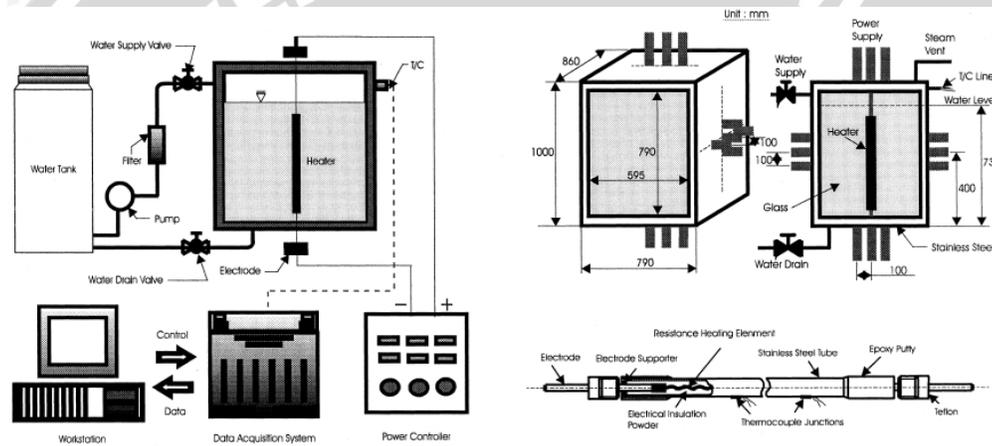


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

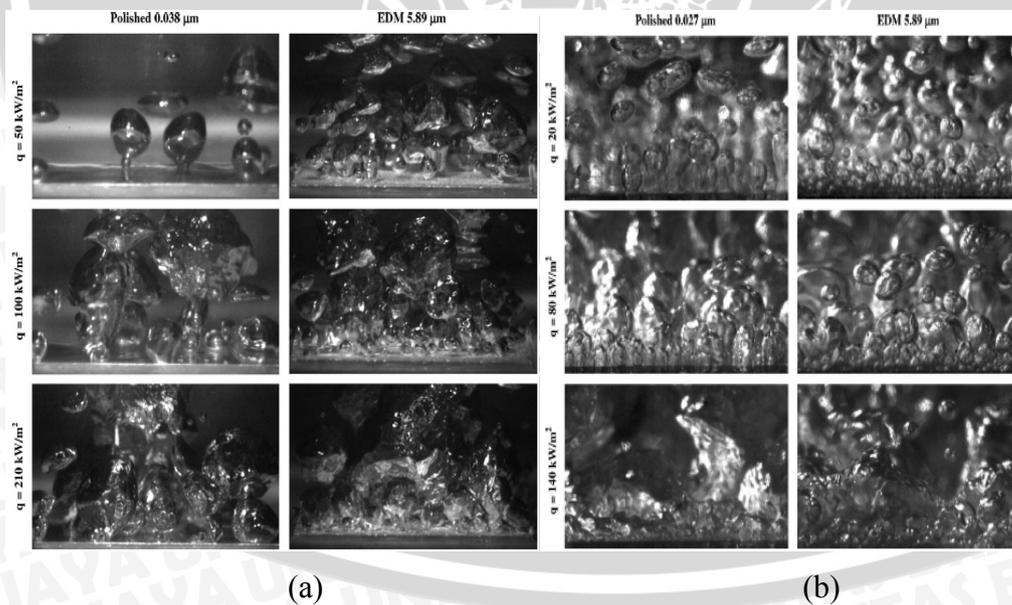
Myeong-Gie Kang (2000) telah melakukan penelitian pada *tubular heat exchanger* untuk menentukan efek dari kekasaran permukaan pada proses pendidihan *pool boiling* di dalam tangki air pada tekanan atmosfer seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram instalasi
Sumber: Kang, Myeong-Gie (2000)

Sepanjang proses percobaan, beberapa data untuk q'' dan ΔT telah didapatkan secara empiris menggunakan beberapa kombinasi dari diameter tabung, kekasaran permukaan yang dipanaskan, orientasi tabung, dan panjang tabung sehingga didapatkan beberapa kesimpulan dari penelitian yang ia lakukan yaitu diketahui bahwa meningkatkan kekasaran permukaan memberikan proses perpindahan panas yang lebih baik karena kekasaran permukaan biasanya mempunyai lebih banyak rongga daripada permukaan yang halus. Penelitian ini juga ditujukan untuk mendapatkan efek dari kekasaran permukaan pada proses *pool boiling* pada tabung, intensitas pergolakan cairan, dan kumpulan gelembung pada permukaan. Peningkatan densitas dari bagian yang aktif dan intensitas dari pergolakan cairan juga meningkatkan perpindahan panas.

