grafik terhadap kelebihan temperatur (*excess temperature*), $T_s - T_{sat}$.

Pada daerah I, terdapat arus konveksi bebas (*free convection*) yang menyebabkan gerakan fluida pada permukaan. Pada daerah ini, zat cair di dekat permukaan yang

dipanaskan mengalami pemanasan lanjut (*superheated*), lalu menguap ketika menuju permukaan. Sedangkan pada daerah II, terbentuk gelembung-gelembung pada permukaan. Daerah ini menandai permulaan dari didih nukleat (*nucleat boiling*). Jika temperatur kembali dinaikkan, gelembung-gelembung pun akan terbentuk dengan lebih cepat dan bergerak naik ke permukaan zat cair.

Dengan terbentuknya gelembung-gelembung gas tersebut, menandai daerah III. Gelembung-gelembung tersebut terbentuk dengan sangat cepat sehingga menutupi seluruh permukaan pemanas dan menghalangi masuknya zat cair baru ke daerah tersebut. Pada titik ini, gelembung-gelembung bergabung dan membentuk lapisan uap yang menutupi seluruh permukaan. Hal ini berdampak terhadap kalor yang dipindahkan harus dikonduksikan melalui lapisan ini agar dapat mencapai zat cair yang mempengaruhi proses didih. Resistansi termal lapisan menyebabkan berkurangnya fluks kalor. Fenomena ini digambarkan pada daerah IV, yaitu didih transisi (*transition boiling*). Daerah ini menunjukkan terjadinya transisi dari didih nukleat ke didih lapisan yang merupakan daerah tidak stabil. Didih lapisan yang stabil tercapai pada daerah V. Temperatur permukaan yang diperlukan untuk menjaga didih lapisan yang stabil sangat tinggi. Dan jika kondisi tersebut tercapai, sebagian besar rugi kalor (*heat lost*) dari permukaan disebabkan oleh radiasi termal, seperti terlihat pada daerah V.

2.6 PENGUAPAN DROPLET

Untuk mempermudah pemahaman dalam mengetahui penguapan tetesan atau *droplet evaporation*, akan lebih mudah jika menggunakan permodelan. Permodelan yang paling umum digunakan adalah permodelan Ranz-Marshall.

$$Nu = 2 + 0.6Re_p^{1/2} Pr^{1/3}$$

Dimana,

Nu= bilangan Nusselt

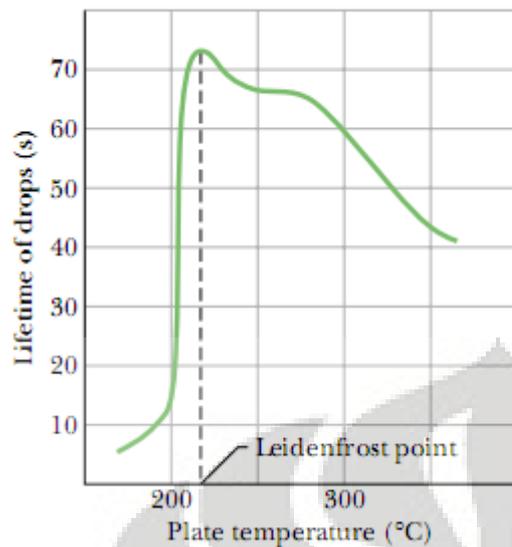
Re_p= Bilangan Reynold partikel

Pr = Bilangan Prandtl

Pada spray, droplet mengalami pergerakan sehingga menyebabkan laju perpindahan massa dan perpindahan panasnya tinggi. Hal ini menyebabkan permodelan Ranz Marshall mengalami beberapa perubahan. Akan tetapi, dalam kaitannya dengan Crackle, permodelan Ranz Marshall kurang bisa menjelaskan adanya fenomena Crackle. Ranz Marshall hanya dapat menjelaskan teori penguapan dengan laju perpindahan massa dan perpindahan panas yang cukup cepat.

2.7 FENOMENA LEIDENFROST EFFECT

Fenomena Leidenfrost dikemukakan oleh seorang bernama Johann Gottlob Leidenfrost pada tulisannya yang berjudul *A Tract About Some Qualities of Common Water* pada tahun 1756. Ia dilahirkan di Ortenberg, Jerman 24 November 1715. Fenomena Leidenfrost adalah fenomena dimana suatu liquid menyentuh permukaan yang temperaturnya lebih tinggi dibandingkan titik didih liquid tersebut. Fenomena ini dapat terjadi ketika kita meneteskan cairan, misalnya air ke atas permukaan plat yang panas. Peristiwa kontak ini akan menghasilkan lapisan penyekat uap yang mencegah liquid mendidih secara cepat. Ini terjadi karena pada temperatur di atas titik Leidenfrost ketika bagian bawah tetesan liquid, yang bersentuhan dengan permukaan panas, menguap secara tiba-tiba akibat adanya temperatur ekstrem plat. Gas yang dihasilkan akan “menahan” tetesan air di atasnya. Titik Leidenfrost adalah temperatur minimum pada permukaan panas di mana *Leidenfrost Effect* dapat terjadi.



Gambar 2.7 Grafik perbandingan temperatur plat dengan lifetime droplet. Gambar diambil dari www.volcaniclightning.tripod.com

Akibat dari “lapisan penahan” ini, butiran akan tetap berbentuk tetesan tetapi makin lama volumenya makin berkurang. Lapisan penahan ini akan mencegah kontak langsung sisi samping butiran dengan hot plate sehingga bentuknya tidak akan melebar. Peristiwa ini selain akan melambatkan heat transfer secara perlahan juga menyebabkan tetesan ini dapat menggelincir di atas permukaan plat panas. Peristiwa menggelincir ini disebabkan butiran ingin mempertahankan kestabilannya.

Fenomena ini paling mudah ditemukan pada air. Air mempunyai titik didih 100°C . Pada temperatur di atas 100°C , *Leidenfrost Effect* dapat terjadi. Akan tetapi Titik Leidenfrost itu sendiri tidak dapat diprediksi^[1]. Meskipun kita meneteskan cairan yang sama dengan volume yang sama pula titik Leidenfrostnya dapat berbeda. Properties dari platnya pun juga berpengaruh terhadap nilai titik Leidenfrost. Sebagai contoh titik Leidenfrost air pada wajan penggorengan berkisar 190°C .

[1] Bernardin and Mudawar, "A Cavity Activation and Bubble Growth Model of the Leidenfrost Point," Transactions of the ASME, (Vol. 124, Oct. 2002)

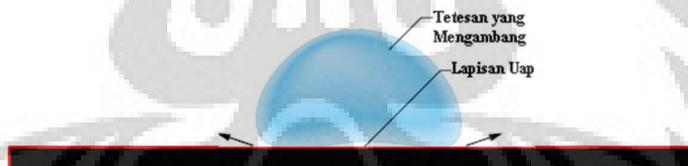
2.8 CRACKLE

Crackle merupakan fenomena dimana minyak atau bahan bakar yang ketika dijatuhkanbebasan di atas permukaan plat panas maka butirannya akan melompat. Fenomena ini merupakan fenomena kompleks, karena melibatkan beberapa hal yang telah dijelaskan di atas. Fenomena ini muncul sebagai fenomena lanjut dari efek *Leidenfrost*, yaitu berupa lompatan dan letupan kecil. Pada bahan bakar letupan kecil ini dimungkinkan akan membentuk sebuah nyala api, hanya saja bentuk nyala api tersebut belum terlihat dengan jelas disebabkan oleh bahan bakar cair yang tersisa dari efek *Leidenfrost* sangat kecil. Parameter kemunculan nyala api adalah tidak adanya asap ketika letupan kecil tersebut terjadi disertai dengan bunyi letupan, walaupun intensitasnya rendah. Jika digambarkan proses crackle akan terlihat seperti di bawah ini:



Gambar 2.8 Saat butiran menyentuh plat

Sesuai efek *Leidenfrost*, hasil tetesan akan membentuk butiran di atas plat.



Gambar 2.9 Butiran mengalami efek *Leidenfrost*

Butiran ini sebenarnya tidak stabil, dalam arti butiran ini akan bergerak-gerak dan menggelincir. Pada bagian bawah tetesan di mana permukaan tetesan bersinggungan langsung dengan temperatur ekstrem. Hal ini menyebabkan adanya penguapan dengan laju yang sangat cepat pada bagian bawah butiran.



Gambar 2.10 Butiran mengalami fenomena *crackle*

Fenomena ini akan menimbulkan efek seperti efek pegas sehingga hal ini akan menyebabkan butiran tersebut terlontar ke udara.

2.6 PELUMAS

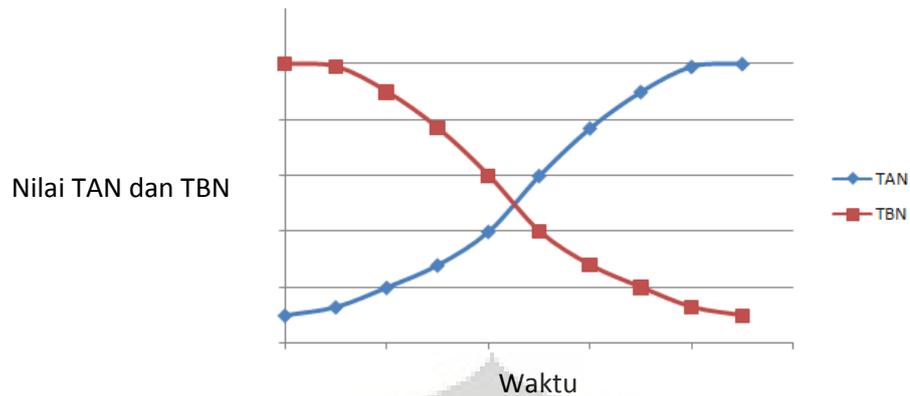
Dalam ilmu manufaktur, kita mengenal kata pelumasan. Apabila kita menyentuhkan sebuah benda padat dengan benda padat lainnya, lalu kita gerakkan berlawanan arah maka akan timbul gaya yang disebut gaya gesek. Gaya gesek ini, pada alat-alat mesin dapat menimbulkan beberapa kerugian, diantaranya:

1. Akan timbul panas dengan temperatur tinggi
2. Adanya tegangan permukaan yang besar pada benda solid
3. Timbulnya keausan pada permukaan benda solid
4. Jika kondisinya sudah memburuk maka akan terjadinya kemacetan gerak pada mesin

Jenis oli atau pelumas ini juga dibedakan menjadi 2, berdasarkan bahan asalnya. Jenis-jenis tersebut adalah oli sintetis dan oli yang berasal dari minyak bumi. Oli pelumasan dari minyak bumi dibuat dari hasil penyulingan minyak bumi sedangkan oli sintetis dibuat dari bahan-bahan kimia yang telah dicampur dan telah diteliti kandungannya sehingga dapat berfungsi sebagai pelumas.

