



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN FENOMENA “*CRACKLE*” PADA
BERBAGAI BAHAN BAKAR CAIR HINGGA
TEMPERATUR MAKSIMUM 500 °C**

SKRIPSI

RICKY RAFIANDI

0606073511

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN FENOMENA “*CRACKLE*” PADA
BERBAGAI BAHAN BAKAR CAIR HINGGA
TEMPERATUR MAKSIMUM 500 °C**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

RICKY RAFIANDI

0606073511

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

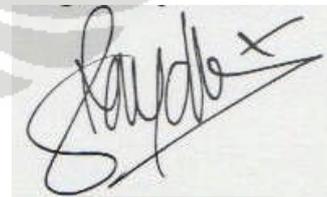
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGUJIAN FENOMENA “*CRACKLE*” PADA BERBAGAI BAHAN BAKAR CAIR HINGGA TEMPERATUR MAKSIMUM 500 °C

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik pada program studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia. Sejauh yang saya ketahui skripsi ini bukan tiruan atau duplikasi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana seharusnya.

Depok, 28 Desember 2010



NPM : 0606073511

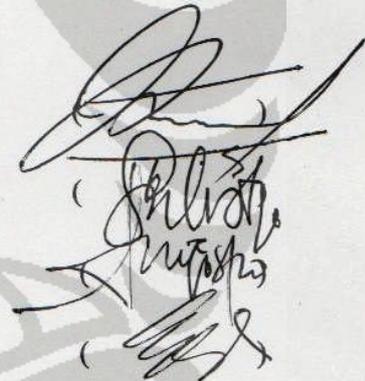
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ricky Rafiandi
NPM : 06 06 07 35 11
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengujian Fenomena “Crackle” pada Berbagai Bahan Bakar Cair hingga Temperatur Maksimum 500 °C

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari 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 : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M. Sc.
Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M. Eng
Penguji : Ir. Agung Subagio, Dipl. -Ing



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 28 Desember 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

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. 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. Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih, M. T, selaku dosen yang telah banyak membantu penulisan skripsi dengan memberikan wawasan luas mengenai perpindahan kalor dan massa,
3. Prof. Dr. Ir Yulianto S. Nugroho, M. Sc., yang telah memberikan masukan dalam penulisan skripsi ini,
4. Ayah, Ibu dan Adik yang telah memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini,
5. Arsita "Dea", teman dan sahabat yang telah membantu dan temani melalui ujian tersulit yang pernah dilalui selama ini. "*Andai bisa kubalas semua jasmu, Sahabat...*",
6. Tegar Prakoso dan Ferdy "Pday" Bastian, rekan seperjuangan untuk menuntaskan skripsi ini. "*Maaf jika saya telah banyak berbuat khilaf pada kalian...*",
7. Reza Kurnia, teman dan sahabat saya yang membantu penulisan skripsi ini dengan meminjamkan kamera SLR. "*Terima kasih untuk kameranya, Za...*",

8. Seluruh sahabat saya selama kuliah di Teknik Mesin Universitas Indonesia, di antaranya Reza Kurnia, Septian, Martha Indah R. L., Indra Pranata A., M. Muammar Faruq, Hery Prabowo, Mas Prasetyo Wibowo, dll. *“Untuk Komunitas Alay Mesin 06... Maaf jika saya belum menulis nama kalian. Hal tersebut karena terbatasnya ruang untuk menuliskan nama kalian. Walaupun begitu, nama kalian telah terukir di hati...”*
9. 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 kembali...”*
10. Keluarga besar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia termasuk di dalamnya mahasiswa, dosen, dan karyawan yang ada, dan
11. 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

Ricky Rafiandi

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

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

Nama : Ricky Rafiandi
NPM : 0606073511
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

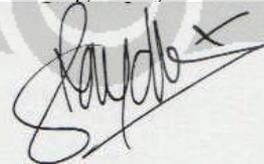
PENGUJIAN FENOMENA "CRACKLE" PADA BERBAGAI BAHAN BAKAR CAIR HINGGA TEMPERATUR MAKSIMUM 500 °C

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 : 28 Desember 2010

Yang menyatakan



(Ricky Rafiandi)

ABSTRAK

Nama : Ricky Rafiandi
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengujian Fenomena “*Crackle*” pada Berbagai Bahan Bakar Cair hingga Temperatur Maksimum 500 °C

Proses pembakaran bahan bakar cair umumnya melibatkan dua fase aliran, yaitu fase gas dan fase cair. Untuk memfasilitasi pencampuran kedua fase tersebut, bahan bakar yang terkondensasi kemudian dikabutkan dan disemprotkan pada ruang bakar. Kedua proses tersebut mengakibatkan proses pembakaran bersinggungan dengan proses pembakaran tetesan. Tetesan bahan bakar pada ruang bakar saling bertumbukan, baik dengan sesama tetesan, maupun dengan ruang bakar.

Tetesan bahan bakar yang berinteraksi dengan permukaan ruang bakar yang memiliki temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih bahan bakar tersebut dianalogikan sebagai fenomena *Leidenfrost*, di mana zat cair yang memiliki kontak dengan massa yang memiliki temperatur jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih zat cair tersebut, akan membentuk lapisan uap tipis yang mengisolasi dan menjaga agar zat cair tersebut tidak mendidih dengan cepat.

Fenomena “*Crackle*” terjadi ketika bahan bakar menumbuk sebuah permukaan kemudian ‘memantul’ dengan bobot massa yang lebih kecil dibandingkan awal tumbukan. Fenomena ini serupa dengan fenomena *Leidenfrost*, hanya saja zat cair yang digunakan adalah bahan bakar. Fenomena ini merupakan fondasi awal dari penelitian fenomena nyala api pada pembakaran tetesan. Pengujian pemunculan fenomena dilakukan dengan bahan bakar cair yang beredar di pasaran, dengan temperatur alas tumbukan maksimum 500 °C.

Kata kunci

Bahan Bakar Cair, Pembakaran Tetesan, Temperatur Didih, Leidenfrost, Crackle

ABSTRACT

Name : Ricky Rafiandi
Study Program : Mechanical Engineering
Title : “*Crackle*” Phenomenon Testing in Various Liquid Fuel up to 500 °C Maximum Temperature

Liquid fuel combustion process generally involves a two-phase flow, the gas and liquid phase. To facilitate the mixing of the two phases, the condensed fuel first atomized and sprayed in the combustion chamber. Both processes result in the combustion process is tangent to the droplet combustion process. Fuel droplets in combustion chamber collide with each other, both with fellow droplets, as well as with the engine.

Fuel droplets that interact with the surface of the combustion chamber which has a temperature higher than the boiling temperature fuel is analogous to a phenomenon *Leidenfrost*, where the liquid that has contacts with the masses who have a much higher temperature than the liquid boiling temperature, will forming a thin layer of steam that isolate and keep the liquid does not boil fast.

The phenomenon of "*Crackle*" occurs when the fuel strike a surface and then 'bounce' with the weight of mass smaller than the initial collision. This phenomenon is similar to the phenomenon *Leidenfrost*, only liquid that is used is the fuel. This phenomenon is an initial foundation of research on the phenomenon of flame in burning droplets. Tests conducted by the appearance of the phenomenon of liquid fuel on the market, with a maximum temperature of 500 °C collision mat.

Keywords

Liquid Fuel, Droplet Burning, Boiling Temperature, Leidenfrost, Crackle

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	14
1.1 Judul Penelitian.....	14
1.2 Latar Belakang Masalah.....	14
1.3 Tujuan Penulisan.....	15
1.4 Pembatasan Masalah.....	16
1.5 Metodologi Penelitian.....	16
1.6 Sistematika Penulisan.....	18
BAB II DASAR TEORI.....	19
2.1 Tetesan.....	19
2.2 Tegangan Permukaan.....	20
2.3 Gerak Jatuh Bebas.....	23
2.4 Momentum, Impuls dan Tumbukan.....	24
2.4.1 Momentum.....	24
2.4.2 Impuls.....	24
2.4.3 Kekekalan Momentum.....	26
2.4.4 Tumbukan.....	27
2.5 Perpindahan Kalor Didih.....	28
2.6 Fenomena <i>Leidenfrost</i>	31
2.7 Fenomena “ <i>Crackle</i> ”.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Peralatan yang Digunakan.....	34
3.2 Bahan yang Digunakan.....	34
3.3 Skema Penelitian.....	38
3.3.1 Persiapan.....	38
3.3.2 Pengukuran Alat Pengamatan.....	38
3.3.3 Pengambilan Data Fenomena “ <i>Crackle</i> ”.....	39

BAB IV HASIL DAN ANALISIS	41
4.1 Data Hasil Pengukuran.....	41
4.2 Analisis.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 KESIMPULAN.....	63
5.2 SARAN.....	63
REFERENSI	65
LAMPIRAN	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proses pengerjaan skripsi.....	11
Gambar 2.1 Ilustrasi pengujian tetesan.....	19
Gambar 2.2 Ilustrasi molekul air.....	21
Gambar 2.3 Tegangan permukaan yang bekerja pada permukaan kecil.....	22
Gambar 2.4 Ilustrasi gerak jatuh bebas.....	23
Gambar 2.5 Ilustrasi tumbukan.....	26
Gambar 2.6 Kurva didih.....	29
Gambar 2.7 Efek <i>Leidenfrost</i>	31
Gambar 2.8 Kurva didih air pada 1 atm.....	32
Gambar 2.9 <i>Cross section</i> dari efek <i>Leidenfrost</i>	33
Gambar 3.1 Kompor listrik.....	35
Gambar 3.2 Suntikan.....	35
Gambar 3.3 Termometer <i>infra red</i>	36
Gambar 3.4 Semprong lampu minyak.....	36
Gambar 3.5 Berbagai bahan bakar uji.....	37
Gambar 3.6 Pelumas kendaraan uji.....	37

DAFTAR SIMBOL

<i>a</i>	Percepatan	m/s^2
<i>d</i>	Diameter	m
<i>e</i>	Koefisien restitusi	-
<i>F</i>	Gaya	$kg.m/s^2$
<i>g</i>	Konstanta gravitasi	m/s^2
<i>I</i>	Impuls	$kg.m/s^2$
<i>l</i>	Panjang	m
<i>m</i>	Massa	kg
<i>p</i>	Momentum	$kg.m/s^2$
<i>T</i>	Temperatur	$^{\circ}C$ atau K
<i>t</i>	Waktu	s
<i>v</i>	Kecepatan	m/s
<i>y</i>	Posisi	m
Simbol Yunani		
α	Sudut kontak	$^{\circ}$
γ	Tegangan permukaan	kg/s^2

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbedaan kemunculan fenomena “Crackle” pada berbagai bahan bakar uji.....	54
---	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 JUDUL PENELITIAN

Pengujian Fenomena “*Crackle*” pada Berbagai Bahan Bakar Cair hingga Temperatur Maksimum 500 °C.