Benjamin *et al.* (2009) juga melakukan penelitian yang berkaitan mengenai efek kekasaran permukaan pada proses perpindahan panas *pool boiling* dengan menggunakan dua jenis fluida. Pengaruh kekasaran permukaan pada proses perpindahan panas *pool boiling* yang telah dilakukan secara eksperimental menghasilkan beberapa nilai-nilai kekasaran yang berbeda untuk air dan fluorinert (FC-77), dua cairan dengan sifat termal yang berbeda dan karakteristik pembahasan juga yang berbeda. Permukaan uji dipoles dengan kekasaran tertentu. Kemudian tren/perubahan koefisien perpindahan panas diamati untuk kedua cairan tersebut pada set permukaan uji yang sama. Untuk FC-77 didapatkan koefisien perpindahan panas terus meningkat dengan meningkatnya kekasaran. Untuk air, permukaan dengan kekasaran menengah menghasilkan koefisien perpindahan panas yang hampir sama satu sama lain, akan tetapi lebih tinggi daripada permukaan yang dipoles, sedangkan permukaan kasar menunjukkan koefisien perpindahan panas tertinggi. Koefisien perpindahan panas yang dipengaruhi oleh kekasaran permukaan menunjukkan bahwa FC-77 lebih tinggi daripada air dimana peningkatan koefisien perpindahan panas juga mempengaruhi jumlah gelembung yang muncul seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *boiling* (a) air dan (b) FC-77 untuk berbagai fluks panas dan kekasaran permukaan.

Sumber: Benjamin *et al.* (2009)

Kandiklar (2010) melakukan penelitian mengenai proses pendidihan dengan menggunakan berbagai macam plat yang terdapat kekasaran permukaan dalam bentuk

microchannel. Dimana dalam penelitian ini menggunakan 6 plat yang mana 1 plat polos dan 5 plat lainnya diproses *micromachined*. Pada penelitian kali ini dihasilkan dimana plat dengan tambahan yang dibuat pada permukaannya yang berupa *microchannel* lebih baik dari pada plat polos yang mana dibuktikan dalam penelitian kali ini plat yang terdapat atau diberi *microchannel* pada permukaannya berupa lebar 200 μm dan kedalaman 275 μm memiliki peningkatan efisiensi pendidihan yang paling tinggi.

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang memprediksi perpindahan energi yang terjadi pada bagian dari material tersebut yang terjadi akibat perbedaan suhu. Pada termodinamika dijelaskan bahwa perpindahan energi ini didefinisikan sebagai panas. (Holman, 2010:1). Panas yang merupakan bentuk energi yang dapat di *transfer* dari satu sistem ke sistem lain sebagai akibat dari perbedaan suhu. Ilmu yang berhubungan dengan penentuan tingkat *transfer* energi tersebut adalah *transfer* panas. (Cengel, 2003:2)

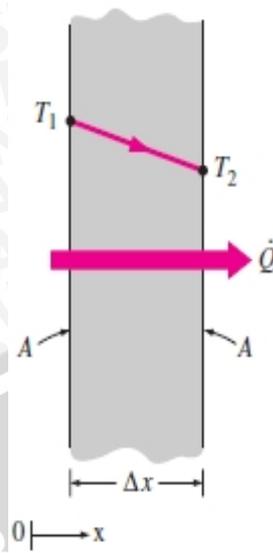
2.2.1 Konduksi

Konduksi dapat dilihat sebagai *transfer* energi dari lebih energik (suhu tinggi) untuk partikel kurang energik (suhu rendah) dari suatu zat karena interaksi antara partikel seperti yang diterangkan pada gambar 2.3 mengenai perpindahan panas konduksi melalui sebuah bidang dengan tebal Δx . Ketika ada gradien suhu pada suatu benda, berdasarkan percobaan bahwa ada *transfer* energi dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah (Holman, 2010:1).

$$Q_k = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} = k \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (\text{Holman, 2010:1}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

Q_{konduksi}	=	Laju perpindahan kalor konduksi	(W)
k	=	Konduktivitas termal bahan	(W/m $^{\circ}\text{C}$)
A	=	Luas permukaan perpindahan panas	(m 2)
$T_1 - T_2$	=	Perbedaan temperatur	($^{\circ}\text{C}$)
Δx	=	Ketebalan permukaan pada arah x	(m)



Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi melalui sebuah bidang dengan tebal Δx
 Sumber: Cengel (2003:18)

2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah jenis *transfer* energi antara permukaan padat dan cairan yang berdekatan atau gas yang bergerak, dan melibatkan efek gabungan dari konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi. Jika tidak ada pergerakan fluida, perpindahan panas antara permukaan padat dan cairan yang berdampingan adalah konduksi murni. Dengan adanya gerakan cairan dengan jumlah besar meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan cairan.