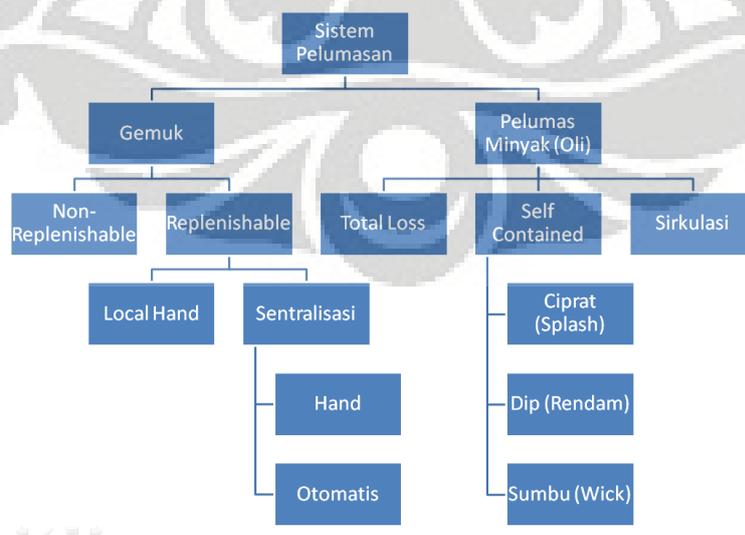
Indikator pada dunia pelumasan sendiri terbagi menjadi 2, yaitu:

- Engine Oil, menggunakan indikator Total Base Number (TBN). Jika pada pelumas tersebut telah lama terpakai berarti pelumas tersebut adalah pelumas bekas dan TBN-nya menunjukkan nilai yang rendah. Penurunan TBN dikaitkan dengan terjadinya korosi pada bagian mesin.
- Industrial Oil, menggunakan indikator Total Acid Number (TAN). Berkebalikan dengan TBN, TAN dengan nilai tinggi menunjukkan pelumas tersebut adalah pelumas bekas. Peningkatan TAN dikaitkan dengan peningkatan proses oksidasi pada pelumas atau kontaminasi dengan produk asam.



Gambar 2.11 Grafik nilai TBN dan TAN vs waktu pakai minyak pelumas

Aplikasi pelumas pada dunia mekanikal sangatlah banyak. Salah satu diantaranya adalah crankcase pada mesin mobil. Pelumas dalam crankcase berfungsi melapisi gesekan antara permukaan-permukaan benda solidnya, selain itu juga mencegah agar temperatur di dalam mesin tidak terlalu tinggi akibat adanya gesekan terus-menerus antara komponen mesin. Begitu pula pada transmisi gigi, gesekan antara komponen mesin akan membuat komponen tersebut cepat aus dan rusak. Hal yang paling buruk dapat terjadi adalah pergerakan transmisi gigi dapat mengalami kemacetan gerak. Hal ini dapat berakibat fatal apabila kendaraan sedang dipacu pada kecepatan tinggi. Dalam memahami bagaimana minyak pelumas bekerja kita juga perlu melihat sistem pelumasan. Berikut ini adalah sistem pelumasan yang kita kenal:



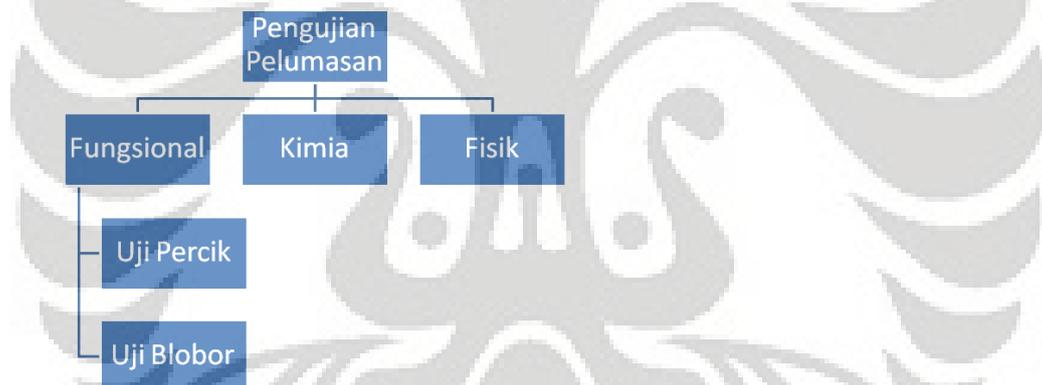
Gambar 2.12 Sistem Pelumasan

Kerusakan Pelumas

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan pelumas menjadi rusak, beberapa hal tersebut antara lain adalah:

1. Oksidasi, proses ini terjadi karena atom oksigen masuk ke dalam molekul minyak dasar sehingga menyebabkan molekul hidrokarbon menjadi adalhida
2. Kontaminasi air, bahan bakar maupun bahan padat
3. Kerusakan akibat pergeseran, yaitu jika pelumas terperangkap di antara permukaan gesekan, molekulnya dapat menjadi robek akibat gaya mekanis
4. Penguapan

Pengujian Pelumasan



Gambar 2.13. Kategori Pengujian Pelumasan

- a. Fungsional, untuk melihat seberapa jauh pelumas tersebut dapat berfungsi. Pengujian ini biasa dilakukan dengan simulasi. Faktor yang perlu diperhatikan antara lain, ukuran bantalan, bentuk persinggungan, aliran pelumasan, temperatur dan kondisi lingkungan.
 - Uji percik, dilakukan dengan meneteskan pelumas ke permukaan logam yang panas, apabila memercik berarti minyak tersebut mengandung air.
 - Uji Blobor, dilakukan dengan meneteskan pelumas ke atas kertas isap yang bagian bawahnya tidak tersentuh permukaan lain.

- b. Kimia, untuk mengukur seberapa jauh kandungan kimianya
- c. Fisik, untuk mengetahui karakteristik pelumas misalnya viskositas, warna, flash point, dll.

Sementara itu, untuk beberapa pengujian terhadap pelumas telah dilakukan. Beberapa bentuk pengujian yang dilakukan antara lain,

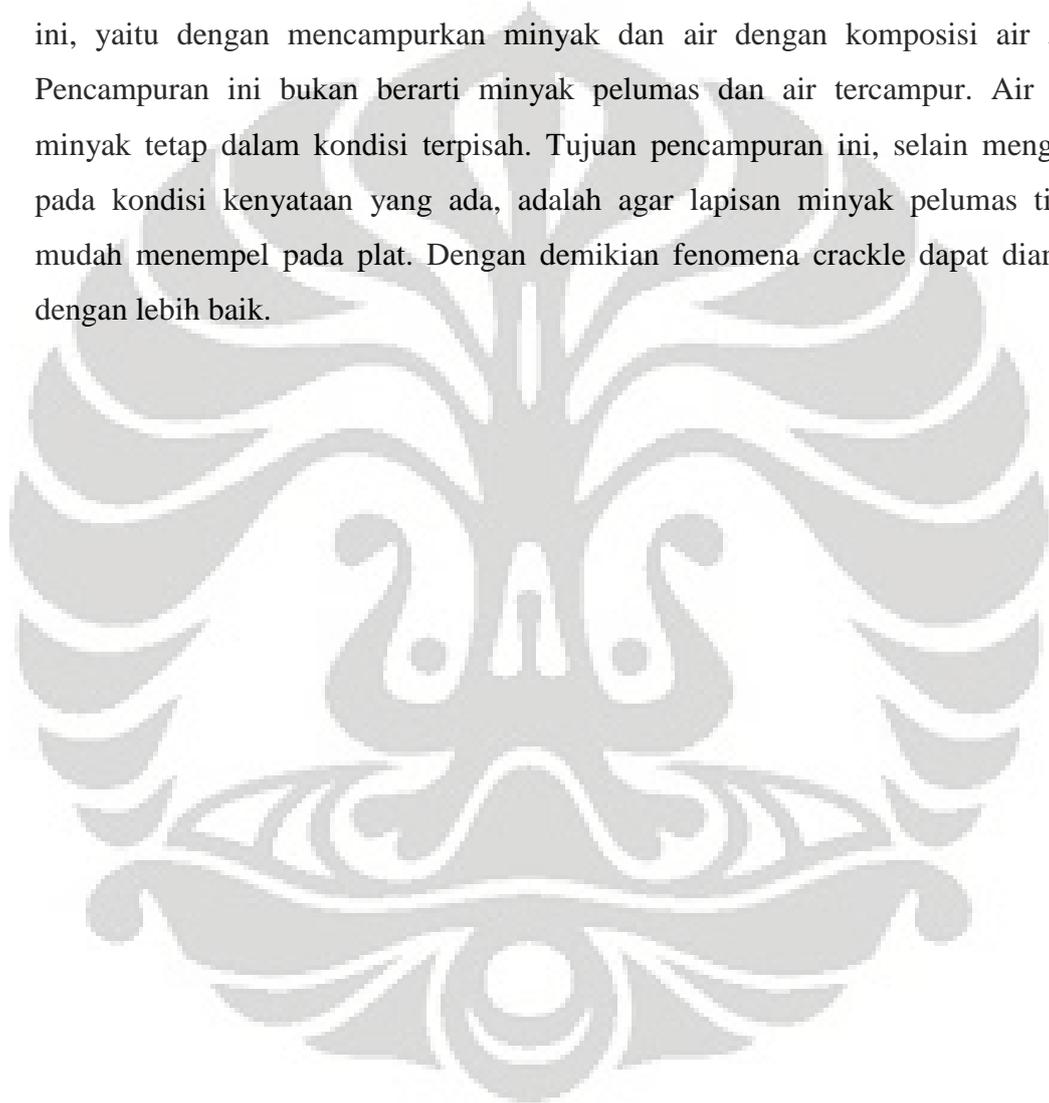
- a. Pengujian sifat oksidasi, menguji pengaruh proses oksidasi terhadap pelumas
- b. Pengujian stabilitas thermal, mengetahui tingkat penguapan dan kecenderungan kerusakan kimiawi terhadap kenaikan temperatur
- c. Pengujian kemudahan untuk terbakar, pengujian ini tidak semata-mata karena temperatur melainkan juga karena kondisi yang ada seperti jumlah oksigen di sekitar pelumas
- d. Pengujian komposisi, untuk mengetahui adanya keasaman dan besarnya kadar aditif alkalin
- e. Pengujian viskositas, menggunakan prinsip kapilaritas dalam pengujiannya. Minyak pelumas dialirkan berdasarkan gravitasi melalui standar gelas pipa kapiler kemudian diukur waktunya.
- f. Pengujian crackle, pengujian dengan meneteskan minyak pelumas ke atas plat panas. Dapat digunakan untuk melihat seberapa banyak kadar air dalam pelumas.

