STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH GEOMETRI *PIN FINS* TERHADAP FENOMENA *FLOW BOILING*

Cahya Dhika Wicaksana[1] dan Indro Pranoto[2*]
[1,2]Departemen Teknik Mesin dan Industri
Jl. Grafika No.2, Kampus UGM Yogyakarta 55281
E-mail: cahya.dhika@mail.ugm.ac.id[1], indro.pranoto@ugm.ac.id[2]*

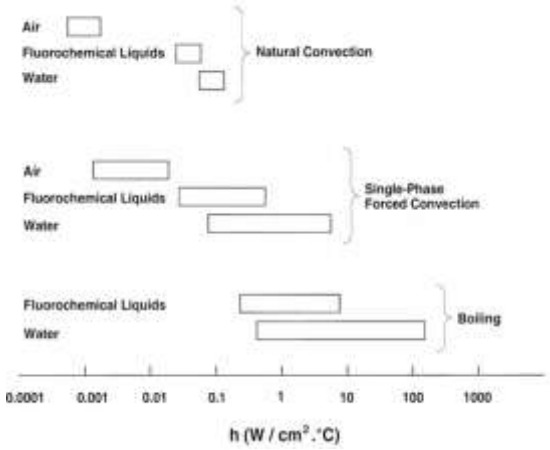
ABSTRACT
The development of technology in this modern era demands a reliable cooling system to protect existing technology in the industry. In this study the authors used a flow boiling cooling system method. This study is to determine the flow boiling phenomenon in cylindrical structures and square fins with the working fluid HFE- 7100. Analyzes were carried out at a heating power of 100 - 170 W with a mass flux of 6.57 - 19.7 kg/m^2·s. In theanalysis of the boiling phenomenon, the variation in heating power has an effect on the onset of nucleate boiling(ONB) and the number of bubbles. In both profiles, ONB for a mass flux of 6.57 kg/m^2·s s at a power of 120 W, amass flux of 13.14 kg/m^2·s at a power of 120 W, and a mass flux of 19.7 kg/m^2·s at a power of 130. W. Furthermore,in both fins, an increasing trend in the number of bubbles was seen to increase for a mass flux of 6.57 kg/m^2·s. with a heating power of 118.6 W to 171.6 W. Then in the two fins with a heating power of 170 W for a mass flux of 13.14 kg/m^2·s, there were more bubbles than for a mass flux of 6.57 kg/m^2·s.
Keywords: *Flow boiling, heat transfer coefficient, fins structured, boiling phenomenon, onset of nucleate boiling*

ABSTRAK
Perkembangan teknologi di era modern ini menuntut adanya sistem pendingin yang handal untuk melindungi teknologi yang ada di industri. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode sistem pendinginan *flow boiling*. Penelitian ini untuk mengetahui fenomena *flow boiling* pada struktur *fin* silinder dan sirip persegi denganfluida kerja HFE-7100. Analisis dilakukan pada daya pemanasan 100 - 170 W dengan fluks massa 6,57 - 19,7 kg/m^2·s. Dalam analisis fenomena pendidihan, variasi daya pemanasan berpengaruh terhadap timbulnya *onset ofnucleate boiling* (ONB) dan jumlah *bubble*. Pada kedua profil, ONB untuk fluks massa 6,57 kg/m^2·s terbentuk pada daya 120 W, fluks massa 13,14 kg/m^2·s pada daya 120 W, dan fluks massa 19,7 kg/m^2·s pada daya 130 W. Selanjutnya, di kedua *fin* tren peningkatan jumlah *bubble* terlihat meningkat untuk fluks massa 6,57 kg/m^2·s padadaya pemanasan 118,6 W - 171,6 W. Kemudian pada kedua *fin* dengan daya pemanasan 170 W untuk fluks massa13,14 kg/m^2·s, *bubble* yang terbentuk lebih banyak daripada fluks massa 6,57 kg/m^2·s.
Kata kunci: *Flow boiling, heat transfer coefficient*, struktur *fins*, fenomena pendidihan, *onset of nucleate boiling*