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (\text{Cengel, 2003:26}) \quad (2-2)$$

Keterangan :

\dot{Q}_{conv} = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W/m}^2\text{°C}$)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

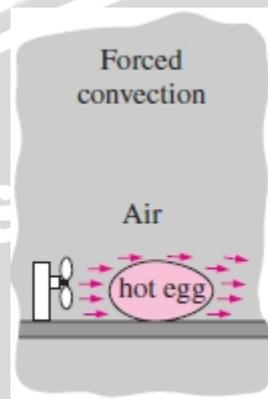
T_s = Temperatur permukaan benda (°C)

T_∞ = Temperatur fluida pada jarak tertentu dari permukaan (°C)

Konveksi dibagi menjadi 2 macam yaitu :

a. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

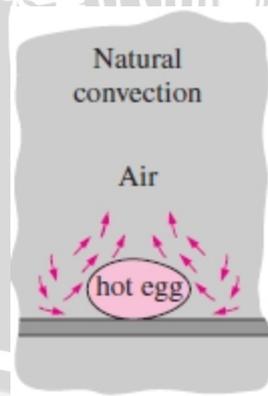
Proses konveksi dapat dikatakan sebagai konveksi paksa jika cairan dipaksa mengalir di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas angin, pompa, atau angin yang dijelaskan pada ilustrasi gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konveksi paksa
Sumber: Cengel (2003:26)

b. Konveksi Alami (*Natural Convection*)

Proses konveksi dapat dikatakan sebagai konveksi alami jika gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan karena variasi suhu dalam cairan seperti pada gambar 2.5. (Cengel, 2003:25)



Gambar 2.5 Konveksi alami
Sumber: Cengel (2003:26)

2.2.3 Radiasi

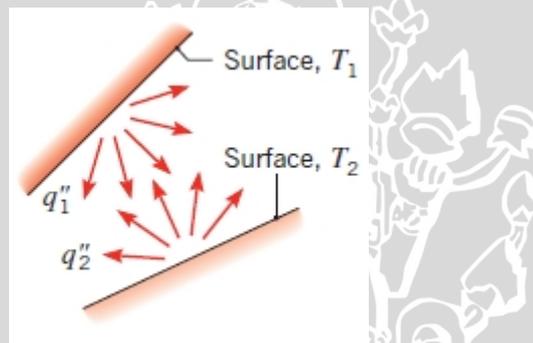
Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh suatu materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik sebagai akibat dari perubahan dalam konfigurasi elektron dari

suatu atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, *transfer* energi oleh radiasi tidak memerlukan adanya media seperti contoh pada gambar 2.6. Bahkan, *transfer* energi oleh radiasi merupakan yang tercepat (dengan kecepatan cahaya) dan dapat melewati ruang hampa. Seperti itulah bagaimana energi matahari sampai ke bumi. (Cengel, 2003:27)

$$Q_r = \varepsilon_i A_s T_s^4 \quad (\text{Cengel, 2003:28}) \quad (2-3)$$

Keterangan :

Q_r	=	Laju perpindahan panas radiasi	(Watt)
ε	=	Emisivitas; $0 \leq \varepsilon \leq 1$	
σ	=	Konstanta Stefan-Boltzman;	$(5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$
A_s	=	Luas permukaan perpindahan kalor	(m^2)
T_s	=	Temperatur absolut	$(^\circ\text{C})$



Gambar 2.6 Radiasi diantara dua permukaan yang berbeda temperatur
Sumber: Bergman (2003:2)