2.10 PELUMAS YANG DIKONTAMINASI DENGAN AIR

Pelumas yang digunakan adalah pelumas jenis Prima XP 20W-50. Tujuan dari mengontaminasi minyak pelumas dengan air adalah untuk mengetahui fenomena crackle yang terjadi jika oli terkontaminasi dengan air. Fenomena ini dapat kita lihat aplikasinya pada mesin mobil atau motor jika oli terkontaminasi dengan air. Minyak pelumas didesain sedemikian rupa agar dapat menempel pada bagian-bagian mesin baik pada temperatur rendah maupun tinggi. Minyak pelumas ini akan membuat lapisan komponen-komponen mesin akan terlindungi ketika mesin sedang bekerja. Perlindungan ini dimaksudkan agar

gesekan antar komponen menjadi berkurang dan tidak merusak komponen-komponen yang ada di dalam mesin.

Air mempunyai sifat tidak dapat menyatu dengan minyak. Jika kita menuangkan air dan minyak dalam satu wadah maka keduanya akan membentuk lapisan tersendiri atau tidak dapat bercampur. Di antara minyak dan air ini akan terbentuk *boundary layer* yang memisahkan keduanya. Cara melakukan penelitian ini, yaitu dengan mencampurkan minyak dan air dengan komposisi air 5%. Pencampuran ini bukan berarti minyak pelumas dan air tercampur. Air dan minyak tetap dalam kondisi terpisah. Tujuan pencampuran ini, selain mengacu pada kondisi kenyataan yang ada, adalah agar lapisan minyak pelumas tidak mudah menempel pada plat. Dengan demikian fenomena crackle dapat diamati dengan lebih baik.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1.PERALATAN

3.1.1.Kompur Listrik



Gambar 3.1 Kompur Listrik

Kompur Listrik yang digunakan untuk pengujian adalah kompur listrik *hot plate* merk Akebonno. Kompur tersebut memiliki plat datar sebagai tempat untuk memanaskan benda yang akan dipanaskan. Di bawah plat tersebut terdapat elemen pemanas berbentuk spiral yang berfungsi untuk memanaskan plat tersebut. Daya kompur tersebut adalah 900 Watt. Kompur ini pada awalnya memiliki plat datar yang bergerigi. Gerigi tersebut diperhalus dengan cara *cutting*. Proses penghalusan permukaan ini ternyata berdampak pada pengambilan data. Untuk lebih jelasnya akan dibahas lebih lanjut pada bab analisa.

3.1.2. Alat suntik



Gambar 3.2 Alat suntik

Alat suntik ini digunakan pada percobaan single droplet. Alat suntik ini akan digunakan untuk meneteskan minyak pelumas ke atas plat kompor. Ukuran alat suntik yang digunakan adalah 1 cc

3.1.3. Termometer non-contact (laser)



Gambar 3.3 Termometer laser

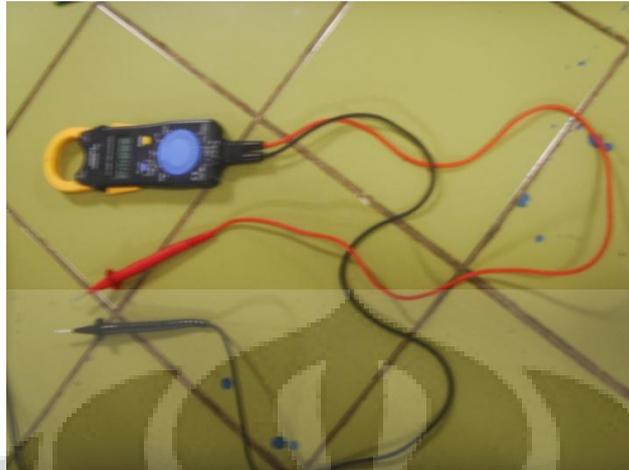
Merk Raytek

Output <math><1\text{mW}</math>

Wavelength 630-670 nm

Input 9v DC

3.1.4. Tang ampere



Gambar 3.4 Tang ampere

Merk Hioki 3280-10

Battery CR2032 Rating : 3V x 1 15 mVA

3.1.5. Kamera KODAK EASYSHARE Z7590 dengan spesifikasi 5 Mega pixel, Lensa Variogon 38-380 mm (Equiv.) AF 10x optical

3.1.6. Mixer Tecstar 7 speed 220v/50 Hz, 120 W

3.1.7. Gelas Ukur

3.1.8. Stopwatch

Untuk mengukur waktu

3.2. Perlengkapan

3.2.1. Minyak Pelumas

3.2.2. Air

3.3. Setting Alat

3.3.1. Penghalusan permukaan plat kompor

Kompor yang dipakai untuk penelitian mempunyai permukaan yang berkontur. Permukaan ini akan menyebabkan bentuk tetesan terpecah dan tidak akan bertahan dalam bentuk bulat. Oleh karena itu, permukaan plat harus diratakan lebih dahulu.

3.3.2. Pemberian keterangan interval/skala pembacaan knop pengatur temperatur plat

Cara kerja kompor ini adalah dengan cara memanaskan plat datar dengan elemen pemanas. Panas akan berpindah ke plat dengan cara konduksi. Ketika elemen pemanas aktif maka lampu indikator akan menyala. Ketika sudah mencapai temperatur tertentu, elemen pemanas akan berhenti bekerja. Untuk mengaktifkan elemen pemanas dan menaikkan temperatur kembali, maka knop diputar perlahan hingga lampu menyala. Langkah-langkah ini dianggap sebagai satu interval.

3.4. Metode Penelitian Pengambilan Data temperatur dan tegangan

1. Pasang tang ampere pada kompor listrik (untuk memasang tang ampere, maka kabel yang berhubungan dengan elemen pemanas disambungkan dengan kabel untuk pengukuran pada tang ampere).
2. Siapkan termometer non-kontak dan stopwatch
3. Nyalakan kompor listrik /Putar knop pada posisi on
4. Putar knop pengatur temperatur sampai pada interval pertama/lampu pertama kali menyala
5. Hitung waktu yang dibutuhkan dari lampu menyala sampai lampu mati kembali
6. Catat juga tegangan yang terukur pada tang ampere saat lampu menyala
7. Jika lampu sudah mati maka putar knop pengatur temperatur ke interval selanjutnya
8. Ulangi langkah 5,6 dan 7 sampai interval terakhir

3.5. Metode percobaan single droplet minyak pelumas yang telah dikontaminasi air

1. Nyalakan kompor listrik/ Putar knop pada posisi on
2. Putar hingga interval terakhir
3. Setelah lampu mati/temperatur berkisar di 400 °C
4. Teteskan minyak pelumas sebelum dikontaminasi air
5. Amati menggunakan kamera
6. Ulangi untuk kontaminasi air 1% hingga 5%

7. Sebelum meneteskan pelumas yang telah dikontaminasi ke atas plat panas, aduk pelumas dengan mixer sampai 10 menit



BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1.Data Hasil Percobaan

Tabel di bawah ini adalah tabel yang memuat pengambilan data temperatur plat kompor. Data yang diambil selain temperatur adalah waktu dan tegangan Tujuan hasil percobaan ini adalah mengetahui interval temperatur yang dimiliki oleh kompor listrik dan waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dari satu interval ke interval berikutnya. Selain itu, tegangan juga diukur untuk mengetahui daya yang dibutuhkan oleh kompor.

Data hasil penelitian kompor sebelum dilakukan penghalusan pada plat.