1.2 LATAR BELAKANG MASALAH

Sumber energi utama terbesar bagi industri hingga saat ini adalah energi yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil, baik berupa cair (minyak), gas, maupun padat seperti batubara. Energi hasil pembakaran ini dikonversikan menjadi energi mekanik (sebagai penggerak motor), energi listrik maupun energi termal yang dihasilkan pada ruang bakar.

Proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar sangat rumit dan kompleks karena melibatkan berbagai parameter, termasuk di antaranya bahan bakar, ruang bakar, dan reaksi kimia pembakaran yang terjadi. Interaksi antara bahan bakar dan ruang bakar pun mempengaruhi keberhasilan sebuah proses pembakaran. Bahan bakar yang masuk tersebut akan berinteraksi dengan ruang bakar yang memiliki temperatur tinggi.

Dalam banyak aplikasi pembakaran, bahan bakar umumnya muncul dalam fase cair (*liquid*) atau padat (*solid*). Untuk memfasilitasi pencampuran dan laju pembakaran secara keseluruhan (*overall burning rate*), bahan bakar yang terkondensasi pada awalnya dikabutkan atau dihaluskan (*pulverized*), kemudian disemprotkan atau didispersikan (disebarkan) pada ruang bakar. Hal ini menyebabkan pada perangkat pembakaran, terdapat dua fase yang terdiri dari tetesan-tetesan atau partikel-partikel bahan bakar yang terdispersi dalam gas pengoksidasi.

Pada fenomena pembakaran di dalam sebuah ruang bakar, peristiwa atomisasi atau masuknya bahan bakar dalam bentuk tetesan adalah hal yang masih terus diteliti untuk dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Pembakaran tetesan berkaitan erat dengan fenomena “*Crackle*” yang muncul akibat tumbukan bahan bakar cair dengan permukaan ruang bakar. Tetesan bahan bakar yang berinteraksi dengan permukaan ruang bakar yang memiliki temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih bahan bakar tersebut dianalogikan sebagai fenomena *Leidenfrost*, di mana zat cair yang memiliki kontak dengan massa yang memiliki temperatur jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih zat cair tersebut, akan membentuk lapisan uap tipis yang mengisolasi dan menjaga agar zat cair tersebut tidak mendidih dengan cepat.

Fenomena “*Crackle*” yang terjadi pada ruang bakar akan mempengaruhi proses pembakaran dan menyebabkan pembakaran lokal (*local ignition*). Hal ini akan menyebabkan adanya anomali temperatur pada ruang bakar dan menyebabkan kerusakan.

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 pada bahan bakar atau dikenal dengan fenomena “*Crackle*” pada beberapa bahan bakar cair, seperti minyak pelumas (oli), minyak solar, *kerosene*, *bio-ethanol* dengan kemurnian 99.5% , dan spiritus.
2. Mengetahui pengaruh temperatur pada fenomena lompatan bahan bakar atau fenomena “*Crackle*”.

3. Mengetahui hubungan fenomena “*Crackle*” dengan kemunculan nyala api pada pembakaran tetesan.

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Pembatasan masalah perlu dilakukan agar penelitian dapat lebih terfokus. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Penelitian difokuskan pada fenomena “*Crackle*” pada berbagai macam bahan bakar cair.
2. Metode untuk pemunculan “*Crackle*” adalah dengan menjatuhkanbebasan bahan bakar cair pada plat panas dengan temperatur berkisar 500 °C.
3. Fenomena “*Crackle*” pada berbagai bahan bakar cair yang telah terbentuk mendasari munculnya fenomena nyala api pada pembakaran tetesan.
4. Metode untuk pemunculan nyala api adalah dengan menjatuhkanbebasan bahan bakar pada plat panas yang merupakan keberlanjutan dari fenomena “*Crackle*”.
5. Temperatur maksimum yang digunakan sebagai pemanas plat berkisar antara 500 °C – 550 °C.
6. Tekanan yang digunakan adalah tekanan normal ruangan, yaitu 1 atm.
7. Pemberian selubung pada jalur jatuhnya tetesan bahan bakar guna mengurangi efek terbawa angin dan pendinginan plat oleh udara sekitar.
8. Ukuran tetesan bahan bakar berkisar antara 1 mm – 5 mm.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah :

1. Studi Pustaka
Melakukan penelitian berdasarkan literatur yang ada dan jurnal-jurnal penelitian mengenai fenomena ‘mengambang’ pada tetesan

zat cair pada temperatur tinggi, atau dikenal dengan nama fenomena *Leidenfrost* dan kaitannya dengan fenomena “*Crackle*” yang merupakan penelitian awal mengenai nyala api pada pembakaran tetesan.

2. Pengondisian Alat Pengambil Data

Melakukan pengondisian alat untuk mengamati kemunculan fenomena “*Crackle*” dan nyala api pada pembakaran tetesan bahan bakar sehingga didapat data yang mendukung.

3. Studi Lapangan

Melakukan penelitian, pengamatan, dan pengambilan data untuk menghasilkan fenomena “*Crackle*” dalam penelitian awal mengenai nyala api pada pembakaran tetesan.

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



Gambar 1.1 Proses pengerjaan skripsi

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 mengenai fenomena *Leidenfrost* pada proses didihan zat cair pada proses perpindahan kalor dan teori mengenai tetesan bahan bakar dan kaitannya dengan kemunculan fenomena “*Crackle*” dalam penelitian mengenai nyala api difusi pada pembakaran tetesan bahan bakar.
- Bab III** Prosedur Pengambilan Data
Bab ini berisi prosedur yang dilakukan untuk pengondisian alat dalam mengamati kemunculan fenomena “*Crackle*” serta parameter yang berperan dalam kemunculannya.
- Bab IV** Hasil dan Analisis
Bab ini membahas hasil-hasil yang didapat ketika penelitian dan pengamatan kemunculan fenomena “*Crackle*” dan parameter fisik yang terjadi.
- Bab V** Kesimpulan dan Saran
Bab ini membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian dan pengamatan mengenai fenomena *Leidenfrost* dan kaitannya dengan fenomena “*Crackle*” dan saran untuk penelitian lebih lanjut mengenai nyala api difusi pada pembakaran tetesan.

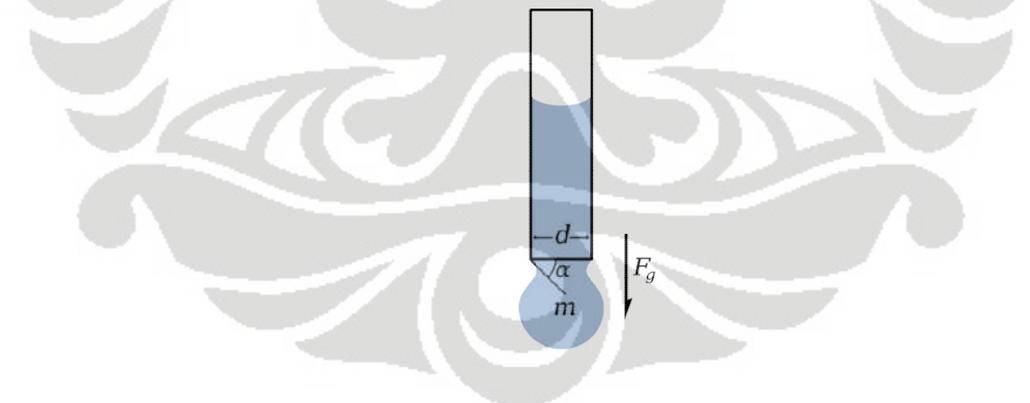
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TETESAN

Tetesana merupakan sebuah ‘kolam’ kecil dari sebuah zat cair, yang dibatasi hampir seluruhnya atau bahkan seluruhnya oleh sebuah permukaan bebas. Tetesan dapat terbentuk ketika sebuah zat cair terakumulasi pada sebuah permukaan menghasilkan sebuah ‘bandul’ tetesan. Tetesan juga dapat terbentuk dari kondensasi uap atau atomisasi dari zat cair yang memiliki massa yang cukup besar.

Cara sederhana untuk membuat sebuah tetesan adalah dengan membiarkan zat cair mengalir perlahan dari ujung bawah sebuah tabung vertikal berdiameter kecil. Tegangan permukaan dari zat cair tersebut menyebabkan zat cair tersebut menggantung dan membentuk seperti bandul. Ketika ukuran tetesan tersebut melebihi ukuran tertentu, maka tetesan tersebut akan mulai tidak stabil dan kemudian untuk beberapa saat akan terjatuh. Hal tersebut disebabkan oleh tetesan tersebut tidak mampu lagi menahan tegangan permukaan.



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.

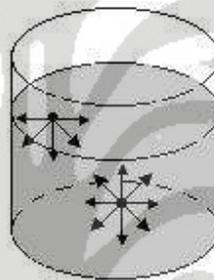
2.2 TEGANGAN PERMUKAAN

Tegangan permukaan merupakan fenomena yang terjadi pada zat cair yang berada dalam keadaan diam (statis). 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. Tegangan fluida ini bekerja paralel terhadap permukaan dan muncul dari adanya gaya tarik menarik antara molekulnya.

Tegangan permukaan, γ , didefinisikan sebagai gaya, F per satuan panjang, l yang bekerja tegak lurus pada setiap garis di permukaan fluida.

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (\text{Persamaan } 2.4)$$

Tegangan permukaan terjadi karena permukaan zat cair cenderung untuk menegang sehingga permukaannya tampak seperti selaput tipis. Hal ini dipengaruhi oleh adanya gaya kohesi antara molekul air.