2.3 Boiling Heat Transfer

Terjadi pada bidang kontak padat-cair ketika cairan yang kontak langsung dengan permukaan padat yang suhu permukaan (T_s) lebih besar daripada temperatur jenuh (T_{sat}) dari cairan. Pada 1 atm misalnya, air yang bersentuhan langsung dengan permukaan padat bersuhu 110°C akan mendidih karena temperatur jenuh air pada 1 atm adalah 100°C . Proses *boiling* ditandai dengan pembentukan yang cepat dari gelembung uap pada bidang kontak padat-cair dan kemudian terlepas dari permukaan lalu gelembung-gelembung tersebut mencapai ukuran tertentu dan naik ke permukaan. Saat memasak, kita tidak mengatakan air itu mendidih sampai kita melihat gelembung-gelembung naik ke atas. (Cengel, 2003:516). *Heat flux* pendidihan dari benda padat ke cairan diekspresikan dari hukum Newton tentang pendinginan sbb :

$$\dot{q}_{boiling} = h(T_s - T_{sat}) = h \Delta T_{excess} \quad (\text{Cengel, 2003:516}) \quad (2-4)$$

Keterangan:

$\dot{q}_{boiling}$ = Heat flux pendidihan (W/m^2)

h = Koefisien perpindahan panas ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)

T_s = Temperatur Permukaan (K)

T_{sat} = Temperatur Jenuh (K)

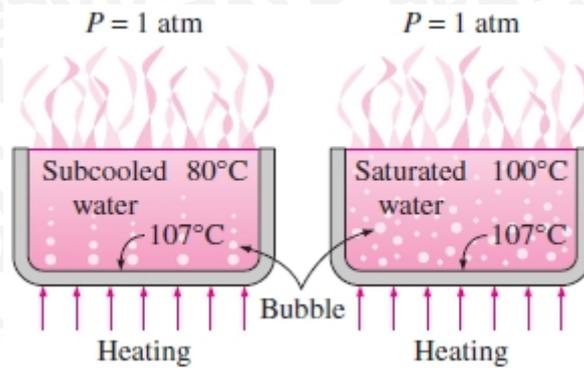
Proses *boiling* dalam prakteknya tidak terjadi dalam kondisi seimbang, biasanya gelembung tidak dalam kesetimbangan termodinamika dengan cairan sekitarnya. Artinya, suhu dan tekanan uap dalam gelembung biasanya berbeda dari yang dari cairan. Perbedaan suhu antara uap dalam gelembung dan cairan sekitarnya adalah faktor utama untuk perpindahan panas antara kedua fase. Ketika cairan tersebut memiliki suhu lebih rendah dari gelembung, panas akan ditransfer dari gelembung ke dalam cairan, menyebabkan beberapa uap di dalam gelembung berkondensasi dan gelembung akhirnya menghilang. Ketika cairan memiliki suhu yang lebih tinggi dari gelembung, panas akan ditransfer dari cairan ke gelembung, menyebabkan gelembung tumbuh dan naik ke atas di bawah pengaruh gaya apung. Pada *boiling* heat transfer ini dibagi menjadi dua macam berdasarkan gerakan fluidanya yaitu *pool boiling* dan *flow boiling*. Lalu *pool* dan *flow boiling* di klasifikasikan lagi menjadi dua berdasarkan suhu fluidanya yang diilustrasikan pada gambar 2.7 yaitu :

a. *Subcooled Boiling*

Proses *boiling* dikatakan *subcooled boiling* ketika temperatur dari keseluruhan cairan berada dibawah temperature saturation (T_{sat}).

b. *Saturated Boiling*

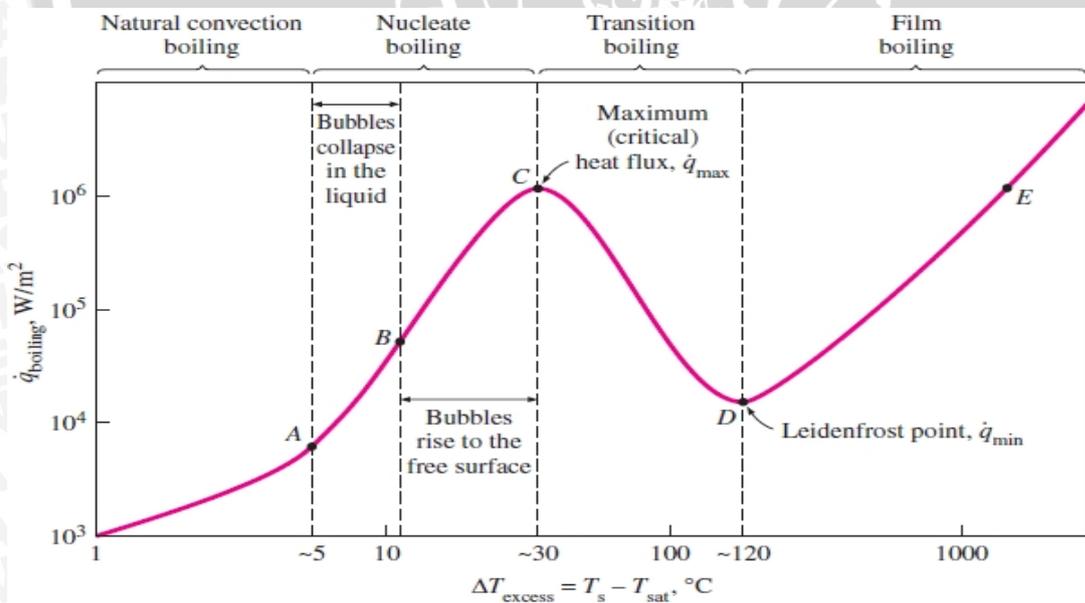
Proses *boiling* dapat dikatakan sebagai *saturated boiling* ketika suhu cairan keseluruhan sama dengan temperature saturation (T_{sat}).