Percobaan 1:

Tawal plat	28.9		
Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	158.7	431.85	117.78
2	253.7	526.85	132.06
3	321.5	594.65	109.16
4	363.4	636.55	96.75
5	387.9	661.05	133.62
6	413.7	686.85	130.96
7	446.3	719.45	170.28
8	464.7	737.85	318.78
9	502.7	775.85	885

Percobaan 2

Tawal plat	31.6		
Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	132	405.15	84.7
2	274.7	547.85	163
3	342.2	615.35	133.9
4	399.3	672.45	130.2
5	421.7	694.85	111.7
6	448.4	721.55	142
7	455.8	728.95	151.7
8	476.4	749.55	189.3
9	489.5	762.65	323.9

Percobaan 3

Tawal plat	27.8		
Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	143.3	416.45	95.7
2	270.5	543.65	152.5
3	345.1	618.25	140.5
4	392.7	665.85	140.3
5	405.1	678.25	114.3
6	430	703.15	132.3
7	446.1	719.25	177.3
8	465.8	738.95	227.7
9	490.3	763.45	324.3

Percobaan 4

T awal plat	28.7		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	132.7	405.85	89.7
2	263.8	536.95	157.7
3	357.2	630.35	144.3
4	375.4	648.55	112.7
5	392.2	665.35	125.3
6	440.5	713.65	163.9
7	448.9	722.05	174.2
8	500.4	773.55	396.4
9	502.4	775.55	335.4

Percobaan 5

T awal plat	28.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	122.8	395.95	87.8
2	258.3	531.45	152.6
3	330.9	604.05	182.9
4	373.9	647.05	117.2
5	402.9	676.05	114.2
6	436.2	709.35	119.2
7	458.3	731.45	150.1
8	476.2	749.35	181.2
9	490.1	763.25	307

Percobaan 6

T awal plat	31.1		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	158	431.15	98
2	259.8	532.95	134
3	315.7	588.85	120
4	365.6	638.75	120
5	397.4	670.55	124
6	405.3	678.45	125.2
7	437.9	711.05	173.34
8	470.9	744.05	222.4
9	500.6	773.75	394.71

Percobaan 7

T awal plat	31.3		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	138.1	411.25	87.71
2	243.5	516.65	118
3	325.3	598.45	131.12
4	379.3	652.45	120.09
5	406	679.15	114.5
6	431.6	704.75	109
7	462.9	736.05	151.5
8	483.7	756.85	206.4
9	486.2	759.35	381.46

Percobaan 8

T awal plat	30.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	145.4	418.55	91.81
2	287.7	560.85	123
3	340	613.15	122.81
4	372.8	645.95	108.03
5	406.5	679.65	121.65
6	430.1	703.25	128.31
7	447.3	720.45	146.34
8	472.4	745.55	219.09
9	499.9	773.05	367.46

Percobaan 9

T awal plat	27.4		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	130.1	403.25	82.28
2	241.2	514.35	117.15
3	321.1	594.25	124.81
4	364.6	637.75	113.34
5	395.7	668.85	105.53
6	427.2	700.35	110.37
7	447	720.15	146.43
8	476.2	749.35	173.34
9	506	779.15	320.15

Percobaan 10

T awal plat	28.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	143	416.15	95.12
2	250.1	523.25	128.31
3	295.2	568.35	96
4	328.6	601.75	101.06
5	384.2	657.35	115.03
6	431.3	704.45	123.43
7	452.1	725.25	147.34
8	478.1	751.25	188.03
9	503.1	776.25	286.9

Percobaan 11

T awal plat	30.7		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	134.2	407.35	90.5
2	253.8	526.95	129
3	334.4	607.55	129.8
4	385.1	658.25	120.9
5	414.7	687.85	118.3
6	441.3	714.45	137.5
7	463.1	736.25	160.1
8	483.9	757.05	206
9	489.8	762.95	289.5

Percobaan 12

T awal plat	29.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	159	432.15	118.09
2	281.7	554.85	155.09
3	341.2	614.35	137.31
4	400.9	674.05	124.62
5	424.7	697.85	126.28
6	427.3	700.45	147.5
7	458.1	731.25	180.43
8	475.1	748.25	253.06
9	489.7	762.85	399.75

Percobaan 13

T awal plat	32.1		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	135.9	409.05	88.71
2	236.4	509.55	126.5
3	318.9	592.05	140.5
4	369.4	642.55	127.09
5	401.8	674.95	126.25
6	421.1	694.25	131.37
7	424.9	698.05	137.68
8	454.8	727.95	207.53
9	475.4	748.55	264.68

Percobaan 14

T awal plat	30.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	133.9	407.05	84.34
2	224.6	497.75	109.34
3	308.9	582.05	128.59
4	354.7	627.85	109.71
5	401.4	674.55	124.78
6	431.4	704.55	143.12
7	456.6	729.75	143.68
8	474	747.15	234
9	509.2	782.35	233.09

Pada saat sebelum dilakukan percobaan ke 15, plat permukaan kompor dihaluskan sehingga ketebalan plat menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan perubahan pada interval knop kompor dari sembilan interval menjadi delapan interval.

Percobaan 15

T awal plat	28.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	63.8	336.95	82.78
2	179.1	452.25	109.21
3	270.1	543.25	119.21
4	321.2	594.35	103.12
5	349.7	622.85	90.84
6	398.9	672.05	125.9
7	407.8	680.95	121.43
8	416.8	689.95	135.09

Percobaan 16

T awal plat	30.2		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	58.2	331.35	81.34
2	161.6	434.75	110.03
3	252.5	525.65	106.62
4	326.5	599.65	94.03
5	347.1	620.25	100.43
6	373.8	646.95	141.03
7	398.3	671.45	114.25
8	409.3	682.45	139.4

Percobaan 17

T awal plat	33.2		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	63.7	336.85	79.12
2	157.9	431.05	101.06
3	263.6	536.75	100.93
4	305.4	578.55	89.68
5	345.1	618.25	89.71
6	376.3	649.45	101.34
7	394.5	667.65	113.75
8	405.5	678.65	118.84

Percobaan 18

T awal plat	28.9		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	58.3	331.45	77.46
2	166.7	439.85	102.71
3	246.8	519.95	109.78
4	312.1	585.25	103.15
5	339.4	612.55	98.9
6	362.8	635.95	102.12
7	378.1	651.25	113.43
8	410.8	683.95	177.21

Percobaan 19

T awal plat	29.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	72.2	345.35	94.06
2	179.5	452.65	117.06
3	289.6	562.75	108.81
4	327.3	600.45	99.34
5	356.4	629.55	100.71
6	399.9	673.05	99.46
7	423.3	696.45	114.25
8	445.5	718.65	173.25

Percobaan 20

T awal plat	28.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	104.6	377.75	102.46
2	221.3	494.45	124.31
3	305.9	579.05	116.78
4	358.4	631.55	99.31
5	387.7	660.85	99.87
6	411.2	684.35	95.87
7	429.8	702.95	126.56
8	437.4	710.55	162.34

Percobaan 21

T awal plat	30.7		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	63	336.15	94.75
2	200.4	473.55	120
3	285.8	558.95	117.68
4	320.8	593.95	97.4
5	364.8	637.95	100.18
6	397.6	670.75	119.12
7	409.2	682.35	121.65
8	418.7	691.85	154.34

Percobaan 22

T awal plat	28.9		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	89.6	362.75	92
2	212.4	485.55	114.21
3	284.1	557.25	110.06
4	351.1	624.25	97.78
5	382.4	655.55	103.34
6	406.5	679.65	99.5
7	428.2	701.35	109.5
8	463.2	736.35	204.78

Percobaan 23

T awal plat	31.1		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	97.6	370.75	98.81
2	204	477.15	124.4
3	293.1	566.25	118.31
4	355.6	628.75	105.28
5	368.2	641.35	97.81
6	399.5	672.65	99.71
7	434.8	707.95	147.9
8	453.7	726.85	132.25

Percobaan 24

T awal plat	28.4		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	82.3	355.45	94.96
2	208.4	481.55	123.87
3	321.8	594.95	114.21
4	334.8	607.95	103.31
5	379.4	652.55	101.53
6	394.8	667.95	109.34
7	422.5	695.65	113.15
8	446.3	719.45	175.43

Percobaan 25

T awal plat	29.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	82.3	355.45	89.21
2	180.4	453.55	104
3	250.2	523.35	114.43
4	316.4	589.55	103.37
5	359.2	632.35	103.59
6	385.6	658.75	105.15
7	391.4	664.55	120.71
8	445	718.15	199.78

Percobaan 26

T awal plat	29.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	64.4	337.55	94.8
2	185.3	458.45	141
3	265.6	538.75	111.9
4	321.4	594.55	104
5	365.8	638.95	110.5
6	382.4	655.55	108.5
7	394.1	667.25	119.4
8	420.7	693.85	160.5

Percobaan 27

T awal plat	30.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	99.2	372.35	78.75
2	176.2	449.35	113.62
3	270.6	543.75	111.6
4	290.1	563.25	91.21
5	380.7	653.85	105.25
6	388.5	661.65	109.15
7	424.5	697.65	125.56
8	466.6	739.75	191.62

Percobaan 28

T awal plat	30.6		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	92.3	365.45	89.57
2	212.8	485.95	126.06
3	292.7	565.85	90.78
4	351.9	625.05	101.62
5	368.4	641.55	125.75
6	387.2	660.35	104.96
7	427.4	700.55	120.15
8	482.7	755.85	218.93

Percobaan 29

T awal plat	31.8		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	129.7	402.85	94.81
2	237.8	510.95	119.12
3	293.6	566.75	124.31
4	347.2	620.35	108.71
5	396.3	669.45	110.93
6	418.8	691.95	140.5
7	442.1	715.25	127.75
8	463.1	736.25	271.56

Percobaan 30

T awal plat	28.9		
Interval	Temp. Perm. Plat ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	115.9	389.05	117.78
2	251.6	524.75	132.06
3	305.6	578.75	109.16
4	334.8	607.95	96.75
5	395.1	668.25	133.62
6	397.3	670.45	130.96
7	426.4	699.55	170.28
8	472.3	745.45	318.78