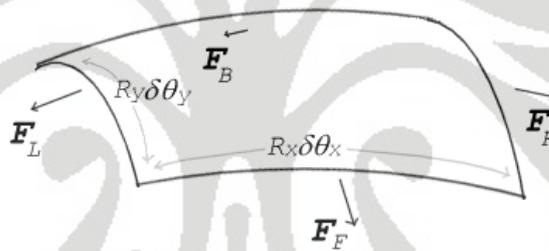


Gambar 2.2 Ilustrasi molekul air

Gambar di atas menunjukkan molekul air. Molekul zat cair biasanya saling tarik menarik. Di bagian dalam zat cair, setiap molekul cairan dikelilingi oleh molekul-molekul lain di setiap sisi. Akan tetapi, di permukaan zat cair, hanya ada molekul-molekul zat cair di samping dan bawah. Di bagian atas tidak ada molekul zat cair lainnya. Disebabkan oleh molekul tersebut saling tarik-menarik satu dengan lainnya, maka terdapat gaya total yang besarnya nol pada molekul yang berada di bagian dalam zat cair. Sebaliknya, molekul zat cair yang terletak di permukaan ditarik oleh molekul cairan yang berada di samping dan bawah. Oleh sebab itu, pada permukaan zat cair terdapat gaya total yang berarah ke bawah. Disebabkan oleh gaya total yang berarah ke bawah tersebut, maka zat cair yang terletak di permukaan cenderung memperkecil luas permukaannya dengan menyusut sekuat mungkin. Hal ini yang menyebabkan lapisan cairan pada permukaan seolah-olah tertutup oleh

selaput elastis yang tipis. Fenomena ini yang kemudian dikenal sebagai tegangan permukaan.

Jika tidak ada gaya yang bekerja normal terhadap 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:

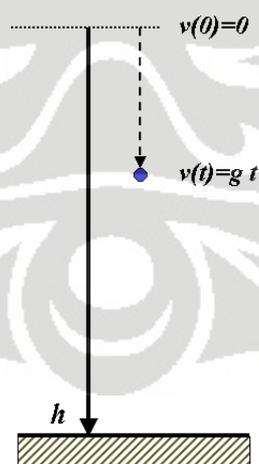
t adalah waktu (s)

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.

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

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

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)

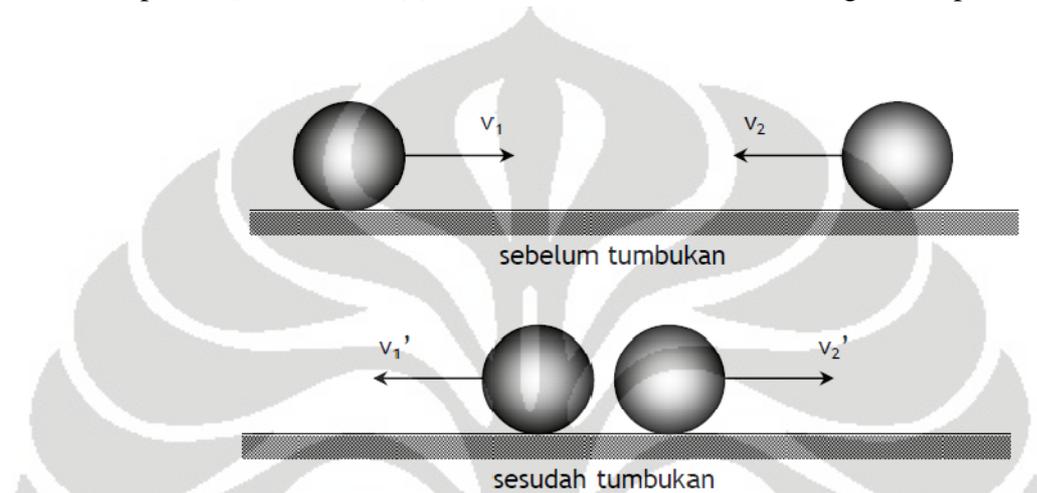
Δt = selang waktu (s)

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

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

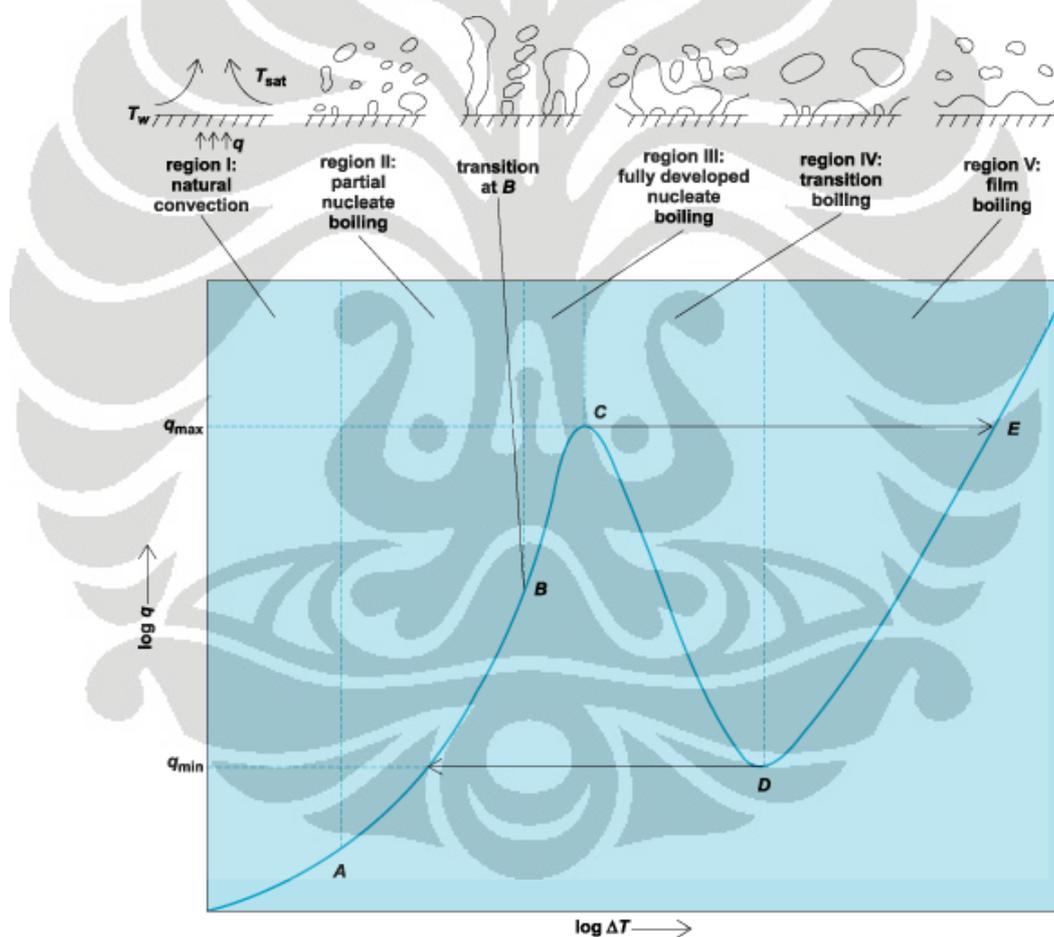
Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, jumlah energi kinetik benda sesudah tumbukan lebih kecil dibanding jumlah energi kinetik benda sebelum tumbukan. Pada tumbukan ini terjadi pengurangan energi kinetik. Nilai koefisien restitusi pada tumbukan tidak lenting sama sekali adalah nol ($e = 0$). Sehingga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

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

2.5 FENOMENA *LEIDENFROST*

Fenomena *Leidenfrost* merupakan sebuah fenomena yang muncul ketika zat cair bersinggungan dengan massa yang secara signifikan memiliki temperatur yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih zat cair tersebut, sehingga menghasilkan lapisan uap yang mengisolasi dan menjaga zat cair tersebut agar tidak mendidih dengan cepat. Fenomena ini kerap kali ditemui ketika memasak. Tetesan air dipercikkan ke dalam wajan (plat) untuk memperkirakan temperatur permukaan plat tersebut. Jika temperatur plat berada pada atau di atas temperatur *Leidenfrost*, maka tetesan air tersebut akan seperti ‘meluncur’ di atas permukaan plat dan akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menguap dibandingkan dengan jika tetesan air tersebut dipercikkan pada permukaan plat yang memiliki temperatur dekat dengan temperatur didih air dan di bawah temperatur *Leidenfrost*.

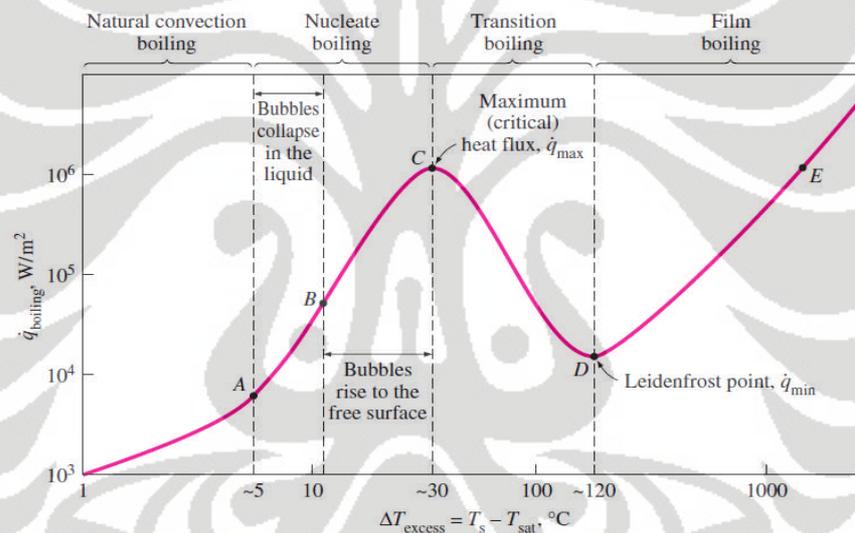


Gambar 2.7 Efek *Leidenfrost*. Gambar diambil dari <http://www.popsoci.com>

Efek ini untuk kali pertama diperkenalkan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Jerman, Johann Gottlob Leidenfrost sekitar tahun 1756 dalam *A Tract About Some Qualities of Common Water*.

