

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kalor

2.1.1 Definisi Kalor

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah (Cengel, 2003). Akan tetapi, gaya dorong untuk aliran ini adalah perbedaan suhu. Bila sesuatu benda ingin dipanaskan, maka harus dimiliki sesuatu benda lain yang lebih panas, demikian pula halnya jika ingin mendinginkan sesuatu, diperlukan benda lain yang lebih dingin. Kalor adalah energi yang dipindahkan akibat adanya perbedaan temperatur.

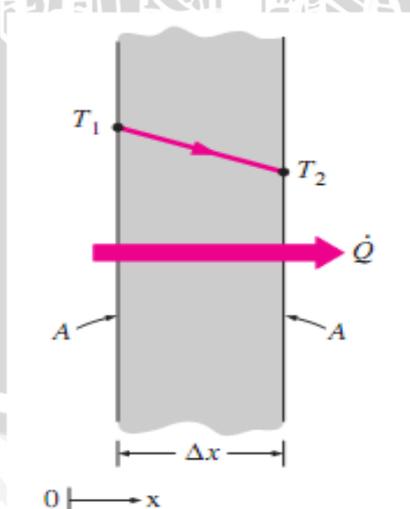
Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah yaitu seperti asas hukum yang lain, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua. Bila diperhatikan misalnya jumlah energi kalor api unggun kayu yang ditumpukkan, semua ini menyimpan sejumlah energi dalam yang ditandai dengan kuantitas yang lazim disebut muatan kalor bahan. Apabila api dinyalakan, energi termal yang tersimpan di dalam bahan tadi akan bertukar menjadi energi kalor yang dapat kita rasakan. Energi kalor ini mengalir jika terdapat suatu perbedaan suhu.

2.1.2 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor merupakan proses perpindahan energi (kalor) karena adanya perbedaan suhu, baik melalui perantara atau dengan tidak adanya perantara. Perpindahan kalor ada 3 macam yaitu perpindahan kalor secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan energi dari partikel yang mempunyai energi besar ke partikel yang mempunyai energi lebih kecil, yang merupakan hasil dari interaksi antar partikel. Dalam aliran panas konduksi, terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Perpindahan kalor secara konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair dan gas. Dalam kondisi gas dan cair konduksi terjadi karena adanya tumbukan molekul pada saat pergerakan bebas, sedangkan pada benda padat terjadi karena, kombinasi getaran molekul pada kisi-kisi dan pergerakan elektron bebas, semakin cepat molekul-molekul bergerak semakin tinggi pula suhu dalam elemen zat tersebut. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme perpindahan panas yang mana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi didalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dalam konveksi, dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1 dimana suhu T_1 lebih tinggi dibandingkan suhu T_2 .



Gambar 2.1 : Perpindahan Panas Konduksi
 Sumber : Cengel, 2003 : 18

Rumus untuk mengetahui laju perpindahan kalor konduksi :

$$q = -k A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (\text{Holman, 1991: 13}) \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan :

q = laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = konduktivitas termal (W/m. °C)

A = luas permukaan (m²)

ΔT = perbedaan temperatur (°C)

ΔX = tebal permukaan (m)