4.2. Hasil Pengujian Tetesan Minyak Pelumas yang dikontaminasi air

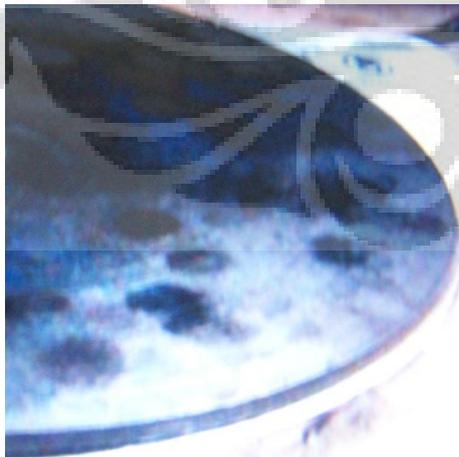
4.2.1. Kontaminasi 0%



Detik ke-30,5 Tetesan menyentuh plat, tidak membentuk butiran



Detik ke-30,7 Tetesan semakin melebar, sebagian besar menguap

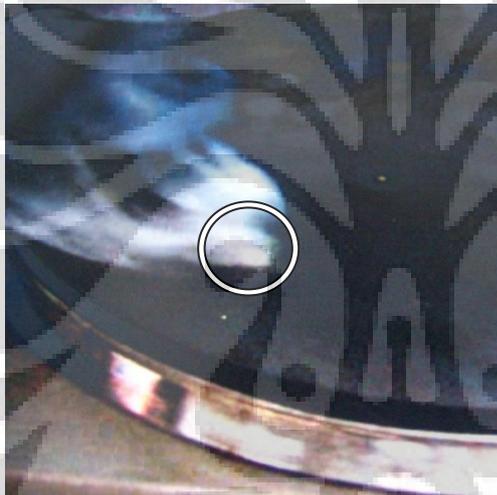


Detik ke-34,5 Tetesan menguap seluruhnya

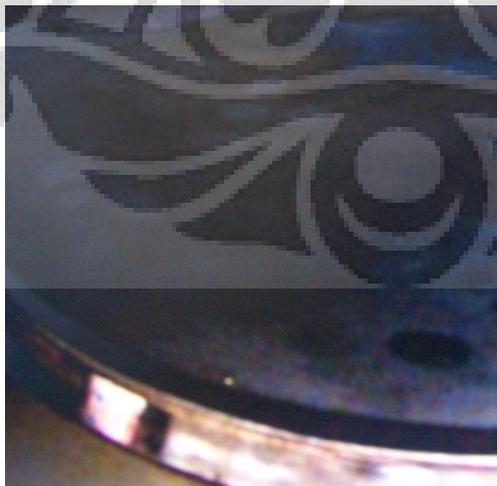
4.2.2. Kontaminasi 1%



Detik ke-34,3 Tetesan menyentuh plat, membentuk butiran hanya sebentar



Detik ke-34,9 Tetesan semakin melebar, sebagian besar menguap

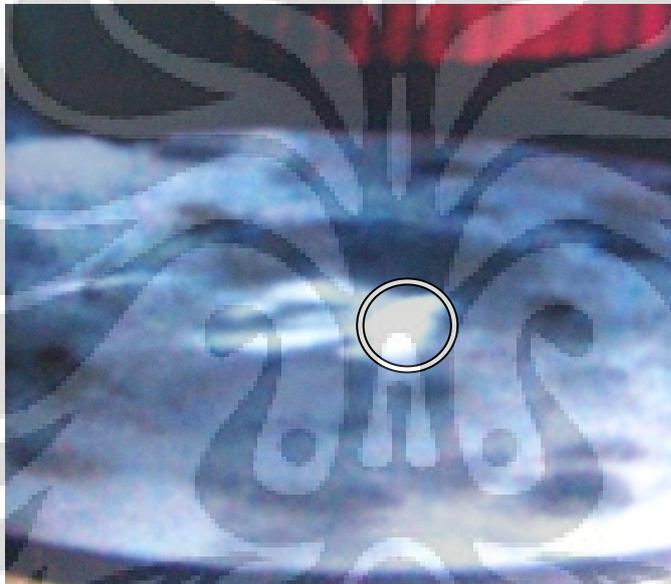


Detik ke-37,2 Tetesan menguap seluruhnya

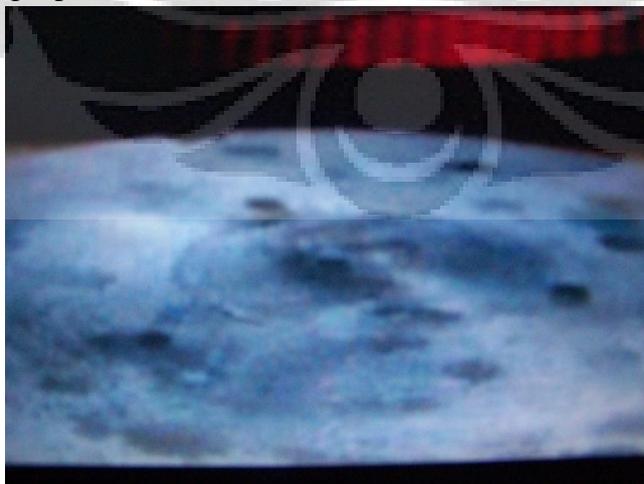
4.2.3. Kontaminasi 2%



Detik ke-7,5 Tetesan menyentuh plat, membentuk butiran

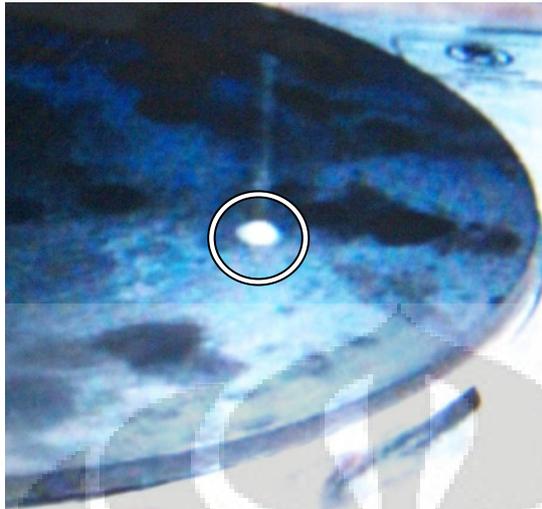


Detik ke-8,2 Tetesan melebar tidak berbentuk butiran lagi, sebagian besar menguap

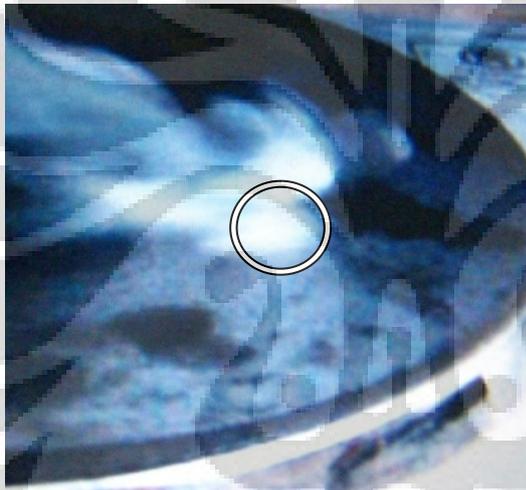


Detik ke-9,7 Tetesan menguap seluruhnya

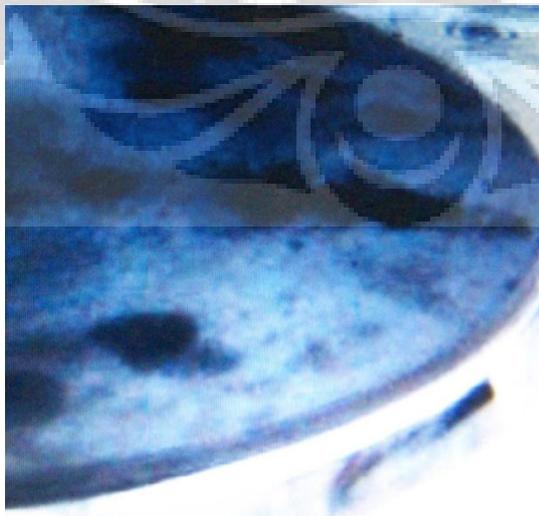
4.2.4. Kontaminasi 3%



Detik ke-5,6 Tetesan menyentuh plat, membentuk butiran

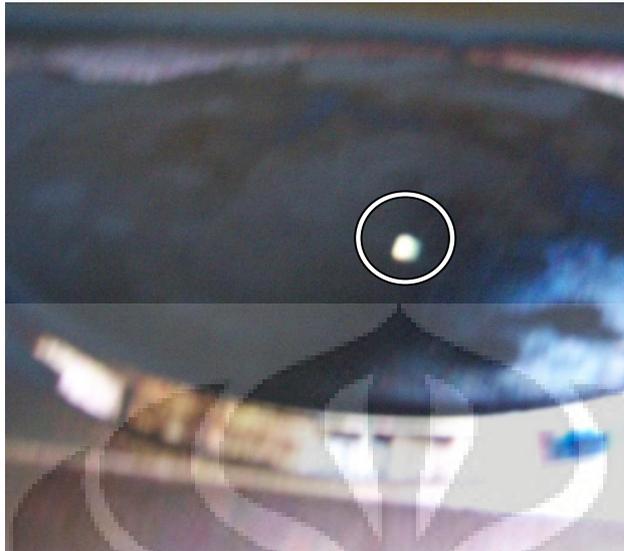


Detik ke-6,6 Tetesan melebar tidak berbentuk butiran lagi, sebagian besar menguap