PENDAHULUAN

Temperatur operasi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja peralatandi dunia permesinan mulai dari mesin industry skala besar, peralatan elektronik, hingga peralatan rumahtangga. Selain berpengaruh terhadap timbulnya tegangan termal, kenaikan temperatur material juga berpengaruh terhadap timbulnya overheat. Overheat merupakan kondisi dimana suatu perangkat mengalami panas berlebih. Overheat diakibatkan oleh proses pendinginan yang tidak bekerja maksimalyang menimbulkan temperatur berlebih [1]. Fenomena ini akan mengakibatkan penurunan kekuatan ikatan atom material yang berdampak pada turunnya kekuatan material. Temperatur berlebih dapat memberikan dampak kerugian mulai dari berkurangnya potensi kinerja hingga masalah terhadap kesehatan komponen hardware. Perkembangan teknologi pada era modern ini menuntut adanya sistempendinginan yang handal untuk melindungi teknologi yang ada pada industri.

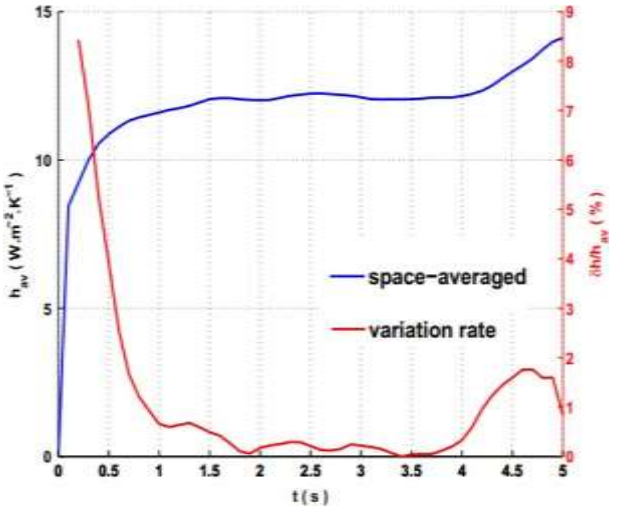
Perpindahan kalor khususnya sistem pendinginan dapat dilakukan melalui beberapa metode yakni metode aliran satu fasa dan dua fasa yang kemudian dibagi lagi menjadi beberapa jenis diantaranya radiasi, konduksi, konveksi satu fasa, dan *boiling*. Dalam perkembangan teknologi modern,telah dilakukan publikasi hasil penelitian terhadap aliran satu fasa dan dua fasa. Perbandingan *heat transfer coefficient* antara konveksi alami, konveksi paksa satu fasa, dan *boiling* untuk berbagai fluida kerja dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Trend publikasi penelitian terhadap aliran satu fasa dan dua fasa hingga tahun 2009 [2]

Dapat dilihat pada Gambar 1, *heat transfer coefficient* terbesar terjadi secara proses *boiling*. *Heat transfer coefficient* terutama dipengaruhi oleh fluks massa dan kualitas uap rata-rata [3]. Besarnya*heat transfer coefficient* berdampak pada kecepatan perpindahan kalor dari suatu zat ke zat yang lain. Dapat dikatakan metode *boiling* merupakan metode terbaik untuk pendinginan dari sebuah sistem.

Upaya untuk meningkatkan *Heat transfer coefficient* (HTC) pada *flow boiling* diperlukan untuksemakin meningkatkan performa pendinginan *flow boiling*. Pemilihan fluida pendingin yang tepat danmodifikasi permukaan merupakan contoh dari upaya meningkatkan laju perpindahan kalor. Dalam perkembangannya fluida pendingin seperti cairan dielektrik mulai digunakan sebagai media pendinginan *flow boiling*. Selain cara di atas, penambahan *pin fins* adalah pilihan lain yang baik untukmeningkatkan kinerja *flow boiling*. Faktanya, *fins* telah berhasil digunakan dalam lintasan compact *heatexchanger* karena manfaatnya yang nyata dalam memperbesar area perpindahan panas, meningkatkan situs nukleasi, dan perpotongan aliran [4]. Variasi *heat transfer coefficient* rata-rata *fins* selama periodependinginan dapat dilihat pada Gambar 2.