Gambar 2.7 *Subcooled and saturation boiling*
Sumber: Cengel (2003:26)

2.3.1 *Pool Boiling*

Merupakan proses pendidihan dengan cairan yang stasioner. Pada proses pendidihan, cairan tersebut tidak dipaksa untuk mengalir dengan penggerak tambahan seperti pompa, dan setiap gerakan cairan dikarenakan arus konveksi alami dan gerakan gelembung-gelembung di bawah dipengaruhi oleh gaya apung (Cengel, 2003:518). Pada proses *pool boiling* terdapat 4 macam regime yang berbeda yang diilustrasikan dalam bentuk kurva pada gambar 2.8 ini.



Gambar 2.8 Kurva pendidihan untuk air
Sumber: Cengel (2003:519)

a. *Natural Convection Boiling*

Di dalam termodinamika pada suatu zat yang murni pada tekanan tertentu mulai mendidih saat mencapai temperatur jenuh pada tekanan itu. Tetapi secara aktual kita tidak melihat gelembung terbentuk di permukaan yang mengalami pemanasan sampai cairan dipanaskan beberapa derajat diatas temperatur jenuh (sekitar 2-6 °C untuk air). Oleh karena itu cairan sedikit *superheated* dalam keadaan ini dan menguap ketika naik ke permukaan bebas. Gerakan fluida dalam keadaan ini diatur oleh arus konveksi alami, dan perpindahan panas dari permukaan pemanasan ke cairan juga merupakan proses konveksi alami. (Cengel, 2003:519)

b. *Nucleate Boiling*

Nucleate boiling merupakan proses pendidihan yang paling diinginkan di dalam kehidupan sehari-hari karena kecepatan perpindahan panas yang tinggi dapat dicapai dalam proses ini dengan nilai ΔT_{excess} yang relatif kecil biasanya di bawah 30 °C untuk air.

Gelembung pertama mulai terbentuk dari berbagai bagian dari permukaan yang dipanaskan. Pembentukan gelembung meningkat seiring dengan peningkatan jumlah situs pengintian. *Nucleate boiling* dibagi menjadi dua wilayah yang berbeda. Wilayah yang pertama (A-B), gelembung yang terisolasi telah terbentuk pada berbagai macam situs pengintian pada permukaan yang mengalami pemanasan. Tapi gelembung ini hilang dalam cairan tidak lama setelah gelembung tersebut terpisah pada permukaan. Ruang yang kosong karena naiknya gelembung diisi oleh cairan disekitar permukaan yang mengalami pemanasan, dan begitu seterusnya. Pada wilayah yang selanjutnya (B-C), suhu pemanas meningkat lebih lanjut, dan gelembung yang terbentuk pada jumlah yang besar sebesar situs pengintian yang dimana situs pengintian tersebut membentuk berbagai kolom berkelanjutan dari uap dalam cairan seperti yang tertera pada gambar 2.9. Gelembung ini berpindah semua sampai ke permukaan dimana gelembung tersebut pecah dan melepaskan isi uapnya. *Heat flux* pada titik C disebut titik kritis atau *maximum heat flux*. (Cengel, 2003:519)

Nucleate pool boiling heat flux dapat dihitung melalui persamaan rohseow di bawah ini

$$\dot{q}_n = \mu_l h_f \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[\frac{C_p (T_s - T_s)}{C_s h_f Pr_l^n} \right]^3 \quad (\text{Cengel, 2003:522})$$