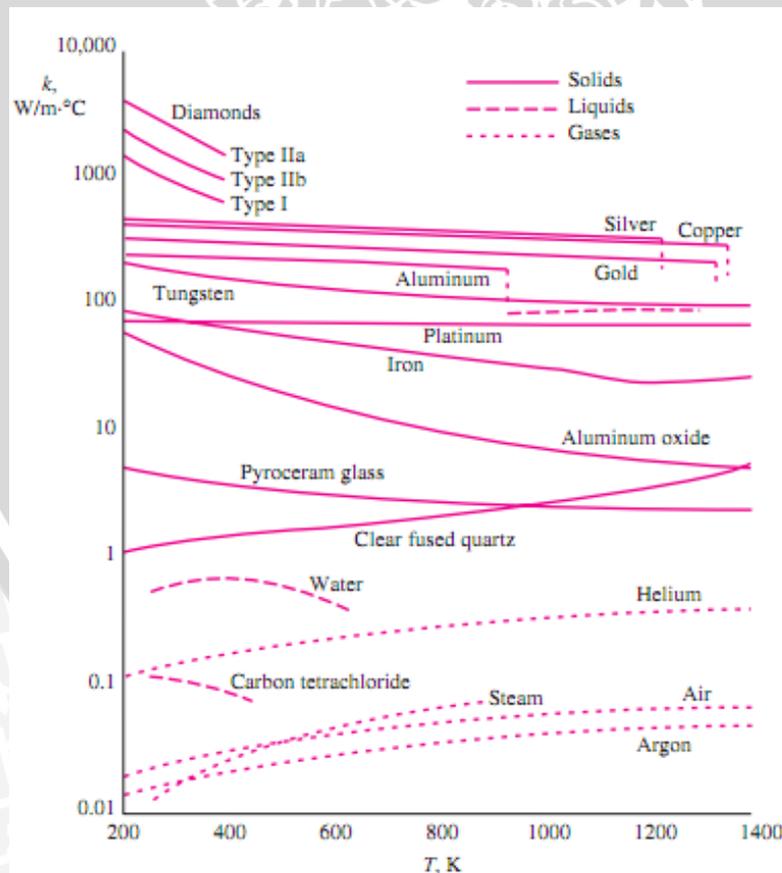
Sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor dengan sempurna. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau jenis logam lain yang salah satu ujungnya dikenakan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkut kalor di dalam bahan menurut proses perpindahan kalor konduksi.

Kadar alir energi kalor berbeda karena susunan molekul dan juga atom di dalam setiap bahan adalah berbeda. Untuk satu bahan berfase padat molekulnya tersusun rapat, berbeda dengan satu bahan berfase gas seperti udara. Molekul udara adalah renggang sekali. Tetapi dibandingkan dengan bahan padat seperti kayu dan besi, maka molekul besi lebih rapat susunannya daripada molekul kayu. Bahan kayu terdiri dari gabungan bahan kimia seperti karbon, uap air, dan udara yang terperangkap sedangkan besi adalah besi. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.2 dimana konduktivitas termal setiap bahan berbeda.

Tabel 2.1 Konduktivitas termal beberapa material pada temperatur ruang

Material	K, W/m.°C
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminium	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

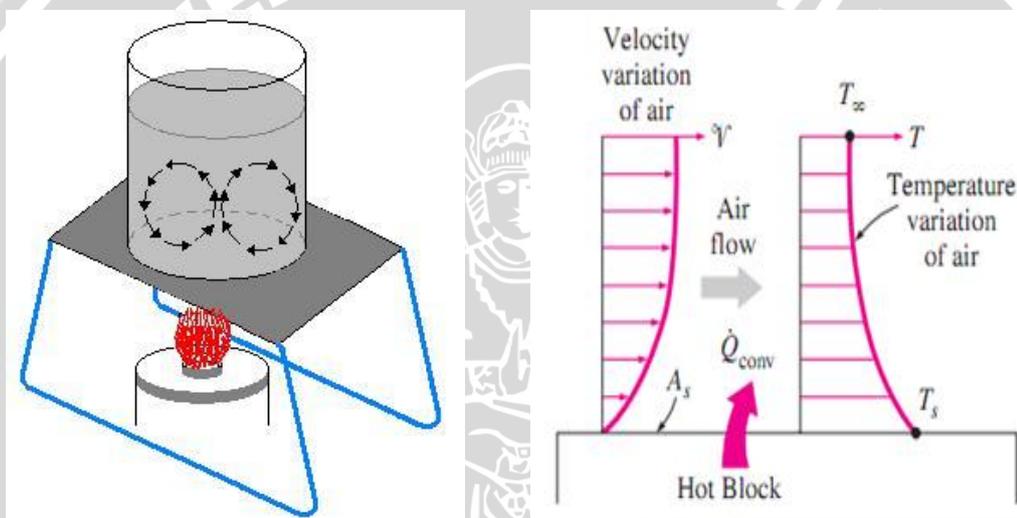
Sumber : Cengel (2003 : 20)



Gambar 2.2 Konduktivitas termal cairan, padat dan gas
 Sumber : Cengel (2003 : 22)

2. Konveksi

Yang dimaksud dengan konveksi ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini dikatakan suhu permukaan adalah T_s dan suhu udara sekeliling adalah T_∞ dengan $T_s > T_\infty$. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.3 Perpindahan kalor konveksi pada permukaan panas
Sumber : Cengel (2003 : 26)

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu rendah dimana mereka akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lain dan juga memindahkan energi kepada partikel fluida lain. Perpindahan kalor koveksi diklasifikasikan dalam dua macam yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*).

Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, maka itu disebut sebagai konveksi bebas, sedangkan gerakan pencampuran disebabkan oleh alat dari luar seperti pompa atau kipas maka prosesnya disebut konveksi paksa. sedangkan rumus perpindahan kalor secara konveksi yaitu

Rumus untuk mengetahui laju perpindahan kalor konveksi :

$$q = h A (T_w - T_{\infty}) \quad (\text{Holman, 1991: 13}) \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan :

- q = laju perpindahan kalor konveksi (W)
- h = koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².°C)
- A = luas permukaan (m²)
- T_w = temperatur permukaan (°C)
- T_∞ = temperatur fluida (°C)

Dari penjelasan rumus diatas perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding dan fluida, dan luas permukaan A, besaran h disebut koefisien perpindahan-kalor konveksi. Dan untuk mendapatkan nilai h dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai koefisien perpindahan kalor konveksi

Type of Convection	h, W/m ² .°C
Free convection of gases	2-25
Free convection of liquids	10-1000
Forced convection of gases	25-250
Forced convection of liquids	50-20.000
Boiling and condensation	2500-100.000

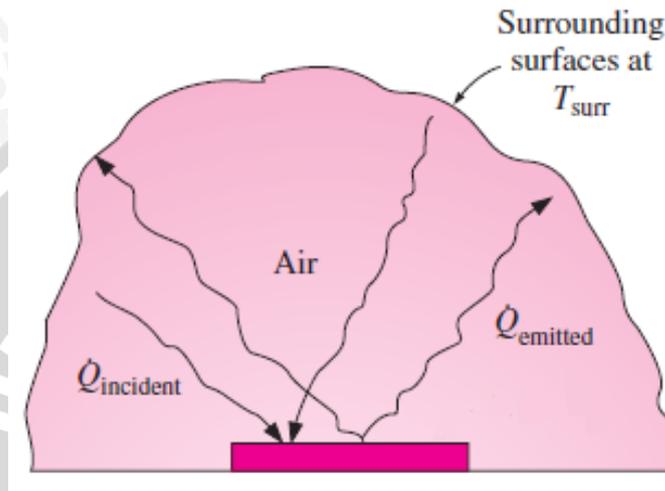
Sumber : Cengel (2003 : 26)

3. Radiasi

Yang dimaksud dengan pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada



hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantara foton dan juga gelombang elektromagnet. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan memancarkan sejumlah energi kalor tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energi kalor yang dipancarkan. Proses radiasi adalah fenomena permukaan. Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perpindahan Panas Radiasi
Sumber : Cengel (2003 : 29)

4. Perpindahan kalor pada droplet

Bolle dan Moureau mengembangkan persamaan semi-empiris berikut untuk perpindahan kalor total selama kontak antara droplet dan permukaan yang dipanaskan,

$$Q_{sd} = 0,82(k\rho C_p)_s^{0,5} (T_s - T_f) \frac{d_0^{2,5}}{\nu_0^{0,5}} \quad (\text{Bernardin, 1997}) \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

k = konduktivitas termal bahan (W/m. °C)

ρ = densitas bahan (Kg/m³)

C_p = kalor spesifik bahan (J/Kg. °C)

T_s = temperatur permukaan bahan (°C)

T_f = temperatur *droplet* (°C)

d_0 = diameter penyebaran *droplet* (m)

v_0 = kecepatan *droplet* (m/s)

Sementara itu Bernardin, J.D., Stebbins, C.J Mudawar, I ; 1997 menyatakan laju perpindahan kalor berkorelasi terhadap frekuensi *droplet*, kecepatan, dan diameter,

$$q_{ss} \propto f^{0,95} v_0^{0,65} d_0^{2,62} \quad (\text{Bernardin, 1997}) \dots \dots \dots (2-4)$$

Keterangan :

f = frekuensi (1/s)

v_0 = kecepatan *droplet* (m/s)

d_0 = diameter penyebaran *droplet* (m)

2.2 Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi misalnya besi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah misalnya air. Satuan SI massa jenis adalah kilogram per meter kubik ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Dan satu zat berapapun massanya berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama.