Detik ke-8,9 Tetesan menguap seluruhnya

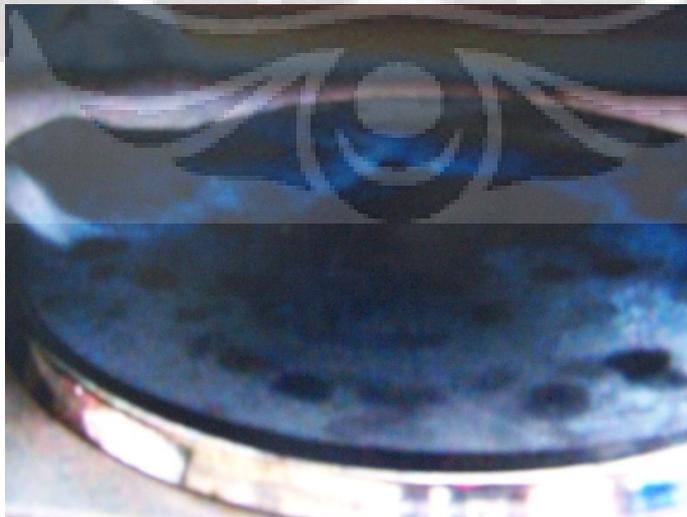
4.2.5. Kontaminasi 4%



Detik ke-1,7 Tetesan menyentuh plat, membentuk butiran



Detik ke-2,1 Tetesan menggelincir kemudian sedikit melebar, sebagian butiran menguap



Detik ke-3,8 Tetesan menguap seluruhnya

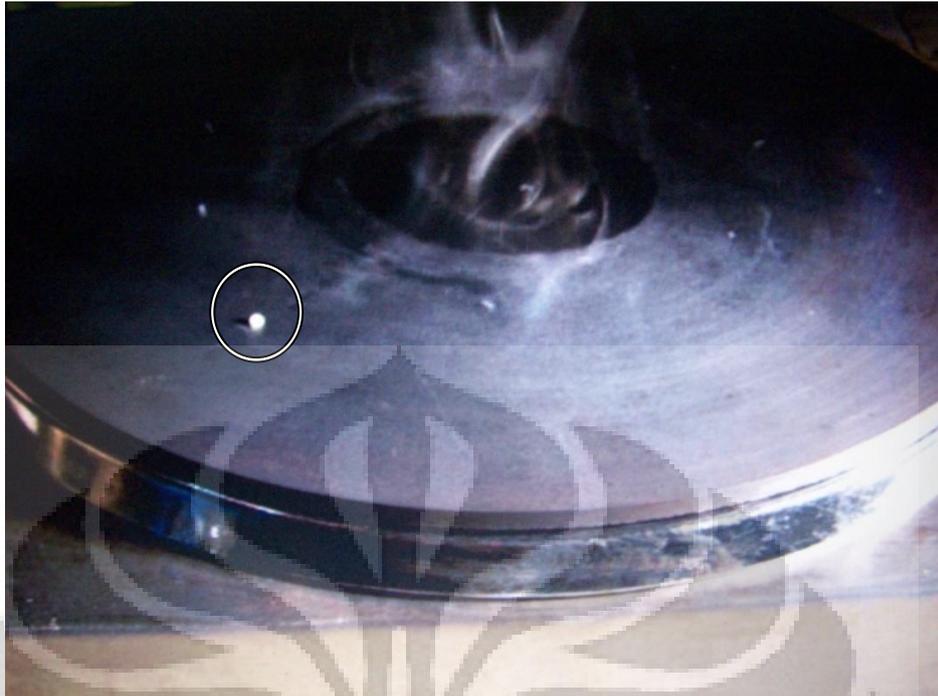
4.2.6. Kontaminasi 5%



Detik ke-2,2 Tetesan menyentuh plat



Detik ke- 2,5 Tetesan mulai menggelincir dan meloncat-loncat



Detik ke- 3,3 Volume tetesan mengecil karena terpecah menjadi beberapa butiran kecil



Detik ke-3,4 Butiran utama menghilang, butiran-butiran kecil masih bertahan dan melompat-lompat



Detik ke- 5,5 Semua butiran menguap

4.3. Analisa

4.3.1. Analisa perbedaan skala sebelum dan sesudah plat dihaluskan

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa sebelum dan sesudah plat kompor dihaluskan, interval atau skala pada knop kompor menjadi berbeda. Hal ini disebabkan oleh menipisnya permukaan kompor sehingga perpindahan panas dari elemen pemanas ke permukaan atas plat menjadi lebih cepat. Perpindahan panas secara konduksi ini dapat dituliskan sebagai:

$$q_k = k \frac{\Delta T}{L}$$

Dimana, k = koefisien konduksi

q_k = konduksi panas yang terjadi

T = Temperatur

L = Ketebalan



Gambar 4.1 Elemen Pemanas Kompor Listrik

4.3.2. Analisa fenomena tetesan pelumas

Tabel 4.1 Hasil Penelitian Pada $T = 400^{\circ}\text{C}$

Kontaminasi	<i>Lifetime</i> Butiran	<i>Lifetime</i> Melebar	<i>Lifetime</i> Total (s)	<i>Leidenfrost Effect</i>	<i>Crackle</i>
0%	0	4	4	Tidak	Tidak
1%	0.6	2.9	2.9	Sebentar	Tidak
2%	0.7	1.5	2.2	Sebentar	Tidak
3%	1	2.3	3.3	Sebentar	Tidak
4%	1.3	0.8	2.1	Ya	Tidak
5%	3.3	0	3.3	Ya	Ya

Pada Presentase 0%:

Pelumas tidak dapat membentuk butiran ketika jatuh, Pada pengujian ini tidak ada kontaminasi air pada komposisi pelumas. Hal ini sesuai dengan sifat pelumas yaitu “menempel” pada komponen mesin dan melapisinya.

Pada Presentase 1%-3%:

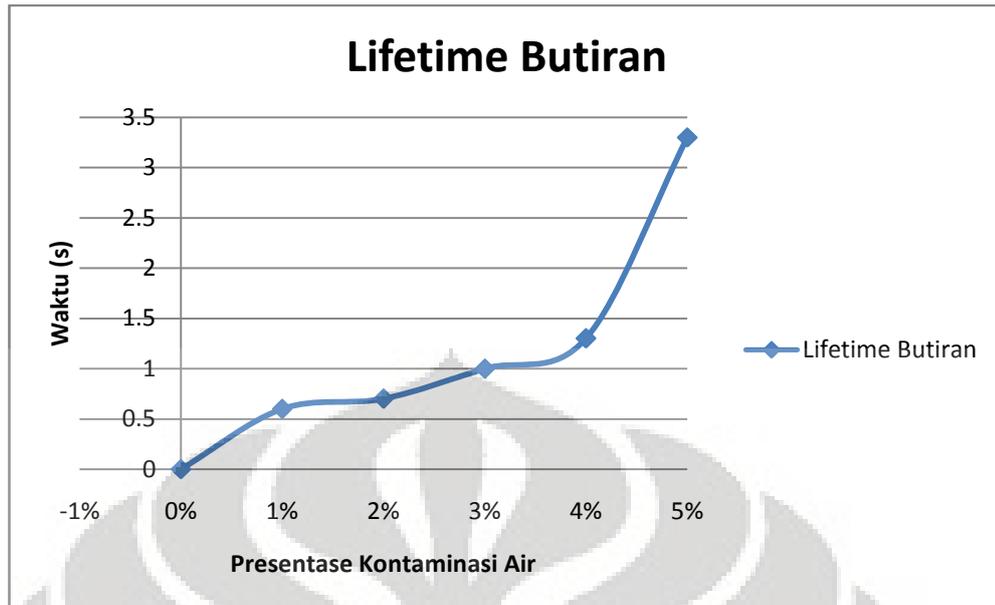
Pelumas telah membentuk butiran akan tetapi sangat singkat yaitu sesaat setelah tetesan pelumas menyentuh plat. Hal ini menunjukkan mulai adanya kontaminasi terhadap pelumas sehingga pelumas tersebut tidak dapat “menempel” dengan baik pada plat.

Pada Presentase 4%:

Pelumas dapat bertahan membentuk butiran dalam waktu yang lebih lama, 1,5 detik. Hal ini menunjukkan adanya *Leidenfrost Effect* yang terjadi. Butiran juga mulai menggelincir di atas plat (*sliding*). Gelinciran ini menunjukkan tegangan permukaan pada butiran pelumas yang telah dikontaminasi menjadi lebih besar.

Pada Presentase 5%

Butiran pelumas bertahan hingga waktu 3,3 detik diiringi dengan fenomena *sliding*. Butiran terlihat melompat meskipun tidak pada waktu yang lama ataupun ketinggian yang cukup signifikan. Namun, hal ini telah menunjukkan bahwa fenomena *crackle* telah terjadi pada pelumas yang memiliki kandungan air sebesar 5%.



Gambar 4.2 Grafik *lifetime* vs kontaminasi air

Grafik di atas menunjukkan *lifetime* dari butiran pelumas dengan kondisi kontaminasi yang berbeda-beda. Pada kondisi ideal yaitu pelumas dalam keadaan masih baru, belum terkontaminasi apa-apa, butiran tidak terbentuk. Pada saat kontaminasi air mencapai 1% butiran mulai terbentuk, hanya saja umur butiran tersebut sangat singkat, yaitu berkisar 0,6 detik. Semakin bertambah kontaminasi air maka umur butiran juga akan semakin bertambah. Dengan demikian kita dapat melihat fenomena efek *Leidenfrost* pada pelumas yang telah terkontaminasi air.