Efek *Leidenfrost* muncul ketika fase didih film pada proses didih kolam. Efek ini dapat terlihat ketika tetesan air yang dijatuhkan ke dalam sebuah wajan (plat) yang dipanaskan. Ketika temperatur permukaan plat di bawah 100 °C (212 °F), tetesan air

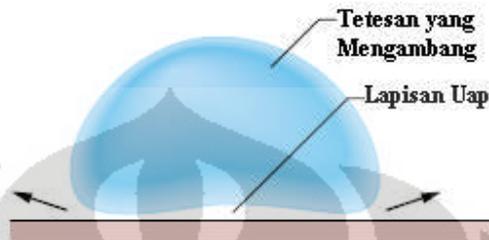
hanya meluap dan secara perlahan menguap. Ketika temperatur permukaan plat meningkat hingga di atas 100 °C (212 °F), yang merupakan temperatur didih air, tetesan air yang dijatuhkan akan ‘mendesis’ ketika menyentuh permukaan plat dan menguap dengan relatif cepat. Kemudian, disebabkan temperatur meningkat melampaui temperatur *Leidenfrost* maka efek *Leidenfrost* akan muncul. Saat efek ini terjadi, tetesan air tidak menguap dengan cepat ketika bersentuhan dengan permukaan wajan. Tetesan air tersebut berdekatan menjadi seperti bola air kecil dan bergerak dengan cepat, yang berlangsung lebih lama dibandingkan ketika temperatur jauh lebih rendah. Efek ini berlangsung hingga temperatur yang jauh lebih tinggi dan tetesan tersebut akan lebih cepat menguap dibandingkan saat terjadi efek *Leidenfrost*.



Gambar 2.8 Kurva didih air pada 1 atm. Diambil dari *Heat transfer a Practical Approach 2nd Edition* (Yunus A. Cengel)

Efek *Leidenfrost* dapat muncul disebabkan karena pada temperatur *Leidenfrost*, ketika tetesan air menyentuh permukaan plat panas, bagian bawah tetesan air tersebut menguap dengan cepat ketika untuk kali pertama bersinggungan. Gas yang dihasilkan pada proses tersebut menahan sisa tetesan air yang berada di atasnya dan mencegah singgungan antara tetesan air dengan permukaan plat panas. Hal ini berdampak pada menurunnya laju perpindahan kalor di antara kedua benda

tersebut. Hal ini pula yang menyebabkan tetesan air tampak ‘meluncur’ di atas permukaan plat panas dengan lapisan gas di bawah tetesan tersebut.



Gambar 2.9 Cross Section dari efek *Leidenfrost*.

Gambar diambil dari http://www.wiley.com/phy/halliday320005/pdf/leidenfrost_essay.pdf

Temperatur ketika efek *Leidenfrost* muncul tidak dapat diperkirakan dengan tepat. Bahkan jika volume tetesan zat cair tersebut tetap sama, titik *Leidenfrost* akan sangat mungkin berbeda, bergantung pada tingkat kerumitan permukaan dan pengotor (*impurities*) dalam sebuah zat cair. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memodelkan teori sistem, tetapi hasilnya tetap saja sangat rumit. Sebagai estimasi, titik *Leidenfrost* pada sebuah tetesan air berada pada temperatur 190 °C (374 °F).

2.6 FENOMENA “CRACKLE”

Fenomena “*Crackle*” merupakan sebuah fenomena yang muncul pada bahan bakar cair yang dijatuhkan pada sebuah permukaan yang dipanaskan dengan memperhatikan parameter temperatur dan tekanan. 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. 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.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium *Thermodynamic Research Group Flame and Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh jatuhnya tetesan pada plat panas terhadap kemunculan fenomena “*Crackle*” dan nyala api menggunakan bahan bakar minyak, di antaranya adalah minyak diesel, minyak tanah, spiritus dan *bio-ethanol* dengan kemurnian 99.5%.

3.1 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan dalam metode penelitian ini antara lain :

1. Kamera, dengan spesifikasi merk Nikon D5000, lensa AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3, 5-5, 6G VR.
2. Kompor listrik jenis *Hot Plate*, dengan spesifikasi daya = 900 Watt dan voltase = 220 V - 240 V,
3. Selubung lampu minyak (semprong) : $h = 240 \text{ mm}$, $d_{\text{bawah}} = 70 \text{ mm}$, $d_{\text{atas}} = 48 \text{ mm}$,
4. Suntikan sebagai media pembuat tetesan bahan bakar, dengan spesifikasi merk *Terumo*, ukuran 0.45 x 13 mm, 1 cc/mL,
5. *Stopwatch*,
6. Termometer *Infra-Red*, dengan spesifikasi *Input 9 V DC*, *Output < 1 mW*, dan *Wavelength 630-670 nm*.

3.2 BAHAN YANG DIGUNAKAN

Bahan utama yang digunakan adalah beberapa bahan bakar cair dan pelumas kendaraan, di antaranya adalah:

1. Minyak diesel,
2. Minyak tanah (*kerosene*),

3. *Bio-ethanol* dengan kemurnian 99.5%,
4. Spiritus,
5. Minyak pelumas kendaraan bermotor, yaitu pelumas *Pertamina Prima XP SAE 20W-50*

Berikut ini merupakan gambar peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian:



Gambar 3.1 Kompor listrik



Gambar 3.2 Suntikan



Gambar 3.3 Termometer *infra-red*



Gambar 3.4 Semprong lampu minyak



Gambar 3.5 Berbagai bahan bakar uji



Gambar 3.6 Pelumas kendaraan uji

3.3 SKEMA PENELITIAN

3.3.1 PERSIAPAN

Pada tahap persiapan, dilakukan pengondisian terhadap alat pengamatan, yaitu berupa:

1. Perataan permukaan plat kompor.

Kompor yang digunakan pada penelitian ini memiliki permukaan yang berkontur. Permukaan berkontur akan menyebabkan bentuk tetesan pecah dan tidak mampu bertahan dalam bentuk seperti bola ketika dijatuhkan. Pengamatan fenomena “*Crackle*” dan nyala api pada tetesan bahan bakar yang tidak memiliki bentuk tersebut akan sulit tercapai. Oleh karena itu, permukaan plat harus diratakan terlebih dahulu guna mempertahankan bentuk tetesan seperti bola untuk periode waktu tertentu.

2. Pemberian skala pembacaan pada knob pengatur temperatur plat.

Kompor ini memiliki cara kerja dengan memanaskan plat datar dengan elemen pemanas. Kalor akan berpindah ke plat dengan cara konduksi. Ketika elemen pemanas aktif, maka lampu indikator pada kompor tersebut akan menyala. Ketika mencapai temperatur tertentu, elemen pemanas akan berhenti bekerja ditandai dengan padamnya lampu indikator. Untuk mengaktifkan elemen pemanas dan menaikkan temperatur kembali, knob diputar perlahan hingga lampu indikator kembali menyala. Awal untuk kali pertama lampu indikator menyala diberikan tanda. Metode ini dianggap sebagai satu interval dan menjadi dasar pembuatan skala pembacaan berikutnya pada knob pengatur temperatur.

3.3.2 PENGUKURAN ALAT PENGAMATAN

Pada tahap ini, dilakukan pengukuran temperatur kerja permukaan plat kompor sebagai media pengamatan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik alat pengamatan dan hubungannya dengan fenomena yang akan diamati. Metode yang dilakukan adalah:

1. Siapkan termometer *infra-red* dan *stopwatch*,

2. Nyalakan kompor listrik, dengan memutar knop pada posisi *on*,
3. Putar knop pengatur temperatur yang telah diberikan skala pembacaan hingga interval pertama, ditandai dengan lampu untuk kali pertama menyala,
4. Hitung waktu yang dibutuhkan dari lampu indikator menyala hingga lampu mati kembali,
5. Jika lampu indikator telah mati, ukur dan catat nilai temperatur pada permukaan plat tersebut dengan termometer *infra-red*,
6. Putar knop pengatur temperatur hingga interval berikutnya,
7. Ulangi prosedur hingga mencapai interval terakhir.

3.3.3 PENGAMBILAN DATA FENOMENA “*CRACKLE*”

Pada tahap ini, dilakukan pengamatan tentang kemunculan fenomena “*Crackle*”. Pengamatan ini dilakukan dengan mengamati secara langsung dengan kasat mata dan dengan bantuan kamera untuk merekam fenomena yang tampak. Tahap pengamatan ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengamatan yang dilakukan sebelum dan setelah perataan permukaan plat. Tujuannya adalah untuk mengetahui bentuk tetesan yang dijatuhkan pada kedua permukaan dan efek yang terjadi. Berikut merupakan prosedur yang dilakukan ketika melakukan pengamatan fenomena “*Crackle*” sebelum dilakukan perataan permukaan plat.

1. Nyalakan kompor listrik,
2. Putar knop pada posisi *on*,
3. Siapkan tabung kaca atau semprong. Putar knop interval dari interval awal,
4. Letakan selubung di atas permukaan plat pemanas pada kompor. Semprong ini bertujuan untuk mengurangi hambatan udara, disebabkan massa tetesan yang begitu kecil, hingga rentan terbawa angin. Selain itu untuk mencegah efek pendinginan terlalu cepat pada permukaan plat.
5. Teteskan spiritus melalui bagian atas selubung dengan media suntikan secara perlahan,
6. Amati tetesan yang menumbuk permukaan plat,
7. Ulangi prosedur hingga knop interval terakhir,

8. Ulangi percobaan dengan menggunakan *bio-ethanol*, minyak tanah (*kerosene*), minyak diesel, dan minyak pelumas.

Setelah dilakukan perataan pada permukaan plat tersebut, ulangi prosedur di atas dan rekam gambar menggunakan kamera. Dengan menggunakan kamera tersebut, dapat diketahui perubahan tetesan setiap detik (kamera dapat menangkap gambar hingga 24 *frame per second*).



BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 DATA HASIL PENGUKURAN

Tabel di bawah ini adalah tabel yang memuat pengukuran data temperatur permukaan plat kompor *hot plate*. Selain temperatur, data yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur pada permukaan plat kompor tersebut. Tujuan pengukuran ini adalah mengetahui karakteristik pemanasan plat pada kompor sebagai media pengamatan fenomena yang sedang diteliti. Pengukuran diawali dengan mengukur interval temperatur yang dimiliki oleh kompor listrik dan waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dari satu interval ke interval berikutnya. Data hasil pengukuran temperatur, dan waktu untuk menaikkan temperatur tiap interval pada permukaan plat kompor ini dilakukan sebelum dan setelah dilakukan perataan pada permukaan plat.