Rumus untuk menentukan massa jenis adalah

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Holman, 1991: 13}) \dots \dots \dots (2-5)$$

Keterangan :

ρ = massa jenis. (kg/m^3)

m = massa. (kg)

V = volume. (m^3)

2.3 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut (Streeter:1996). Hukum Viskositas *Newton* menyatakan bahwa, laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu, merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

1. Viskositas absolut / dinamik (μ)

Viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser / gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dinyatakan sebagai :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Holman, 1991: 10}) \dots \dots \dots (2-6)$$

Keterangan :

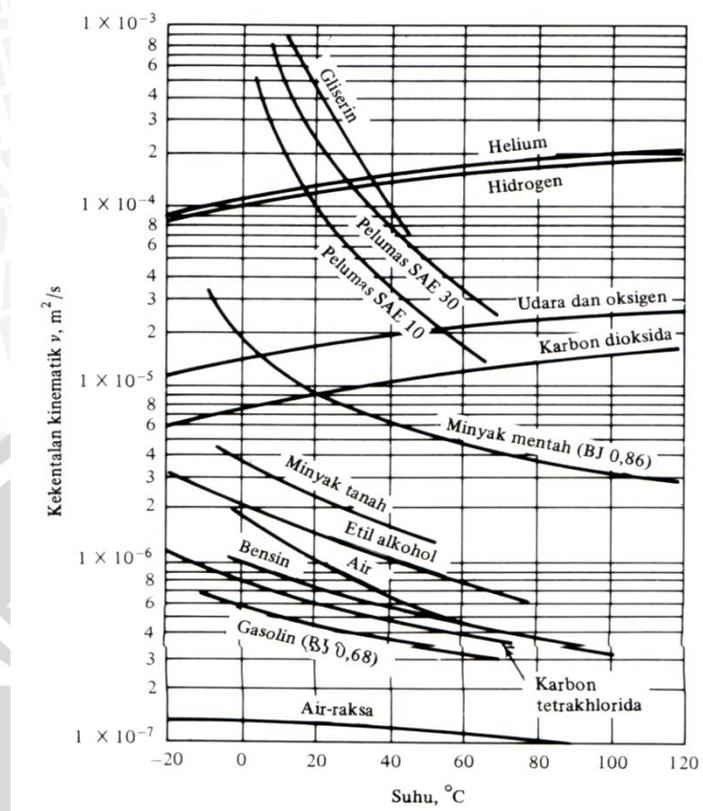
ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

ρ = densitas/ massa jenis (Kg/m^3)

2. Viskositas kinematik (ν).

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Viskositas kinematik banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja dan banyak muncul dalam penerapan, misalnya untuk menentukan bilangan *Reynold* pada *internal flow*, misalnya aliran fluida di dalam pipa.



Gambar 2.5 : Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm
Sumber : White (1994 : 388)

Gambar 2.5 merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap kekentalan suatu fluida. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk fluida cair viskositasnya akan menurun seiring meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas semakin meningkat temperatur maka viskositasnya akan meningkat.

Kecenderungan ini menurut Streeter (1996: 8) dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada gaya kohesi dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas karena fluida cair mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar. Karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka viskositasnya juga menurun. Hal tersebut merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan. Lain halnya gas yang mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser diakibatkan perpindahan momentum molekuler. Semakin meningkat temperatur mengakibatkan laju perpindahan molekul semakin tinggi sehingga viskositasnya semakin besar (Nekrasov, B; 1960).

2.3.1 Pengertian Oli

Oli mesin mempunyai fungsi dasar sebagai pelumas untuk memperkecil gesekan atau keausan dari sejumlah komponen di dalam mesin yang bekerja dan bergerak saat mesin kendaraan hidup. Pelumas yang bekerja secara efektif sesuai fungsinya akan memperpanjang usia mesin sehingga lebih awet masa pakainya. Oli mesin juga tidak hanya berfungsi sebagai pelumas saja, melainkan juga sebagai pendingin dan pembersih mesin. Pelumas yang baik harus bisa membuat kinerja mesin lebih ringan dan bertugas sebagai pelindung komponen metal dari bergesekan terus-menerus dalam waktu lama.