Pada pelumas yang belum dikontaminasi air, ketika ditetaskan tetesan tersebut tidak membentuk butiran melainkan langsung melebar di atas permukaan plat panas. Pada akhirnya saat kontaminasi air mencapai 5% pelumas tersebut tidak dapat melebar lagi. Hal ini memang seharusnya terjadi, dimana sifat pelumasan harus dapat menempel pada komponen mesin dan melapisinya. Pelumas yang menempel ini berfungsi melindungi komponen mesin dari kerusakan akibat adanya gesekan antar komponen. Jika pada pelumas yang kita pakai terjadi kontaminasi air, bahkan hingga komposisinya mencapai 5%, dapat kita amati bahwa butiran pelumas tersebut tidak menempel dan melebar di atas permukaan plat, melainkan butiran tersebut meluncur di atas permukaan plat. Jika pada pelumasan kendaraan atau mesin kita terjadi hal seperti itu, maka sudah dapat dipastikan komponen mesin-mesin yang kita miliki akan cepat rusak karena pelumas yang kita pakai tidak mampu menjalankan fungsinya dengan baik.

Pada setiap percobaan yang dilakukan, setiap pelumas yang ditetaskan memiliki *lifetime* total masing-masing. *Lifetime* yang dimaksud adalah waktu yang dihitung dari tetesan plat tersebut jatuh di atas plat sampai kemudian

menguap hingga habis. Menguapnya pelumas ditandai dengan asap putih tebal. Dari tabel hasil percobaan dapat kita lihat bahwa hasil *lifetime* yang didapat fluktuatif. Berdasarkan hal ini dapat kita tarik kesimpulan *lifetime* yang dimiliki tetesan tidak bergantung pada besarnya kontaminasi air, melainkan pada seberapa besar volume tetesan yang jatuh. Maka dalam hal ini perlu ditekankan agar pengujian dilakukan dengan volume tertesan yang sama besarnya. Dengan demikian diharapkan kita dapat mengamati apakah dengan volume yang sama, *lifetime* butiran akan tetap sama pada kontaminasi yang berbeda-beda.

Fenomena crackle yang kita cari dalam pengujian ini hanya muncul ketika pelumas tersebut telah terkontaminasi air sebesar 5%. Butiran yang ditetaskan tidak melebar melainkan bertahan dalam bentuk butiran. Kemudian butiran tersebut melompat diiringi dengan gerakan *sliding* di atas permukaan plat panas sebelum menguap. Pada kondisi kontaminasi 5%, butiran tersebut selain meloncat dan menggelinding juga terjadi pecahnya beberapa butiran kecil dari butiran utamanya. Hal ini ada kemungkinan juga terdapat fenomena pirolisis dalam pengujian ini.

Penggabungan dua properties dari air dan pelumas ternyata dapat memperkuat tegangan permukaan dari butiran. Hal ini dapat kita lihat pada tabel hasil percobaan. Semakin banyak kontaminasi yang dilakukan maka semakin lama butiran tersebut dapat bertahan atau dapat kita asumsikan pula tegangan permukaan dari butiran tersebut bertambah menjadi lebih kuat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur maksimum plat dapat berkurang ketika ketebalannya diperkecil sehingga tahanan panasnya menjadi lebih. Hal ini menyebabkan konduksi panas dapat terjadi lebih cepat dan temperatur maksimum akan lebih rendah.

Pengujian ini dimaksudkan sebagai salah satu pengujian untuk melihat fenomena yang terjadi apabila pelumas terkontaminasi oleh air. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai pengujian kerusakan pada pelumas. Minyak pelumas sebelum dan sesudah dikontaminasi menunjukkan perbedaan fenomena diantara keduanya. Sebelum dikontaminasi, pelumas masih dapat menempel pada permukaan plat. Hal ini memang seharusnya terjadi, karena sifat pelumasan harus dapat menempel pada komponen mesin dan melapisinya. Pelumas yang menempel ini berfungsi melindungi komponen mesin dari kerusakan akibat adanya gesekan antar komponen. Jika pada pelumas yang kita pakai terjadi kontaminasi air, bahkan hingga komposisinya mencapai 5%, hasilnya adalah butiran pelumas tersebut tidak menempel dan melebar di atas permukaan plat, melainkan butiran tersebut meluncur di atas permukaan plat. Inilah peristiwa yang terjadi pada pelumas kita jika pelumas yang kita pakai sudah terkontaminasi oleh air.

Fenomena crackle yang terjadi pada minyak pelumas yang dikontaminasi oleh air dapat terjadi disebabkan adanya perbedaan temperatur ekstrem pada permukaan butiran bagian bawah dengan permukaan lainnya. Pada saat ketika minyak pelumas ditetaskan dan mengenai permukaan plat, terjadi lompatan. Fenomena *crackle* dapat diamati pada minyak pelumas yang telah dikontaminasi air sebanyak 5%. Penambahan air pada pelumas yang telah dikontaminasi menyebabkan tegangan permukaan bertambah kuat sehingga efek *Leidenfrost* dan fenomena *crackle* dapat terjadi. Hal ini menunjukkan tegangan permukaan cairan sangat berpengaruh terhadap fenomena *crackle*. Selain itu, perlu juga diketahui bahwa daya tahan dari tetesan ditentukan oleh volume butiran yang terjatuh dan fenomena apa yang terjadi pada butiran. Jika setelah menyentuh permukaan plat butiran tersebut melebar maka daya tahan tetesan tersebut akan lebih lama.

5.2 SARAN

Fenomena crackle merupakan penelitian yang masih awal dilakukan. Hal ini menyebabkan masih ada banyak kekurangan dalam penelitiannya. Untuk itu

ada beberapa rekomendasi yang dapat diperhatikan untuk kepentingan penelitian dan pemanfaatan lebih jauh yakni :

1. Pada alat pengujian tetesan, di antaranya :
 - a. Pada plat panas : Permukaan plat panas yang digunakan untuk mengamati fenomena pembakaran tetesan dibuat sedatar mungkin tanpa ada kontur atau profil. Hal tersebut dimaksudkan agar tetesan bahan bakar tersebut tidak pecah terlebih dahulu ketika dijatuhkan. Selain itu, bagian tengah plat tersebut dibuat sedikit lebih cekung agar dapat menahan tetesan bahan bakar agar tidak menggelinding ke sisi samping plat (tertahan di bagian tengah plat) dan mampu mempertahankan efek "*Leidenfrost*" untuk beberapa saat.
 - b. Dibutuhkan *nozzle* dengan ukuran relatif kecil untuk menghasilkan tetesan, hanya saja masih tampak oleh mata (bisa menghasilkan tetesan dengan ukuran kira-kira 5 mm), sehingga jatuhnya tetesan masih dapat diamati. Selain itu, diharapkan pengujian dapat dilakukan dengan volume tetesan yang sama.
2. Kamera yang digunakan sebaiknya memiliki kecepatan tinggi. Hal ini agar pengamatan terhadap hasil uji bisa lebih baik lagi.
3. Kompor yang digunakan sebagai pengujian sebaiknya dalam keadaan baik, hal ini untuk mencegah terjadinya kesalahan dalam pengambilan data.
4. Temperatur ruangan sebaiknya juga diperhatikan karena juga mempengaruhi hasil pengujian. Selain itu, sangat penting melakukan penelitian di tempat yang tertutup. Usahakan agar tidak ada angin yang terjadi selama proses penelitian.
5. Faktor safety juga perlu diperhatikan. Hal ini disebabkan pelumas yang digunakan sebagai bahan uji terkadang memercik ke daerah sekitar kompor.

REFERENSI

- Bernardin and Mudawar. *A Cavity Activation and Bubble Growth Model of the Leidenfrost Point*. Transactions of the ASME, (Vol. 124, Oct. 2002)
- I Made Kartika D. *Diktat Perkuliahan Tribologi*.DTM FTUI (2002-2003)
- Incropera, Frank P., Dewwit, David P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 5th Ed.* (Singapore: John Wiley and Sons, 2002)
- Kosasih, Engkos A. *Perpindahan Panas dan Massa dalam Proses Penguapan Tetesan: Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan*.Ringkasan Desertasi (2006).
- Law, Chung K. *Combustion Physic*.(London:Cambridge Press, 2006)
- Shubkin, Ronald L(ed).*Synthetic Lubricants and High Performance functional fluids*.(New York: Marcell Dekker, Inc., 1993)
- Turns, Stephen R. *An Introduction to Combustion: concepts and Applications 2nd*. (Singapore: Mc-Graw Hill, 2000)

www.gudangmateri.com

www.wikipedia.org

www.volcaniclightning.tripod.com

Kode Produk 089	PERTAMINA Direktorat Hilir - Bidang Pemasaran dan Niaga	Tanggal Pembuatan : Sept 2006 Tanggal Revisi : 20/07/2006
--------------------	---	--

**LEMBAR DATA KESELAMATAN BAHAN
(MATERIAL SAFETY DATA SHEET)**

1. PRODUK DAN IDENTITAS PERUSAHAAN	
NAMA PRODUK	: Prima XP 20W-50
PRODUSEN	: PERTAMINA
	Jalan Perwira No. 4
	Jakarta Pusat Kode Pos 10110
	Telepon : 021-3814919, Faksimili : 3455344
Nomor Telepon Keadaan Darurat dalam 24 Jam	: 021-3816732
Nomor Telepon Informasi LDKB / MSDS	: 021-3815578
2. KOMPOSISI / INFORMASI KANDUNGAN BAHAN	
Nama Kimia Dan Sinonim	: Petroleum Hidrokarbon dan aditif
Kandungan Bahan-bahan berbahaya terhadap kesehatan	:
	Produk ini tidak mengandung bahan-bahan yang berbahaya bagi kesehatan sesuai dengan ketentuan dari <i>European Union Dangerous Substances / Preparations Directive</i> . Lihat 15 untuk peraturan mengenai analisis bahan. Lihat bagian 8 untuk batas pemaparan (jika ada).
3. PENGENALAN BAHAYA	
Standar Komunikasi Bahaya	:
Efek Pemaparan	: Tidak ada pengaruh yang berarti dalam jangka pendek
	Dalam jangka panjang:
	- Mata : jika dipanaskan dapat menimbulkan gangguan pada mata
	- Kulit : kontak berulang kali dapat menyebabkan iritasi dan alergi pada kulit
	- Terhirup : menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan dalam jangka panjang
Data Tanggap Darurat	: Cairan berwarna coklat
4. TATA CARA PERTOLONGAN PERTAMA	
Kontak Mata	: Bilas dengan air sebanyak-banyaknya. Jika terjadi iritasi, hubungi dokter.
Kontak Kulit	: Cucilah bagian kulit yang terkena dengan air dan sabun. Jika terkena cairan panaskan, dinginkan dengan air atau larutan garam. Gunakan mineral oil atau petroleum jelly untuk melepaskan material.
Terhirup	: Bawa ke udara segar bila terdapat gejala mencurigakan. Jika terpapar gas H ₂ S, gunakan breathing apparatus. Berikan pernapasan buatan bila perlu bawa ke dokter bila sakit berlanjut.
Tertelan	: Jika tertelan lebih dari ½ liter, berikan 1 sampai 2 gelas air, dan hubungi dokter, unit gawat darurat atau pusat pengawasan bahaya. Jangan berikan sesuatu melalui mulut yang dapat mengakibatkan muntah atau rasa mual.