Jumlah datum yang diambil selama pengukuran berjumlah tiga puluh, dengan separuh data pengukuran diambil ketika plat masih memiliki kontur dan separuh lagi ketika plat tersebut telah dilakukan perataan permukaan. Berikut merupakan data hasil pengukuran.

a. Sebelum perataan permukaan

Tabel hasil pengukuran 1

Temperatur permukaan awal = 28.9 °C

Interval	Temperatur (°C)	Temperatur (K)	Waktu (s)
1	158.7	431.85	98.1
2	253.7	526.85	123.3
3	321.5	594.65	126.8
4	363.4	636.55	104.9
5	387.9	661.05	100.3
6	413.7	686.85	118.4
7	446.3	719.45	157.3
8	464.7	737.85	192.5
9	502.7	775.85	343.5

Tabel hasil pengukuran 2

Temperatur permukaan awal = 31.6 °C

Interval	Temperatur (°C)	Temperatur (K)	Waktu (s)
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

Tabel hasil pengukuran 3

Temperatur permukaan awal = 27.8 °C

Interval	Temperatur (°C)	Temperatur (K)	Waktu (s)
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

Tabel hasil pengukuran 4

Temperatur permukaan awal = 28.7 °C

Interval	Temperatur (°C)	Temperatur (K)	Waktu (s)
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

Tabel hasil pengukuran 5

Temperatur permukaan awal = 31.2 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	141.9	415.05	105
2	276.2	549.35	157.4
3	342.1	615.25	140.2
4	399.6	672.75	123.5
5	429.9	703.05	141.8
6	433.9	707.05	89
7	451.1	724.25	154
8	482	755.15	209.6
9	502.8	775.95	274.4

Tabel hasil pengukuran 6

Temperatur permukaan awal = 28.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 7

Temperatur permukaan awal = 31.1 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 8

Temperatur permukaan awal = 31.3 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 9

Temperatur permukaan awal = 30.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 10

Temperatur permukaan awal = 27.4 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 11

Temperatur permukaan awal = 28.8 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 12

Temperatur permukaan awal = 30.7 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 13

Temperatur permukaan awal = 29.8°C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 14

Temperatur permukaan awal = 32.1 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 15

Temperatur permukaan awal = 30.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

b. Setelah dilakukan perataan permukaan plat

Tabel hasil pengukuran 16

Temperatur permukaan awal = 28.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 17

Temperatur permukaan awal = 30.2 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 18

Temperatur permukaan awal = 33.2 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 19

Temperatur permukaan awal = 28.9 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 20

Temperatur permukaan awal = 29.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 21

Temperatur permukaan awal = 28.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 22

Temperatur permukaan awal = 30.7 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 23

Temperatur permukaan awal = 28.9 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 24

Temperatur permukaan awal = 31.1 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 25

Temperatur permukaan awal = 28.4 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 26

Temperatur permukaan awal = 29.8 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 27

Temperatur permukaan awal = 29.8 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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

Tabel hasil pengukuran 28

Temperatur permukaan awal = 30.8 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	99.2	372.35	88.75
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	129.15
7	424.5	697.65	125.56
8	466.6	739.75	191.62

Tabel hasil pengukuran 29

Temperatur permukaan awal = 30.6 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°C)	Temp. Perm. Plat (K)	Waktu (sekon)
1	92.3	365.45	88.75
2	212.8	485.95	113.62
3	292.7	565.85	111.6
4	351.9	625.05	91.21
5	368.4	641.55	105.25
6	387.2	660.35	129.15
7	427.4	700.55	125.56
8	482.7	755.85	191.62

Tabel hasil pengukuran 30

Temperatur permukaan awal = 28.9 °C

Interval	Temp. Perm. Plat (°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	109.46
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 ANALISIS

Perataan permukaan plat pada penelitian ini bertujuan agar tetesan yang jatuh dan menumbuk permukaan plat tidak pecah terlebih dahulu sebelum terjadi efek *Leidenfrost* dan fenomena “*Crackle*”. Jika tetesan menumbuk permukaan yang memiliki kontur, maka tetesan tersebut akan pecah, seperti halnya yang terjadi pada balon jika ditusuk dengan jarum. Tetesan tersebut akan langsung meluap dan hanya akan terjadi penguapan.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur pada permukaan plat yang dilakukan sebelum dan setelah perataan, diketahui bahwa perataan permukaan plat mengakibatkan penurunan kalor yang dikonduksikan, sehingga interval pada knop plat tersebut bergeser. Hal tersebut diakibatkan oleh hilangnya profil atau kontur pada permukaan plat yang berfungsi sebagai pembuang kalor ke udara (prinsip kerja serupa dengan *heat sink*). Selain itu, permukaan yang datar mempercepat terjadinya konveksi secara alami oleh udara, sehingga jangkauan interval knop menjadi berubah. Dengan adanya konveksi ilmiah ini mengakibatkan adanya gradien temperatur yang cukup tinggi di atas permukaan plat, sehingga dengan jarak sekitar beberapa milimeter dari permukaan plat, maka temperatur akan turun secara drastis, walaupun temperatur permukaan plat jauh melebihi temperatur nyala bahan bakar uji. Hal ini menjadi salah satu penyebab belum munculnya fenomena nyala api sebagai efek lanjut dari fenomena “*Crackle*”. Tetesan bahan bakar yang memantul dari plat tidak langsung menyala akibat belum terpenuhinya energi aktivasi yang disediakan oleh kalor dari plat. Untuk beberapa saat, pada interval tertentu, bahan bakar akan berdiam dan menggenang membentuk seperti ‘kolam’ di atas permukaan plat. Bahan bakar tersebut akan bertahan untuk sementara waktu karena terbentuk lapisan (*film*) pada bagian luar bahan bakar. Hal ini yang kemudian dikenal sebagai efek *Leidenfrost*, yang kerap muncul pada pendidihan air secara didih kolam (*pool boiling*) pada temperatur yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur jenuh air tersebut.

Pada penelitian ini, tetesan bahan bakar yang sempat mengalami fenomena “*Crackle*” untuk sesaat berhenti ‘memantul’ dan diam di atas plat. Kemudian tetesan

bahan bakar tersebut kembali ‘memantul’ dan meledak dengan ukuran kecil (sebagai letupan). Hanya saja fenomena ini hanya bisa ditemui pada bahan bakar dengan rantai karbon yang rendah, yaitu spiritus dan *bio-ethanol*. Ledakan kecil atau letupan tersebut merupakan salah satu indikator sebuah pembakaran. Hanya saja disebabkan pada penelitian ini hanya digunakan kamera biasa, maka nyala api pada tetesan bahan bakar tersebut belum tampak.

Pantulan yang terjadi pada fenomena ini disebabkan selain oleh tumbukan, ketika terjadi pada temperatur “*Leidenfrost*”, tetesan bahan bakar menyentuh permukaan plat yang panas, sehingga tekanan di bagian bawah permukaan tetesan akan menjadi lebih tinggi daripada bagian atas permukaan tetesan. Tekanan yang tinggi pada bagian bawah permukaan tetesan tersebut akan membuat dorongan ke atas pada tetesan akibat mencari keseimbangan tekanan. Hingga tetesan bahan bakar tersebut akan terangkat ke udara. Setelah mencapai keseimbangan, tetesan tersebut akan turun kembali dan menyentuh permukaan plat akibat gaya berat yang dimiliki oleh tetesan bahan bakar tersebut.

Untuk bahan bakar uji lain, seperti minyak pelumas, minyak diesel, dan *kerosene*, yang memiliki rantai karbon lebih panjang, fenomena yang terjadi adalah hanya penguapan tanpa terjadi fenomena “*Crackle*” ataupun fenomena nyala api. Ketiga bahan bakar cair tersebut tidak mengalami “*Crackle*” disebabkan karena tegangan permukaan yang dimiliki cukup kecil, sehingga, ketika dijatuhkan, tetesan ketiga bahan bakar tersebut langsung pecah dan menguap tanpa sempat ‘memantul’. Energi aktivasi ketiga bahan bakar cair tersebut pun sangat tinggi, sehingga sangat sulit untuk menghasilkan nyala api hanya dengan plat panas tanpa mempertimbangkan tekanan. Apabila parameter tekanan disertakan dalam pengondisian alat, maka dimungkinkan fenomena “*Crackel*” dan nyala api dapat terlihat.

Berikut ini merupakan tabel perbedaan fenomena yang terjadi pada berbagai bahan bakar dan pelumas kendaraan uji.

Parameter	Spiritus	Bio-ethanol	Kerosene	Minyak Diesel	Pelumas
1	Hanya meluap dan menguap dengan agak lambat, tanpa menghasilkan asap	Hanya meluap dan menguap dengan agak lambat, tanpa menghasilkan asap	Hanya meluap dan menguap dengan agak lambat, tanpa menghasilkan asap	Hanya meluap dan menguap dengan agak lambat, tanpa menghasilkan asap	Masih menggumpal dan menguap dengan lambat, tanpa menghasilkan asap
2	Mulai terlihat efek <i>Leidenfrost</i> , hanya saja dalam waktu singkat, kemudian menguap	Mulai terlihat efek <i>Leidenfrost</i> , hanya saja dalam waktu singkat, kemudian menguap	Menguap dan mulai menghasilkan asap dengan intensitas sedikit	Menguap dengan agak cepat dan mulai menghasilkan asap, dengan intensitas asap lebih banyak daripada <i>kerosene</i>	Gumpalan mulai meluap dan menguap
3	Muncul efek <i>Leidenfrost</i>	Muncul efek <i>Leidenfrost</i>	Menguap dan mendesis dan menghasilkan asap lebih banyak dibandingkan proses sebelumnya	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan mulai meluap dan menguap serta mengeluarkan asap
4	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Menguap dengan cepat dan menghasilkan asap dengan intensitas tebal	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan meluap dan menguap serta mengeluarkan asap
5	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Menguap dengan cepat dan menghasilkan asap dengan intensitas tebal	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan meluap dan menguap serta mengeluarkan banyak asap
6	Muncul efek <i>Leidenfrost</i>	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Muncul efek <i>Leidenfrost</i> , hanya saja sesaat kemudian menguap	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan meluap dan menguap serta mengeluarkan banyak asap
7	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat, dan fenomena <i>Crackle</i> mulai dapat terlihat	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat	Masih terjadi efek <i>Leidenfrost</i> , hanya saja sesaat kemudian menguap	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan meluap dan menguap serta mengeluarkan banyak asap
8	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat, dan fenomena <i>Crackle</i> dapat terlihat	Efek <i>Leidenfrost</i> masih terlihat, dan fenomena <i>Crackle</i> mulai terlihat	Masih terjadi efek <i>Leidenfrost</i> , hanya saja sesaat kemudian menguap	Menguap dengan cepat dan menghasilkan banyak asap	Gumpalan meluap dan mendidih kemudian menguap serta mengeluarkan asap

Tabel 4.1 Perbedaan kemunculan fenomena “*Crackle*” pada berbagai bahan bakar uji

Berikut ini merupakan gambar yang disunting dari video pengamatan fenomena yang terjadi pada berbagai bahan bakar dan pelumas kendaraan uji pada penelitian ini.