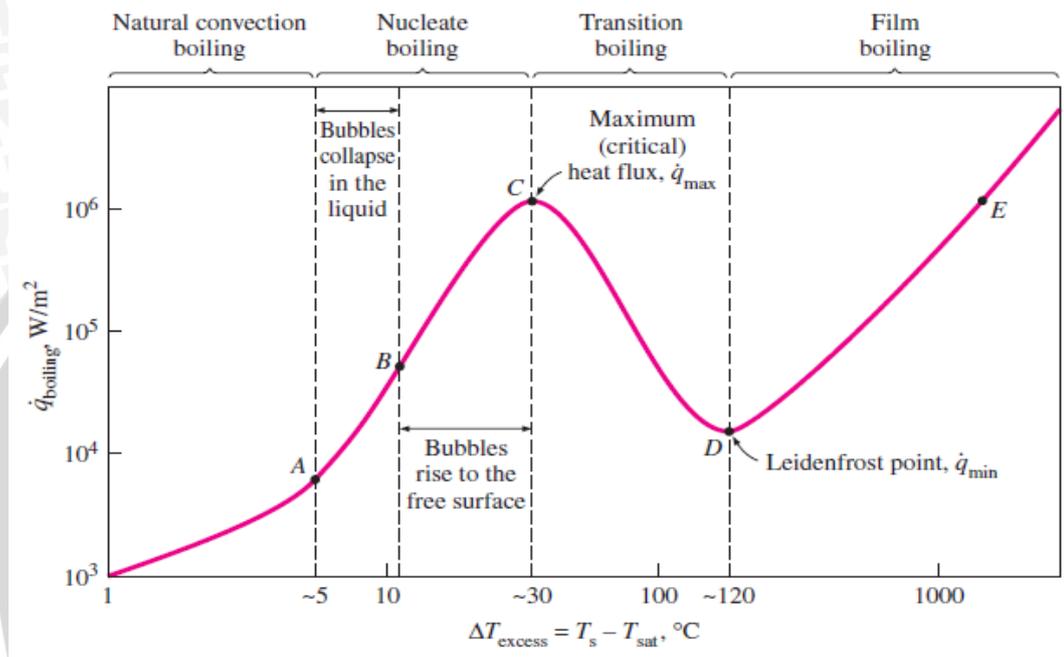
Untuk menandai kekentalan oli, biasanya digunakan istilah atau kode huruf SAE yang diikuti dengan angka. SAE (*Society of Automotive Engineer*) yang mirip lembaga standarisasi seperti ISO, DIN atau JIS, yang mengkhususkan diri di bidang otomotif. Angka di belakang huruf SAE inilah yang menunjukkan tingkat kekentalannya (viskositas). Contohnya, kode SAE 50 menunjukkan oli tersebut mempunyai tingkat kekentalan 50 menurut standar SAE.

Semakin tinggi angkanya, semakin kental pelumas tersebut. Ada pula kode angka yang menunjukkan *multi grade* seperti 10W-50. Kode ini menandakan pelumas mempunyai kekentalan yang dapat berubah-ubah sesuai suhu di sekitarnya. Huruf W di belakang angka 10 merupakan singkatan kata *winter* (musim dingin). Maksudnya, pelumas mempunyai tingkat kekentalan sama dengan SAE 10 pada saat oli lebih encer pada temperatur yang lebih rendah dan SAE 50 oli lebih kental pada temperatur yang lebih tinggi. Oli yang memiliki *multi grade* seperti ini sekarang banyak di pasaran karena kekentalannya luwes (*flexible*) dan tidak cenderung mengental saat udara dingin sehingga mesin mudah dihidupkan di pagi hari.

2.4 Pola Pendidihan

Pada saat kita meneteskan sebuah *droplet* yang jatuh di atas permukaan padat yang panas maka ada beberapa kemungkinan yang akan terjadi pada *droplet* tersebut yaitu diantaranya memercik (*splashing*), lengket lalu menyebar (*spreading*) dan melambung (*rebound*). Selanjutnya *droplet* tersebut akan mendidih dan mulai hilang (Bernardin, 1997).