Dimana :

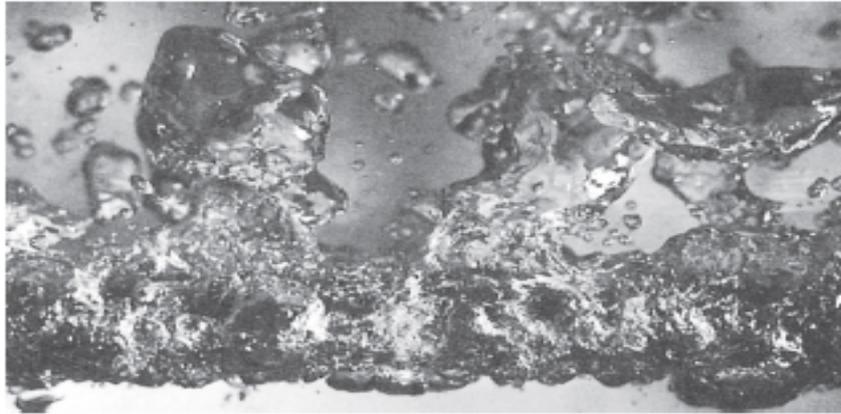
- P_r = Prandtl number
- μ_l = Viscosity of the liquid, kg/m.s
- h_f = Enthalpy of vaporization, J/kg
- g = Gravitational acceleration, m/s²
- ρ_l = Density of the liquid, kg/m³
- ρ_v = Density of the vapor, kg/m³
- σ = Surface tension of the liquid-vapor interface, N/m
- C_p = Spesific heat of the liquid, J/kg.°C
- C_s = Experimental constant that depends on surface-fluid combination



Gambar 2.9 Nucleate boiling
Sumber: Cengel (2003: 521)

c. Transition Boiling

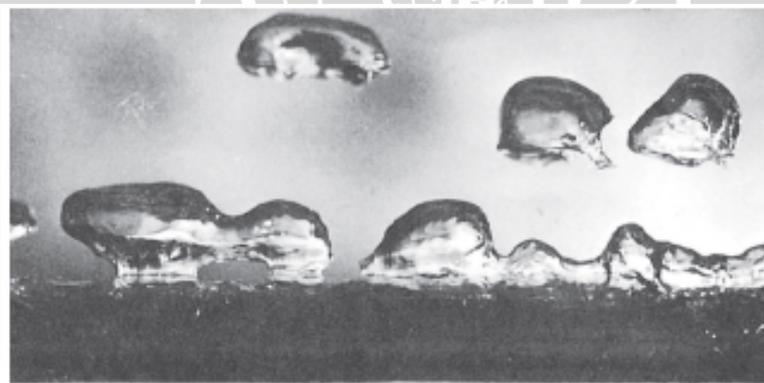
Pada daerah ini *heat flux* menurun dengan meningkatnya T_{excess} , karena permukaan *heater* tertutupi oleh *vapor film*. Lapisan uap tersebut akan berfungsi sebagai isolasi karena uap mempunyai k (konduktivitas termal) yang relatif rendah dibandingkan dengan konduktivitas termal cairan. Pada daerah ini, antara *nucleate boiling* dan *film boiling* keduanya terjadi bersamaan seperti pada gambar 2.10. Daerah ini disebut dengan *unstable film boiling regime* dan dalam praktis tidak disukai. Pada tahap ini *nucleate boiling* pada titik C digantikan oleh *film boiling* pada titik D. Untuk air terjadi pada *temperature excess* antara 30 – 120°C . (Cengel, 2003:520)



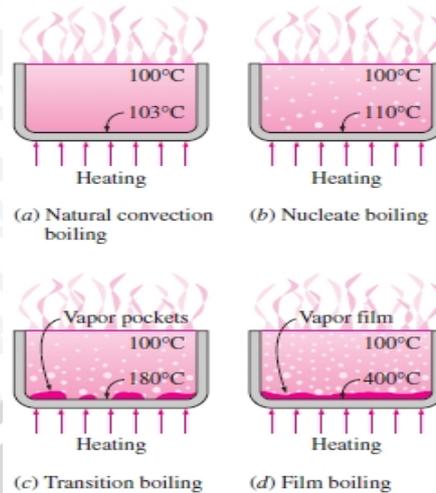
Gambar 2.10 *Transition boiling*
Sumber: Cengel (2003: 521)

d. *Film Boiling*

Pada daerah ini, seluruh permukaan *heater* ditutupi oleh *continuous stable vapor film* yang dapat dilihat pada gambar 2.11. Pada titik tertentu, *heat flux* akan mencapai minimum dan diberi nama *Leidenfrost point* (titik D). *Heat transfer* akan meningkat dengan meningkatnya T_{excess} karena dominannya proses radiasi pada daerah ini (pada temperatur tinggi). (Cengel, 2003:520)