Pada spiritus:



Tetesan spiritus yang mengalami efek *Leidenfrost* ketika untuk kali pertama menyentuh permukaan plat.



Diameter tetesan spiritus terus mengalami penyusutan secara perlahan ketika mengalami efek *Leidenfrost*.



Diameter tetesan spiritus tampak semakin mengecil dan masih terlihat 'mengambang' di atas permukaan plat akibat efek *Leidenfrost*. Sesaat kemudian muncul fenomena "*Crackle*", yaitu ketika tetesan tersebut tampak seperti melompat.



Tetesan spiritus yang mengalami fenomena "*Crackle*" sesaat sebelum mengalami letupan.

Pada *bio-ethanol* 99.5%



Tetesan *bio-ethanol* yang mengalami efek *Leidenfrost* tampak “menari” di permukaan plat.



Tetesan *bio-ethanol* mengalami fenomena “*Crackle*” dengan diameter yang cukup kecil namun masih kasat mata.



Tetesan *bio-ethanol* sesaat sebelum mengalami letupan akibat efek lanjut dari fenomena “*Crackle*”.

Pada minyak tanah (*kerosene*)



Tetes *kerosene* yang dijatuhkan pada permukaan plat dengan temperatur yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur didih bahan bakar tersebut, hanya sesaat menghasilkan efek *Leidenfrost* kemudian hanya terjadi evaporasi.



Evaporasi dari bahan bakar *kerosene* tersebut menghasilkan asap dengan intensitas tidak terlalu pekat. Hal tersebut ditandai dengan terlihatnya permukaan plat dari selubung kaca.



Walaupun bahan bakar *kerosene* mengalami efek *Leidenfrost*, akan tetapi tidak dapat mempertahankan bentuk tetesannya, sehingga tidak dapat mencapai fase fenomena "*Crackle*". Bahan bakar tersebut hanya sesaat mengalami efek *Leidenfrost* kemudian hanya terjadi evaporasi dan menghasilkan asap yang intensitasnya tidak terlalu pekat. Dengan munculnya evaporasi, maka letupan pada fenomena "*Crackle*" sebagai indikator terjadinya nyala api tidak terjadi.

Pada minyak diesel



Seperti halnya yang terjadi pada bahan bakar *kerosene*, pada bahan bakar minyak diesel pun hanya terjadi evaporasi ketika bahan bakar tersebut dijatuhkan pada permukaan plat. Hanya saja hal yang membedakan dengan bahan bakar *kerosene* adalah tetesan minyak diesel tidak mampu bertahan dalam bentuk tetesan ketika menumbuk permukaan plat. Hal tersebut disebabkan karena tegangan permukaan bahan bakar minyak diesel yang cukup kecil.



Gambar di atas menunjukkan asap yang terbentuk akibat evaporasi bahan bakar minyak diesel. Asap yang terbentuk sangat pekat dibandingkan dengan bahan bakar *kerosene* sehingga permukaan plat tidak jelas terlihat pada selubung.

Pada pelumas kendaraan Pertamina Prima XP



Pada tetesan minyak pelumas kendaraan, fenomena yang terjadi adalah tetesan tersebut hanya meluap disebabkan bentuknya yang kental dan menggumpal dan viskositasnya yang besar. Dengan permukaan plat yang memiliki temperatur tinggi tersebut, gumpalan minyak pelumas tersebut kemudian meluap dan perlahan mengalami evaporasi, tanpa terjadi fenomena *Leidenfrost* maupun fenomena “*Crackle*”.



Pada gambar di atas tampak bahwa asap yang terbentuk sangat pekat sehingga menutupi seluruh permukaan plat yang diberi selubung kaca. Asap yang pekat tersebut mengindikasikan terjadinya evaporasi tanpa terjadi efek *Leidenfrost* maupun

“*Crackle*”. Kedua fenomena tersebut tidak muncul disebabkan oleh kekentalan minyak pelumas yang sangat besar.

Walaupun nyala api belum terlihat jelas pada penelitian ini, akan tetapi dapat ditemukan salah satu indikator terjadinya nyala api, yaitu jelaga yang timbul pada bagian sisi semprong lampu minyak. Berikut merupakan gambar jelaga yang dihasilkan dari penelitian.



Jelaga merupakan salah satu indikator terjadinya proses pembakaran pada bahan bakar yang mengandung karbon. Unsur karbon tersebut dapat ditemui pada hampir seluruh bahan bakar uji, kecuali pada *bio-ethanol*. Jelaga umumnya muncul pada nyala api dan berwarna kehitaman dan meninggalkan noda pada dinding ruang bakar atau media pembakaran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian fenomena “*Crackle*” yang menggunakan bahan bakar cair seperti minyak pelumas (oli), minyak diesel, minyak tanah (*kerosene*), *bio-ethanol* dengan kemurnian 99.5% dan spiritus dihasilkan sebuah kesimpulan bahwa dengan temperatur hingga 500 °C bahkan melebihi (penelitian hingga temperatur 520 °C), fenomena “*Crackle*” yang terjadi pada setiap bahan bakar berlainan. Hal tersebut dipengaruhi oleh massa jenis, tegangan permukaan dan ikatan rantai karbon yang berbeda pada setiap bahan bakar. Bahan bakar yang memiliki ikatan rantai karbon lebih banyak, memiliki energi aktivasi yang cukup tinggi, sehingga walaupun dengan temperatur tinggi, tetapi parameter lainnya diabaikan, misalnya tekanan, akan sulit untuk melihat fenomena “*Crackle*” yang terjadi. Hal itu pun dapat disebabkan oleh tegangan permukaan yang cukup kecil, sehingga ketika tetesan bahan bakar dijatuhkan pada permukaan plat panas, tetesan tersebut tidak mampu bertahan untuk sementara waktu untuk menahan bentuk tetesannya. Tetesan tersebut akan langsung pecah dan menguap sesaat ketika menyentuh permukaan plat panas.

Apabila sebuah bahan bakar dapat memunculkan fenomena “*Crackle*”, dimungkinkan bahan bakar tersebut akan dapat menghasilkan fenomena nyala api. Hal tersebut dapat terjadi jika bahan bakar tersebut masih mampu menahan kalor yang diberikan oleh plat tersebut.

5.2 SARAN

Studi mengenai pemunculan fenomena “*Crackle*” pada pembakaran tetesan merupakan fondasi awal dari penelitian tentang nyala api difusi pada pembakaran tetesan berbagai macam bahan bakar cair. Kesulitan masih amat banyak ditemui

dalam penelitian ini. Untuk itu ada beberapa rekomendasi yang akan saya ajukan untuk kepentingan penelitian dan pemanfaatan lebih jauh yakni :

1. Pada alat penguji pembakaran 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 bahan bakar, hanya saja masih tampak oleh mata (bisa menghasilkan tetesan dengan ukuran kira-kira 5 mm), sehingga jatuhnya tetesan masih dapat diamati.
 - c. Selubung (bentuk seperti semprong) dengan berbagai ukuran tinggi dilengkapi dengan ukuran ketinggian.
2. Penggunaan kamera kecepatan tinggi dengan fitur warna. Hal ini dimaksudkan untuk mengamati fenomena nyala api yang terjadi karena saat penelitian ini berlangsung, fenomena nyala api belum tampak jelas terlihat disebabkan kamera yang digunakan sebatas kamera SLR.
3. Untuk bahan bakar dengan rantai karbon panjang, disarankan dalam perancangan alat pengamatan nyala api perlu dipertimbangkan faktor tekanan (tekanan dapat dikontrol) sehingga dapat digunakan untuk penelitian nyala api berbagai macam bahan bakar cair.

REFERENSI

- Cengel, Yunus A. *Heat transfer a Practical Approach 2nd Ed.* (Mc Graw Hill Higher Education)
- Cutnell, John D., Johnson, Kenneth W. *Essentials of Physics.* (Wiley Publishing, 2006)
- Dhiputra, I Made Kartika., Sihombing, Ombun. *Analisis Pengaruh Sudut Pengarah Injeksi Udara terhadap Panjang Nyala Api Difusi Bahan Bakar Propana pada Burner Gas Tipe "Ejected Combustor".* Thesis. Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. 2003.
- Dysdale, Dougal. *An Introduction to Fire Dynamics 2nd Ed.* (John Wiley and Sons, 2003).
- Holman, J. P. *Heat Transfer 9th Ed.* (Mc Graw Hill, 2002).
- Keating, Eugene L. *Applied Combustion 2nd Ed.* (CRC Press, 2007).
- Kosasih, Achmad Engkos. *Perpindahan Panas dan Massa dalam Proses Penguapan Tetesan: Suatu Pendekatan Baru dalam Model Film Stagnan.* Disertasi. Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. 2006.
- Kosasih, Achmad Engkos. *Penguapan Tetesan Premium.* Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9. Palembang. 2010.
- Kuo, Kenneth K. *Principle of Combustion.* (Canada: John Wiley and Sons, 1986).
- Law, Chung K. *Combustion Physics.* (Cambridge University Press, 2006).