Akan tetapi pada saat temperatur permukaan padat cukup tinggi maka *droplet* tidak lagi kontak langsung dengan permukaan padat seperti melayang akibat adanya lapisan uap tipis semacam lapisan *film* yang menghalanginya. Maka proses penguapan pada kondisi temperatur ini menjadi lambat akibat perpindahan kalor dari permukaan padat ke *droplet* menurun. Fenomena tersebut digambarkan dalam Kurva Pendidihan Nukiyama seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Kurva Pendidihan Nukiyama
Sumber : Cengel (2003 : 519)

Untuk proses pendidihan, Nukiyama (1934) melakukan percobaan dengan mencelupkan pemanas listrik yang terbuat dari nikrom dan platinum ke dalam air. Beliau melihat adanya perbedaan pola pendidihan seiring dengan naiknya *excess temperature* (ΔT_{excess}), mulai dari *natural convection boiling*, *nucleate boiling*, *transition boiling*, sampai *film boiling* seperti terlihat pada gambar 2.6 di atas.

Excess temperature adalah selisih temperatur pemanas dengan temperatur *liquid* jenuh. Dalam kasus pendidihan air pada tekanan 1 atm temperatur jenuh air adalah 100°C . Jika temperatur pemanas 115°C maka *excess temperature* adalah $115^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C} = 15^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat dikatakan bahwa *excess temperature* itu adalah besarnya temperatur pemanas di atas temperatur saturasi sebuah *liquid*.

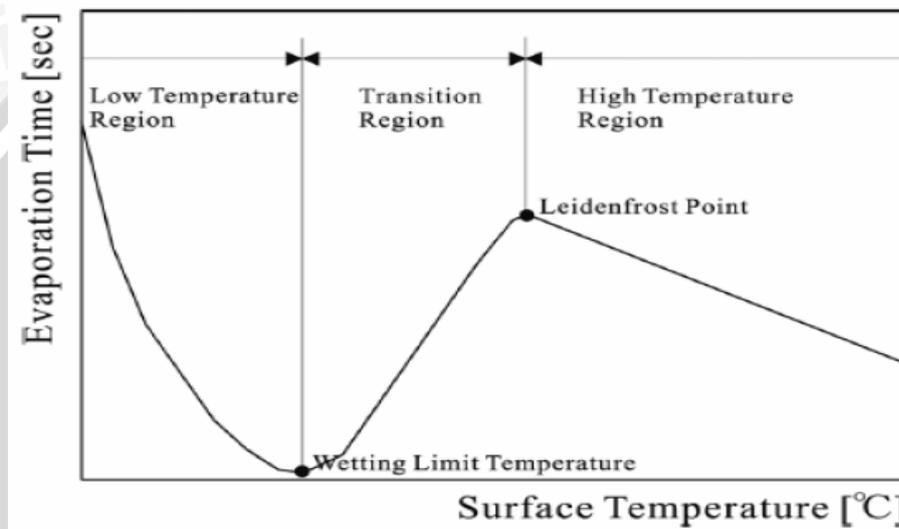
Dari diagram Nukiyama tersebut diperoleh empat daerah pendidihan sebagai berikut:

- 1) Daerah pendidihan konveksi bebas (*free convection boiling*) terletak pada $\Delta T_e < 5^\circ\text{C}$. Pada daerah ini belum ada aktivitas pendidihan, gelembung uap air belum terbentuk. Fluida masih dalam bentuk satu fasa. Pergerakan fluida murni akibat konveksi bebas. Titik A dikenal dengan nama *Onset of Nucleate Boiling* (ONB).
- 2) Daerah pendidihan inti (*nucleate boiling*) terletak antara $5^\circ\text{C} < \Delta T_e < 30^\circ\text{C}$. Aktifitas gelembung telah muncul. mula-mula pada daerah A-B gas yang terjebak di dalam pori-pori permukaan padat (*nucleate*) makin membesar lalu lepas secara perlahan. Gelembung muncul secara individu dan berbentuk bulat sempurna (*isolated bubble*). Pergerakan gelembung ini menyebabkan terjadinya pencampuran fluida di sekitar permukaan padat sehingga koefisien perpindahan kalor konveksi dan fluks kalor juga meningkat tajam. Pada daerah B-C makin banyak gelembung yang terlepas dari pori-pori. Gelembung terlepas berbentuk lonjong dan bergerak sangat cepat menyebabkan gelembung saling bersentuhan dan bertabrakan. Koefisien perpindahan kalor menjadi maksimum pada daerah tersebut dan pada titik C diperoleh fluks kalor maksimum. Titik ini disebut titik kritis atau *Critical Heat Flux* (CHF).
- 3) Daerah pendidihan transisi (*transition boiling*) terletak antara $30^\circ\text{C} < \Delta T_e < 120^\circ\text{C}$. Pembentukan gelembung sedemikian cepatnya sehingga mulai terbentuk lapisan film uap air menyelimuti permukaan padat yang memisahkan sisi permukaan padat dengan cair. Naiknya temperatur permukaan mengakibatkan makin banyak pula permukaan padat yang ditutupi oleh lapisan film. Pada sembarang titik antara C dan D kondisi pendidihan masih tidak stabil, kadang turun ke pendidihan inti kadang pula naik ke pendidihan film. Karena itu daerah ini disebut pula daerah pendidihan film tidak stabil (*unstable film boiling*) atau pendidihan film sebagian (*partial film boiling*). Fluks kalor menurun dengan naiknya temperatur karena konduktifitas uap air (gas) jauh lebih kecil dari pada air (cair).
- 4) Daerah pendidihan film (*film boiling*) terletak pada $\Delta T_e > 120^\circ\text{C}$. Pada titik D disebut titik Leidenfrost. Fluks kalor bernilai minimum karena itu titik ini sering pula disebut titik fluks kalor minimum atau *Minimum Heat Flux* (MHF) yang merupakan kebalikan dari CHF. Seluruh permukaan telah diselimuti oleh

uap. Perpindahan kalor dari permukaan ke fluida terjadi secara konduksi dan radiasi. Seiring dengan naiknya temperatur permukaan fluks kalor juga meningkat dan perpindahan kalor secara radiasi makin dominan.

2.5 Wetting Limit Temperature

Karakteristik perpindahan kalor dari penguapan *droplet* ditunjukkan oleh kurva penguapan seperti pada gambar 2.7. Sumbu vertikal adalah *droplet life time* dan sumbu horisontal temperatur awal permukaan panas.



Gambar 2.7 Kurva Penguapan dan Pembagian Regionnya
Sumber : *Heat Transfer—Asian Research* (2006 : 514)

Pada kurva tersebut terdapat sebuah titik minimum yang disebut titik penguapan minimum, sebuah titik minimum yang disebut titik *Leidenfrost*. *Droplet evaporation time* atau *droplet life time* adalah waktu yang dibutuhkan *droplet* mulai tepat saat menyentuh permukaan panas sampai *droplet* tersebut habis menguap.

Wetting limit temperature sedikit lebih tinggi dari titik minimum *evaporation time* dan diperoleh dengan cara mengamati perilaku *droplet* yang sedang menguap. Ketika *droplet* oli jatuh menimpa permukaan panas, maka pada tahap awal perpindahan panas terjadi secara konduksi sebab antara *droplet* yang masih dalam fase cair kontak langsung dengan permukaan panas. Jika temperatur permukaan sedang, kalor dari permukaan panas mula-mula ditransfer ke cairan

film secara konduksi dan kemudian penguapan terjadi dari permukaan *liquid film* tersebut. Bertambahnya temperatur permukaan menyebabkan waktu penguapan turun dan di daerah dekat *wetting limit temperature* terjadi pendidihan hebat bersamaan dengan penguapan dimana *droplet* meloncat lepas dari permukaan ke atas dan kemudian membentuk *secondary droplet* yang selanjutnya jatuh kembali ke permukaan panas. Apabila temperatur permukaan lebih rendah dari *temperatur wetting limit*, maka kontak langsung cairan-padat terjadi lagi dan *secondary droplet* mengulangi proses yang sama sampai *droplet* habis menguap. Sebaliknya jika temperatur permukaan melebihi temperatur *wetting limit*, lapisan uap tipis terbentuk antara *secondary droplet* dengan permukaan panas. Pada akhirnya *secondary droplet* menjadi keadaan *Leidenfrost* dan dengan menaikkan temperatur permukaan maka waktu penguapan juga meningkat (Hidaka *et al*, 2006).