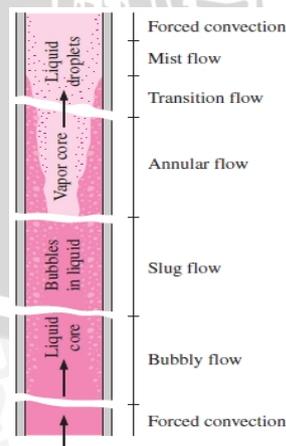
Gambar 2.11 *Film boiling*
Sumber: Cengel (2003:521)



Gambar 2.12 *Boiling regime*
Sumber: Cengel (2003:520)

2.3.2 *Flow Boiling*

Hampir sama dengan proses *pool boiling* akan tetapi pada *flow boiling* melibatkan fluida (cairan) yang bergerak, dan gelembung uap yang naik ke atas sebagai efek dari gaya apung. Dalam *flow boiling*, cairan dipaksa untuk bergerak oleh sumber eksternal seperti pompa sehingga mengalami perubahan fasa. Pendidihan dalam hal ini menunjukkan efek gabungan antara konveksi dan *pool boiling*. *Flow boiling* dibagi menjadi dua yaitu *external flow boiling* dan *internal flow boiling* tergantung apakah cairan dipaksa mengalir di atas permukaan yang mengalami pemanasan atau di dalam tabung yang juga mengalami proses pemanasan.



Gambar 2.13 *Flow boiling*
Sumber: Cengel (2003:531)

2.4 Boiling Heat Flux

Boiling Heat flux menunjukkan besarnya kalor yang di transfer per satuan luas. Dalam penelitian kali ini yang dimaksud dengan heat flux yaitu besarnya kalor pada suatu proses pendidihan yang ditransfer dari plat pemanas (spesimen) ke air per satuan luas permukaan. Di dalam penelitian kali ini *boiling heat flux* dapat dihitung dengan persamaan 2-4.

2.5 Heat Transfer Coefficient

Heat transfer coefficient merupakan koefisien atau bisa juga disebut dengan faktor pengali untuk mendapatkan nilai dari *boiling heat transfer*. Pada penelitian kali ini, nilai dari heat transfer coefficient didapatkan dari persamaan gorenflo di bawah ini.

$$h = h_0 C (P_r) \left(\frac{\dot{q}_n}{q_0} \right)^n \quad (\text{Gorenflo, 1993})$$

dengan, $C = \left(\frac{R_a}{R_{a0}} \right)^{0,133}$; $R_{a0} = 0,4 \mu$

$$F(P_r) = 1,73 P_r^{0,2} + \left(6,1 + \frac{0,68}{1 - P_r} \right) P_r^2$$

$$P_r = \left(\frac{P}{P_{crit}} \right)$$

$$n = 0,9 - 0,3 P_r^{0,1}$$

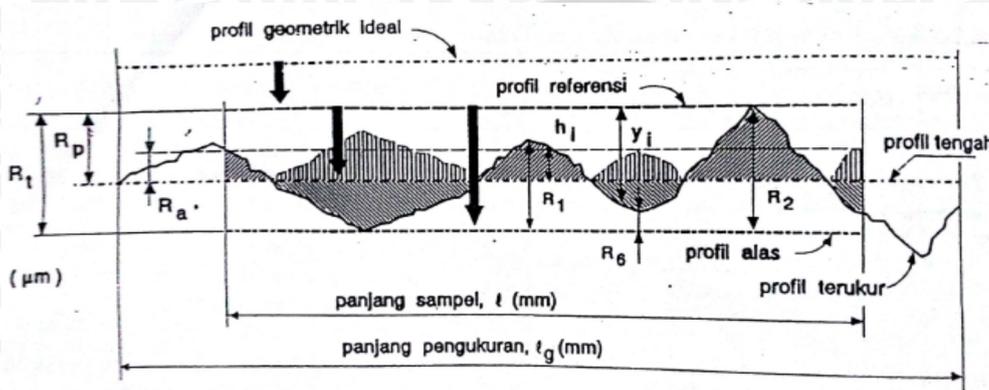
Dimana:

- P_r = Prandtl number
- h_0 = Reference heat transfer coefficient, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
- q_0 = Reference heat flux, W/m^2
- R_a = Kekasaran permukaan aritmatik, μm
- R_{a0} = Reference roughness parameters, μm
- P_{sat} = Saturated pressure, bar
- P_{crit} = Critical pressure, bar
- \dot{q}_n = Nucleate pool boiling heat flux, W/m^2

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan sebuah ketidakraturan suatu konfigurasi permukaan yang dapat berupa goresan atau lekukan-lekukan pada benda. Nilai kekasaran

permukaan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu juga dapat mempengaruhi kemampuan benda untuk mencegah terjadinya korosi pada permukaan. Zat atau material yang bersifat korosif akan bertempat pada material yang nilai kekasarannya tinggi sehingga kecenderungan untuk berkarat semakin besar.



Gambar 2.14 Profil permukaan
Sumber : Rochim (1993)

a. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

b. Profil Referensi (*Reference Profile*)

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan bentuk profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran.

c. Profil Terukur (*Measured Profile*)

Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.

d. Profil Dasar (*Root Profile*)

Profil dasar adalah profil referensi yang digeserkan kebawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

e. Profil Tengah (*Centre Profile*)

Profil tengah adalah profil yang berada ditengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan kebawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama yaitu atas dan bawah.

Beberapa parameter yang bisa dijabarkan dari profil-profil yangtelah disebutkan diatas antara lain adalah:

a) Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t (μm)

Merupakan besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar

b) Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p (μm)

Merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur

c) Kekasaran Rata-Rata Aritmatik (*Mean Roughness Index*), R_a (μm)

Harga rata-rata aritmatik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R = (|Z_1| + |Z_2| + |Z_3| \dots |Z_N|)/N$$

Keterangan :

N = Jumlah pengukuran

Z_i = Tinggi puncak atau lembah

2.7 Hubungan Antara Kekasaran Permukaan dengan Tingkat Perpindahan Panas

Tingkat perpindahan panas dalam *nucleate boiling regime* sangat bergantung pada jumlah dari situs pengintian yang aktif pada permukaan dan laju pembentukan gelembung pada setiap situs. Oleh karena itu, modifikasi pada permukaan akan meningkatkan pengintian pada permukaan tersebut sehingga tingkat perpindahan panas pada *nucleate boiling* juga meningkat. Hal ini diamati bahwa penyimpangan pada permukaan yang dipanaskan termasuk kekasaran dan kotoran dianggap sebagai situs

pengintian tambahan selama proses pendidihan. Contohnya seperti gelembung pertama dalam panci berisi air yang terbentuk pada goresan permukaan bawah panci. Goresan tersebut bertindak sebagai “sarang” untuk pembentukan gelembung dan demikian meningkatkan laju pembentukan gelembung. (Cengel, 2003:526)

2.8 Efisiensi

Efisiensi secara umum merupakan perbandingan terbaik antara usaha dan juga hasil. Jadi dapat dikatakan juga dengan usaha yang seminimal mungkin namun bisa menghasilkan output yang besar. Sedangkan efisiensi energi didefinisikan sebagai metode, teknik, dan prinsip-prinsip yang memungkinkan untuk dapat menghasilkan penggunaan energi lebih efisien dan membantu penurunan permintaan energi global. Hal tersebut ditujukan demi memperkecil sumber daya yang digunakan akan tetapi mendapatkan hasil yang sebesar-besarnya (Novita, 2012). Dalam penelitian ini efisiensi yang dimaksud ialah perbandingan antara energi listrik yang digunakan oleh pemanas dan kalor yang diserap oleh air. Jadi dengan menggunakan energi listrik yang sama pada setiap percobaan diharapkan menghasilkan output (kalor yang diserap air) yang lebih besar daripada proses pemanasan yang menggunakan permukaan yang standard (datar).

2.9 Hipotesis

Dengan semakin besarnya lebar lubang yang diikuti dengan semakin besarnya nilai kekasaran permukaan maka semakin besar pula cairan yang akan menjadi uap pada suhu tertentu terperangkap di dalam lubang sehingga kalor yang terperangkap menjadi lebih besar, lalu ketika terbentuk gelembung lalu gelembung besar lepas dari permukaan, kalor yang akan dilepaskan oleh gelembung ke bagian cairan yang lainnya menjadi lebih merata. Sehingga proses pendidihan menjadi lebih cepat.