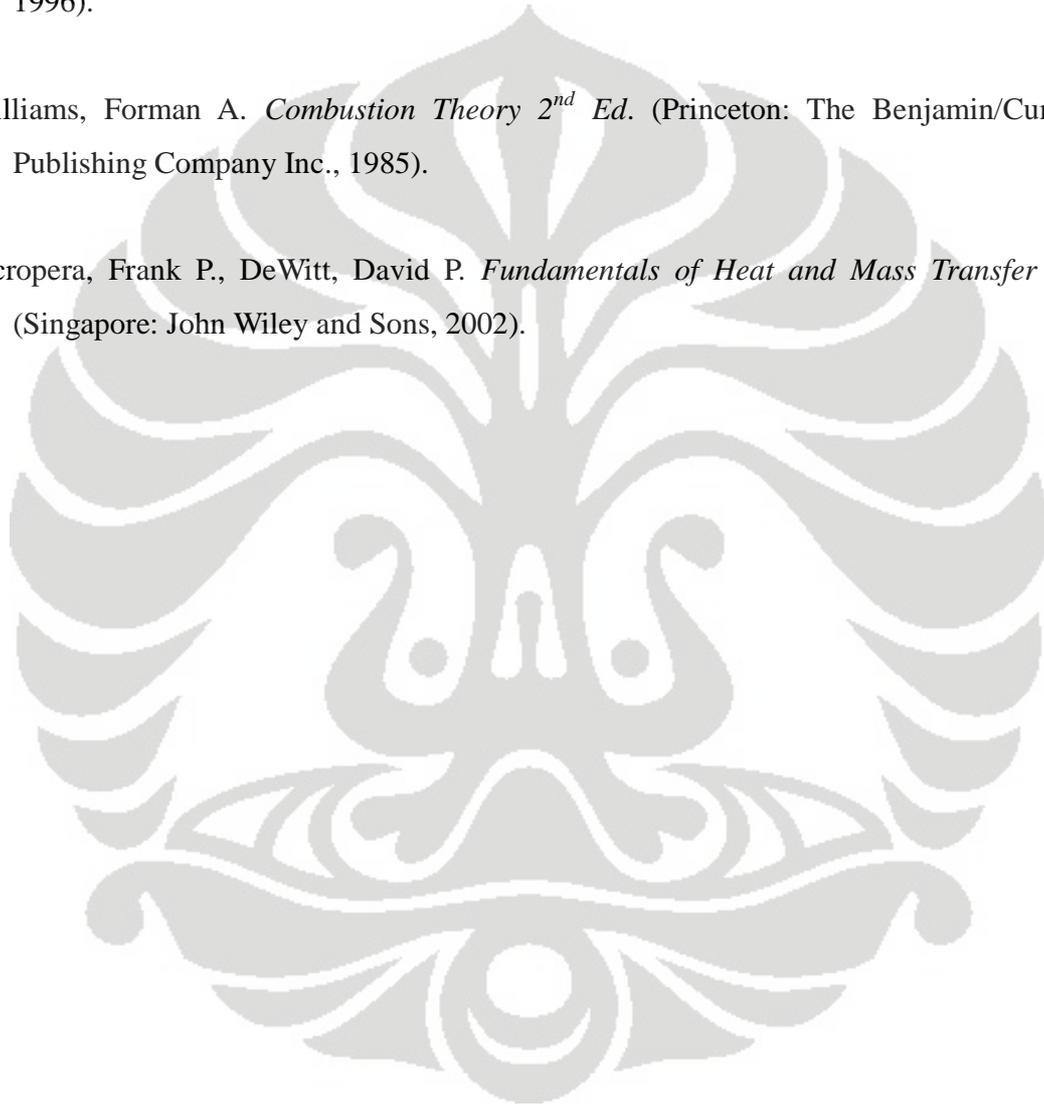
Sharma, S. P., Mohan, Chander. *Fuel and Combustion*. (Bombay: Tata McGraw-Hill, 1984).

Strehlow, Roger A. *Combustion Fundamentals*. (Urbana: Tata McGraw-Hill, 1985).

Turns, Stephen R. *An Introduction to Combustion Concepts and Applications*. (Pennsylvania, 1996).

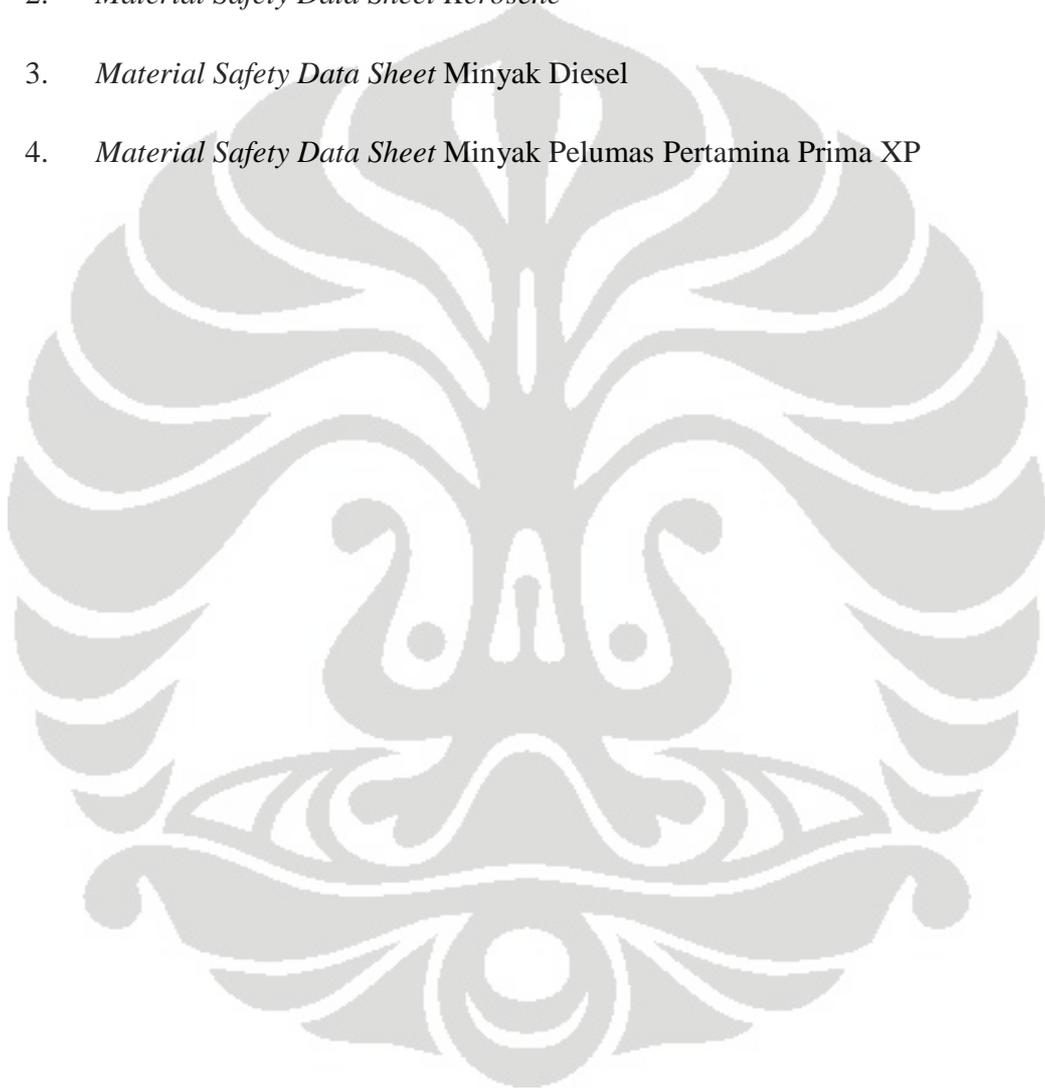
Williams, Forman A. *Combustion Theory 2nd Ed.* (Princeton: The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., 1985).

Incropera, Frank P., DeWitt, David P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 5th Ed.* (Singapore: John Wiley and Sons, 2002).



LAMPIRAN

1. Properti Bahan Bakar
2. *Material Safety Data Sheet Kerosene*
3. *Material Safety Data Sheet Minyak Diesel*
4. *Material Safety Data Sheet Minyak Pelumas Pertamina Prima XP*



Properties of Fuels

Property	Gasoline	No. 2 Diesel Fuel	Methanol	Ethanol	MTBE	Propane	Compressed Natural Gas (CNG)	Hydrogen
Chemical Formula	C ₄ to C ₁₂	C ₃ to C ₂₅	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	(CH ₃) ₃ COCH ₃	C ₃ H ₈	CH ₄	H ₂
Molecular Weight	100–105 ^(a)	≈200	32.04	46.07	88.15	44.1	16.04	2.02 ^(x)
Composition, Weight %								
Carbon	85–88 ^(b)	84–87	37.5	52.2	66.1	82	75	0
Hydrogen	12–15 ^(b)	33–16	12.6	13.1	13.7	18	25	100
Oxygen	0	0	49.9	34.7	18.2	–	–	0
Specific gravity, 60° F/60° F	0.72–0.78 ^(b)	0.81–0.89 ^(d)	0.796 ^(c)	0.796 ^(c)	0.744 ^(m)	0.508	0.424	0.07 ^(u)
Density, lb/gal @ 60° F	6.0–6.5 ^(b)	6.7–7.4 ^(d)	6.63 ^(b)	6.61 ^(b)	6.19 ^(m)	4.22	1.07 ^(r)	–
Boiling temperature, °F	80–437 ^(b)	370–650 ^(d)	149 ^(c)	172 ^(c)	131 ^(c)	-44	-259	-4,230 ^(u)
Reid vapor pressure, psi	8–15 ^(k)	0.2	4.6 ^(o)	2.3 ^(o)	7.8 ^(e)	208	2,400	–
Octane no. ⁽¹⁾								
Research octane no.	90–100 ^(u)	--	107	108	116 ^(t)	112	–	130+
Motor octane no.	81–90 ^(s)	--	92	92	101 ^(t)	97	–	–
(R + M)/2	86–94 ^(s)	N/A	100	100	108 ^(t)	104	120+	–
Cetane no. ⁽¹⁾	5–20	40–55	--	--	--	--	--	--
Water solubility, @ 70° F								
Fuel in water, volume %	Negligible	Negligible	100 ^(c)	100 ^(b)	4.3 ^(e)	–	–	–
Water in fuel, volume %	Negligible	Negligible	100 ^(c)	100 ^(b)	1.4 ^(e)	–	–	–
Freezing point, °F	-40 ^(g)	-40–30 ⁽⁴⁾	-143.5	-173.2	-164 ^(c)	-305.8	-296	-435 ^(v)
Viscosity								
Centipoise @ 60° F	0.37–0.44 ^(3,p)	2.6–4.1	0.59 ^(j)	1.19 ^(j)	0.35 ^(j)	–	–	–
Flash point, closed cup, °F	-45 ^(b)	165 ^(d)	52 ^(o)	55 ^(o)	-14 ^(e)	-100 to -150	-300	--
Autoignition temperature, °F	495 ^(b)	≈600	867 ^(b)	793 ^(b)	815 ^(e)	850–950	1,004	1,050–1,080 ^(u)
Flammability limits, volume %								
Lower	1.4 ^(b)	1	7.3 ^(o)	4.3 ^(o)	1.6 ^(e,k)	2.2	5.3	4.1 ^(u)
Higher	7.6 ^(b)	6	36 ^(o)	19 ^(o)	8.4 ^(e,k)	9.5	15	74 ^(u)
Latent heat of vaporization								
Btu/gal @ 60° F	≈900 ^(b)	≈700	3,340 ^(b)	2,378 ^(b)	863 ⁽⁵⁾	775	–	–
Btu/lb @ 60° F	≈150 ^(b)	≈100	506 ^(b)	396 ^(b)	138 ⁽⁵⁾	193.1	219	192.1 ^(v)
Btu/lb air for stoichiometric mixture @ 60° F	≈10 ^(b)	≈8	78.4 ^(b)	44 ^(b)	11.8	–	–	–