2.6 Temperatur *Leidenfrost*

Temperatur *Leidenfrost* adalah temperatur dimana titik perpindahan kalor mengalami perubahan arah, dari turun menjadi naik atau sebaliknya. Pada temperatur ini *film boiling* dimulai. Di atas temperatur tersebut *droplet* tidak lagi mampu membasahi permukaan dan hanya melayang-layang di atas uap yang membatasi antara *droplet* dengan permukaan padat. Untuk menentukan besarnya maka perlu dilakukan pengujian (Bernardin, 1999).

2.7 Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai jenisnya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan tungsten. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*),

namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

2.7.1 Klasifikasi Baja

Menurut komposisi kimianya dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Suatu baja akan dapat dikatakan sebagai baja paduan bila mengandung sejumlah unsur paduan dalam jumlah tertentu sehingga mempengaruhi sifatnya. Unsur paduan yang sering digunakan pada baja paduan selain silikon dan mangan, antara lain krom, nikel, tungsten, molybdenum, vanadium, titanium, aluminium dan lain-lain.

Penambahan unsur paduan pada baja biasanya dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mekanik (terutama kekuatan, keuletan, ketangguhan), sifat tahan aus, sifat tahan korosi, *machinability* atau untuk memperbaiki sifat *hardenability*.

Berdasarkan standar Amerika, klasifikasi *alloyed steels* terdiri dari :

- *Low-alloy steels*, jika total jumlah elemen paduannya tidak mencapai 2,5%.
- *Medium-alloy steels*, jika jumlahnya berkisar antara 2,5% sampai 10%.
- *High-alloy steels*, jika jumlahnya mencapai 10%.

Prosentase dari unsur-unsur paduan dapat mempengaruhi kualitas dan karakteristik baja dan tergantung pada jenis paduannya sehingga dapat menentukan sifat baja yang dikehendaki.

Dalam klasifikasi umum diperoleh 4 kelompok baja (Zakharov, 1962), yaitu :

- *Carbon structural steels*
- *Carbon tool steels*
- *Alloyed structural steels*
- *High alloyed structural steels* dengan properti fisik spesial dan *ico-chemical*.

2.7.2 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 % C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua karbon, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhan

sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen body mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan kaleng, pagar, dan lain-lain. (ASM handbook vol.1 : 329,1993)

2.7.3 Penamaan Baja Dalam Standar AISI (*American Iron and Steel Institute*)

1. Angka pertama menunjukkan jenis baja.

Tabel 2.3 Penamaan Baja

SAE designation	Type
1xxx	<i>Carbon steels</i>
2xxx	<i>Nickel steels</i>
3xxx	<i>Nickel-chromium steels</i>
4xxx	<i>Molybdenum steels</i>
5xxx	<i>Chromium steels</i>
6xxx	<i>Chromium-vanadium steels</i>
7xxx	<i>Tungsten steels</i>
8xxx	<i>Nickel-chromium-vanadium steels</i>
9xxx	<i>Silicon-manganese steels</i>

Sumber : www.wikipedia.com/SAE_steel_grades.htm

2. Angka kedua menunjukkan:
 - a. Kadar unsur paduan untuk baja paduan sederhana.
misal: AISI 43xx = Ni 1.40%, Cr 0.90% atau 1.40%.
 - b. Modifikasi jenis baja paduan untuk baja paduan yg kompleks.
misal: AISI 43xx = baja nikel-krom-molybdenum ; AISI 41xx = baja krom-molybdenum
3. Dua angka atau tiga angka terakhir menunjukkan kadar karbon perseratus persen.
misal: AISI 4340= baja nikel-krom-Molybdenum dengan 0,40 % C
4. Bila terdapat huruf didepan angka maka huruf tersebut menunjukkan proses pembuatan bajanya.
misal: B = *Acid bessemer carbon steel*

C = *Basic open-hearth carbon steel*

E = *Basic electric furnace process*

2.8 Hipotesa

Semakin tinggi viskositas oli maka akan mempengaruhi penyebaran *droplet* saat menumbuk, diikuti dengan menurunnya luas sebaran *droplet* sehingga intensitas laju perpindahan kalor dan perpindahan kalor total akan menurun, namun waktu evaporasi semakin meningkat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