Kode Produk 089	PERTAMINA Direktorat Hilir - Bidang Pemasaran dan Niaga	Tanggal Pembuatan : Sept 2006 Tanggal Revisi : 20/07/2006
--------------------	---	--

5. TATA CARA PENANGGULANGAN KEBAKARAN

Media Pemadam Kebakaran : Karbon dioksida, foam, *dry chemical* dan *water fog*
 Prosedur Khusus Pemadam Kebakaran : Air atau foam dapat menyebabkan buih. Siramlah wadah yang ada dengan air untuk menjaga agar wadah tersebut tetap dingin. Lakukan penyiraman dengan air untuk menghilangkan tumpahan. Jangan membuang sisa tumpahan ke dalam saluran air, selokan atau ke lokasi sumber air bersih (air minum).
 Alat Pelindung Khusus : Untuk kejadian kebakaran pada area yang tertutup, operator pemadam kebakaran harus menggunakan *Self Contained Breathing Aparatus* (SCBA)
 Bahaya Ledakan Dan Kebakaran Lain : Tidak ada
 Titik Nyala °C : 230 (ASTM D-92)
 Flammable limits – LEL : tidak ada
 UEL : tidak ada
 NFPA Hazard ID : Kesehatan : 0, Flammability : 1, Reaktivitas : 0

6. TATA CARA PENANGGULANGAN TUMPAHAN DAN KEBOCORAN

Catatan Prosedur : Laporkan terjadinya tumpahan sesuai dengan sistim dan prosedur yang telah ditentukan. Jika terjadi tumpahan yang diperkirakan dapat memasuki saluran air ataupun daerah aliran sungai, segera laporkan kepada petugas yang berwenang.
 Prosedur Kebocoran atau Tumpahan : Lakukan penyerapan tumpahan dengan serbuk gergaji, tanah lempung, dan bahan-bahan penghambat kebakaran lainnya. Bersihkan dan buanglah pada tempat pembuangan yang telah ditentukan.
 Pencegahan terhadap lingkungan : Cegahlah tumpahan agar tidak masuk ke dalam selokan, saluran pembuangan limbah serta ke dalam tanah.
 Pencegahan Orang : Lihat bagian 8.

7. PENANGANAN DAN PENYIMPANAN

Penanganan : Biasanya dipanaskan pada temperatur 125-185°F. Jangan terkena mata, kulit atau pakaian. Lihat bagian 8 untuk saran penggunaan alat pelindung diri pada saat menangani produk ini. Jangan terhirup uap dari material panas cuci setelah dipakai.
 Penyimpanan : Jangan disimpan pada wadah yang terbuka atau wadah tanpa label. Jauhkan dari bahan oksidator atau bahan yang mudah terbakar. Jangan disimpan pada temperatur > 185°F. jangan gunakan tekanan untuk mengosongkan wadah drum, wadah yang kosong tetap berbahaya. Jangan dilas, gerinda, ditekan atau terkena sumber panas. Petugas yang memasuki tangki penyimpanan harus mengukur kadar H₂S terlebih dahulu.

8. PENGENDALIAN PEMAPARAN / PERLINDUNGAN DIRI

Ventilasi : Secara umum tidak diperlukan ketentuan khusus untuk pengaturan ventilasi pada keadaan biasa.
 Perlindungan pernapasan : Tidak diperlukan ketentuan khusus pada keadaan biasa.
 Perlindungan mata : Gunakan alat pelindung mata. (chemical goggles dan faceshield) jika material dipanaskan.
 Perlindungan kulit : Tidak diperlukan peralatan khusus. Namun demikian, ketentuan-ketentuan untuk personal hygiene tetap harus diperhatikan.
 Batas paparan : Produk ini tidak mengandung bahan-bahan yang telah diketahui memiliki nilai ambang batas paparan. Namun demikian dapat digunakan Nilai Ambang Batas (*Threshold Limit Value*) dari uapnya yaitu 5.00 mg/m³.

Kode Produk 089	PERTAMINA Direktorat Hilir - Bidang Pemasaran dan Niaga	Tanggal Pembuatan : Sept 2006 Tanggal Revisi : 20/07/2006
--------------------	---	--

9. DATA FISIK DAN KIMIAWI

No. SAE	:		
Kinematic Viscosity at 40°C, cSt	:	176.20	(ASTM D-445)
100°C, cSt	:	19.82	(ASTM D-445)
Viscosity Index	:	130	(ASTM D-2270)
Specific Gravity, 15/4°C	:	0.8898	(ASTM D-1298)
Colour ASTM	:	3.0	(ASTM D-1500)
Flash Point (COC), °C	:	230	(ASTM D-92)
Pour Point, °C	:	-27	(ASTM D-97)
Total Base Number, mgKOH/g	:	6.05	(ASTM D-2896)

10. STABILITAS DAN REAKTIVITAS

Stabilitas (thermal, light, etc)	:	Stabil pada temperatur < 85°C dan akan melepaskan H ₂ S jika dipanaskan > 85°C lebih dari 2 hari
Keadaan / Situasi Yang Harus Dihindari	:	Panas tinggi > 85°C
Ketidaksiesuaian (Bahan Yang Harus Dihindari)	:	Oksida kuat dan asam kuat
Dekomposisi	:	- Karbon monoksida. Oksida logam. Oksida unsur. - H ₂ S (pada temperatur >85°C).

11. DATA TOKSIKOLOGI

----- TOKSIKOLOGI AKUT -----	
Toksitasitas oral	: Non-toksik ----- berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa.
Toksitasitas penghirupan	: Non-toksik ----- berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa.
Iritasi mata	: Non-iritasi ----- berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa.
Iritasi kulit	: Non-iritasi ----- berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa.
Data Toksitasitas Akut lain	: hasil toksikologi akut menunjukkan tidak ada pengaruh akut melalui pernafasan, pada saat diuji menggunakan <i>oil mist</i> maupun uapnya. Mengandung petroleum base oil yang dimurnikan dengan berbagai proses ekstraksi, hydrocracking atau hydrotreating. Tidak menyebabkan kanker sesuai OSHA 29 CFR 1910 (200).
----- TOKSIKOLOGI KRONIK -----	
	Base oil yang terkandung dalam produk ini merupakan <i>solvent refined</i> maupun <i>hydrotreated</i> . Studi yang dilakukan dengan mengoleskan produk ini pada kulit tikus tidak menunjukkan efek karsinogenik.
----- DATA TOKSIKOLOGI LAIN -----	
	Tidak mempunyai efek karsinogen menurut IARC.

12. INFORMASI EKOLOGI

Pengaruh dan kerusakan terhadap lingkungan :
Terhadap ikan Juvenile Rainbow Trout akut LC/EC50 : non-toksik ----- Berdasarkan uji terhadap bahan serupa.

13. PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN PEMBUANGAN (DISPOSAL CONSIDERATIONS)

Drum atau wadah kosong harus dibersihkan atau direkondisi sebelum dibuang, tempatkan limbah dalam kontainer dan dibuang sesuai pertauran Pemerintah.
--

Kode Produk 089	PERTAMINA Direktorat Hilir - Bidang Pemasaran dan Niaga	Tanggal Pembuatan : Sept 2006 Tanggal Revisi : 20/07/2006
--------------------	---	--

14. INFORMASI TRANSPORTASI	
USA DOT :	Tidak dinyatakan sebagai bahan berbahaya
RID/ADR :	Tidak diatur RID/ADR
IMO :	Tidak diatur IMO
IATA :	Tidak diatur IATA

15. INFORMASI PERATURAN-PERATURAN	
Berdasar U.S. Superfund Amendment dan Reauthorization Act (SARA) produk ini tidak mengandung "BAHAN-BAHAN YANG <i>EXTREMELY HAZARDOUS</i> ". SARA (313) REPORTABLE HAZARD CATEGORIES : Tidak ada.	
Produk ini mengandung bahan kimia berikut :	
NAMA KIMIA	% berat
Zinc Alkyl Dithiophosphate	0.68%
Hydrotreated Dist. Hvy para	1.67%

16. INFORMASI LAIN-LAIN	
Kondisi dan kesesuaian produk untuk penggunaan tertentu diluar jaminan perusahaan; semua resiko penggunaan produk ditanggung oleh pengguna. Tanda peringatan dan prosedur penanganan produk ini harus dimiliki oleh pengguna dan petugas yang menangani produk ini. Dilarang untuk mengganti dokumen ini, kecuali dengan persetujuan secara hukum.	