Property	Gasoline	No. 2 Diesel Fuel	Methanol	Ethanol	MTBE	Propane	Compressed Natural Gas (CNG)	Hydrogen
Heating value (2)								
Higher (liquid fuel-liquid water) Btu/lb	18,800–20,400	19,200–20000	9,750 ⁽²⁾	12,800 ^(q)	18,290 ^(h)	21,600	23,600	61,002 ^(v)
Lower (liquid fuel-water vapor) Btu/lb	18,000–19,000	18,000–19,000	8,570 ^(b)	11,500 ^(q)	15,100 ^(h)	19,800	21,300	51,532 ^(v)
Higher (liquid fuel-liquid water) Btu/gal	124,800	138,700	64,250	84,100	–	91,300	–	–
Lower (liquid fuel-water vapor) Btu/gal @ 60° F	115,000	128,400	56,800 ⁽³⁾	76,000 ⁽³⁾	93,500 ⁽⁴⁾	84,500	19,800 ⁽⁶⁾	–
Heating value, stoichiometric mixture								
Mixture in vapor state, Btu/cubic foot @ 68° F	95.2 ^(b)	96.9 ^(5,q)	92.5 ^(b)	92.9 ^(b)	–	–	–	–
Fuel in liquid state, Btu/lb or air	1,290 ^(b)	–	1,330 ^(b)	1,280 ^(b)	–	–	–	–
Specific heat, Btu/lb °F	0.48 ^(g)	0.43	0.6 ^(j)	0.57 ^(j)	0.5 ^(j)	--	--	--
Stoichiometric air/fuel, weight	14.7 ⁽³⁾	14.7	6.45 ^(l)	9 ^(l)	11.7 ^(j)	15.7	17.2	34.3 ^(u)
Volume % fuel in vaporized stoichiometric mixture	2 ^(b)	–	12.3 ^(b)	6.5 ^(b)	2.7 ^(j)	–	–	–

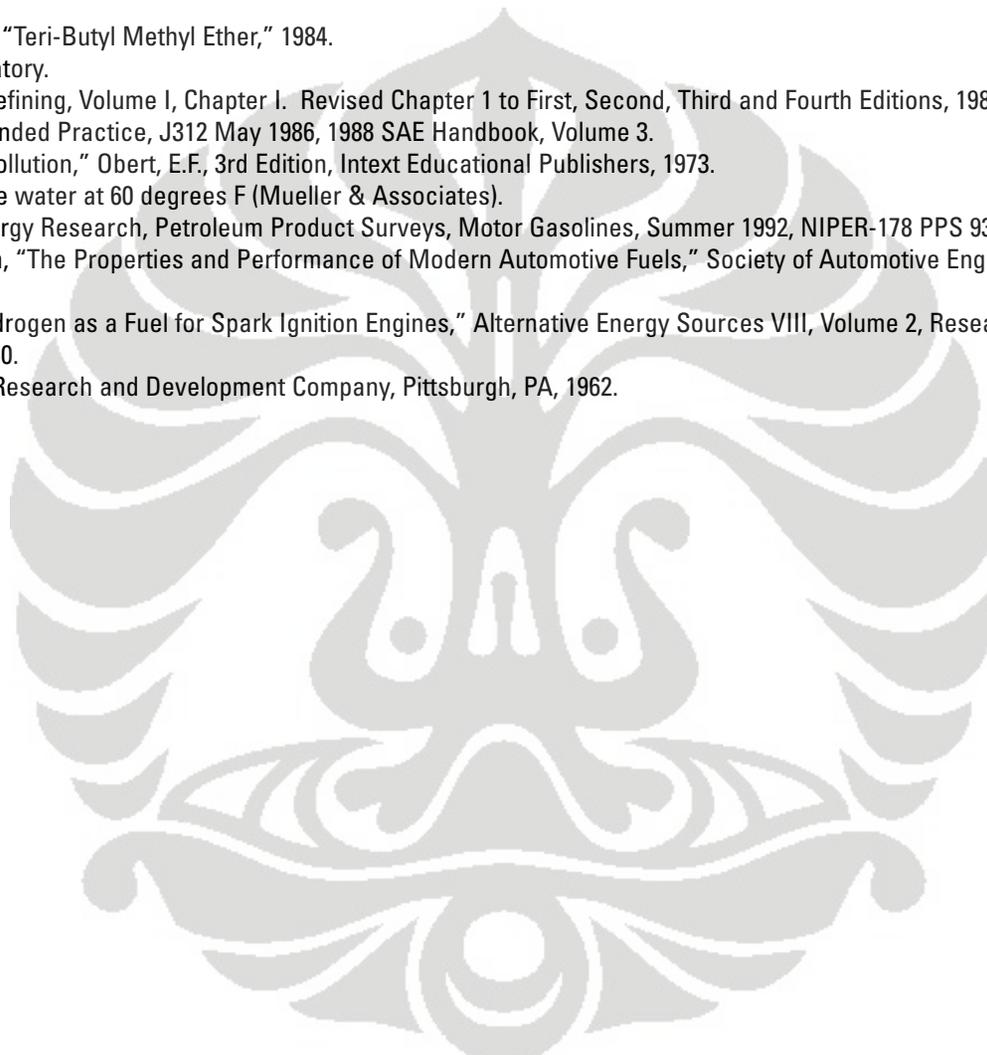
Notes:

- (1) Octane values are for pure components. Laboratory engine Research and Motor octane rating procedures are not suitable for use with neat oxygenates. Octane values obtained by these methods are not useful in determining knock-limited compression ratios for vehicles operating on neat oxygenates and do not represent octane performance of oxygenates when blended with hydrocarbons. Similar problems exist for cetane rating procedures.
- (2) The higher heating value is cited for completeness only. Since no vehicles in use, or currently being developed for future use, have powerplants capable of condensing the moisture of combustion, the lower heating value should be used for practical comparisons between fuels.
- (3) Calculated.
- (4) Pour Point, ASTM D 97 from Reference (c).
- (5) Based on cetane.
- (6) For compressed gas at 2,400 psi.

Sources:

- (a) The basis of this table and associated references was taken from: American Petroleum Institute (API), Alcohols and Ethers, Publication No. 4261, 2nd ed. (Washington, DC, July 1988), Table B-1.
- (b) "Alcohols: A Technical Assessment of Their Application as Motor Fuels," API Publication No. 4261, July 1976.
- (c) Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, 1981, The Chemical Rubber Company Press, Inc.
- (d) "Diesel Fuel Oils, 1987," Petroleum Product Surveys, National Institute for Petroleum and Energy Research, October 1987.
- (e) ARCO Chemical Company, 1987.
- (f) "MTBE, Evaluation as a High Octane Blending Component for Unleaded Gasoline," Johnson, R.T., Taniguchi, B.Y., Symposium on Octane in the 1980's, American Chemical Society, Miami Beach Meeting, September 10-15, 1979.

- (g) "Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation: A 1981 Perspective," Vol. 1, Spark-Ignition Engine, May 1982, DOE/CE-56051-7.
- (h) American Petroleum Institute Research Project 44, NBS C-461.
- (i) Lang's Handbook of Chemistry, 13th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1985.
- (j) "Data Compilation Tables of Properties of Pure Compounds," Design Institute for Physical Property Data, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1984.
- (k) Petroleum Product Surveys, Motor Gasoline, Summer 1986, Winter 1986/1987, National Institute for Petroleum and Energy Research.
- (l) Based on isooctane.
- (m) API Monograph Series, Publication 723, "Teri-Butyl Methyl Ether," 1984.
- (n) BP America, Sohio Oil Broadway Laboratory.
- (o) API Technical Data Book – Petroleum Refining, Volume I, Chapter I. Revised Chapter 1 to First, Second, Third and Fourth Editions, 1988.
- (p) "Automotive Gasolines," SAE Recommended Practice, J312 May 1986, 1988 SAE Handbook, Volume 3.
- (q) "Internal Combustion Engines and Air Pollution," Obert, E.F., 3rd Edition, Intext Educational Publishers, 1973.
- (r) Value at 80 degrees F with respect to the water at 60 degrees F (Mueller & Associates).
- (s) National Institute for Petroleum and Energy Research, Petroleum Product Surveys, Motor Gasolines, Summer 1992, NIPER-178 PPS 93/1 (Battlesville, OK, January 1993), Table 1.
- (t) P. Dorn, A.M. Mourao, and S. Herbstman, "The Properties and Performance of Modern Automotive Fuels," Society of Automotive Engineers (SAE), Publication No. 861178 (Warrendale, PA, 1986), p. 53.
- (u) C. Borusbay and T. Nejat Veziroglu, "Hydrogen as a Fuel for Spark Ignition Engines," Alternative Energy Sources VIII, Volume 2, Research and Development (New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989), pp. 559-560.
- (v) Technical Data Book, Prepared by Gulf Research and Development Company, Pittsburgh, PA, 1962.



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, <i>dry chemical</i> dan <i>water fog</i>
Prosedur Khusus Pemadam Kebakaran	: Air atau foam dapat menyebabkan buih. Siramilah 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 <i>Self Contained Breathing Aparatus</i> (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 H ₂ S 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 pemaparan. Namun demikian dapat digunakan Nilai Ambang Batas (<i>Threshold Limit Value</i>) dari uapnya yaitu 5.00 mg/m ³ .

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 -----	
Toksitas oral	: Non-toksik ----- berdasarkan uji terhadap bahan maupun komponen yang serupa.
Toksitas 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 Toksisitas 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.	