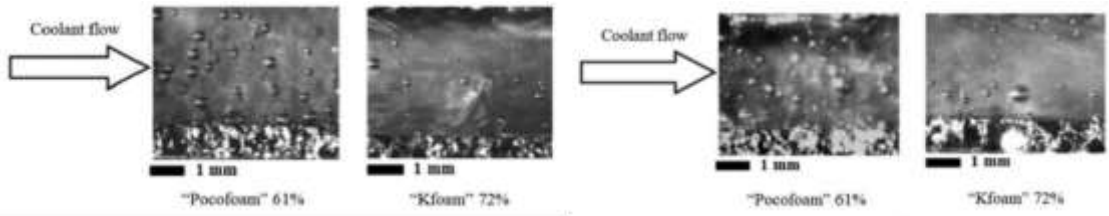


Gambar 2. Variasi *heat transfer coefficient* rata-rata *fins* selama periode pendinginan [5]

Berdasarkan Gambar 2 di atas, *fins* dapat menjadi solusi untuk peningkatan kalor yang terjadi pada peralatan elektronis modern karena dapat meningkatkan nilai *heat transfer coefficient* selama proses pendinginan. Proses studi eksperimental pada fasilitas *flow boiling* dengan mempertimbangkankonfigurasi *fins* dan berbagai fluida kerja sangat diperlukan guna mendapatkan nilai *heat transfer coefficient* dari suatu material atau benda uji. Studi ini diharapkan akan menjadi alat bantu untuk memahami *flow boiling* lebih lanjut terutama untuk mengetahui fenomena *flow boiling* pada tiap variasifluks massa, variasi profil, dan variasi fluks kalor.

TINJAUAN PUSTAKA

Pranoto dan Leong [6] melakukan studi tentang perpindahan kalor aliran mendidih dan karakteristik gelembung dari struktur busa grafit berpori dalam saluran. Kinerja dan fenomena aliran mendidih untuk fluks massa pendingin yang berbeda, celah evaporator, dan sifat busa diselidiki denganfasilitas eksperimen pendinginan dua fase. Dua jenis busa grafit dengan sifat termofisik yang berbeda yaitu. "Pocofoam" dengan porositas 61% dan "Kfoam" dengan porositas 72% digunakan sebagai struktur evaporator yang disempurnakan dan diuji dengan cairan dielektrik FC-72. Celah evaporator berukuran 6, 4, dan 2 mm diuji dengan fluks massa pendingin 50.100, dan 150 kg/m^{2}s. Gambar *flow boiling* dengan jenis grafit berbeda pada G = 150 kg/m^{2}s dan q'' = 83,3 W/cm^2 untuk (a) d = 6 mm dan
(b) d = 4 mm dapat dilihat pada Gambar 3.



a b

Gambar 3. Gambar *flow boiling* dengan jenis grafit berbeda pada G = 150 kg/m^{2}s dan pada q'' = 83,3 W/cm^2 untuk (a) d = 6 mm dan (b) d = 4 mm

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sifat celah evaporator, aliran cairan pendingin, dan busaberpengaruh terhadap karakteristik dan kinerja aliran didih. Ditemukan bahwa penggunaan "Pocofoam"dengan porositas 61% dan "Kfoam" dengan porositas 72% telah meningkatkan koefisien perpindahan kalor mendidih masing-masing hingga 2,5 dan 1,9 kali dibandingkan dengan permukaan yang halus. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kinerja pendidihan meningkat seiring dengan peningkatan fluks massa pendingin dan celah evaporator. Busa grafit "Pocofoam" dengan porositas 61% menunjukkan kinerja perebusan yang lebih baik daripada busa grafit "Kfoam" dengan porositas 72% untuk semua kasus yang diuji. Dari studi ini, koefisien perpindahan kalor didih aliran lokal maksimum sebesar 16,5 kW/m^2·K dicapai dengan "Pocofoam" porositas 61% pada jarak 6 mm dan fluks massa 150 kg/m^{2}s. Gambar aliran mendidih direkam untuk mempelajari fenomena aliran didih dan mekanisme pertumbuhan gelembung. Rezim gelembung "laminar" dan "turbulen" diamati dari gambar-gambar inidan gelembung "awan jamur" yang lebih besar serta lapisan film uap diidentifikasi pada fluks kalor 83,3 W/cm^2.

Penelitian terhadap *fin* kemudian dilakukan oleh Chien dkk. [7] dengan melakukan perhitungandan analisis terhadap *nucleate micro pin fins* dengan fluida kerja FC-72 yang memiliki temperatur saturasi 50°C. Perhitungan dan analisis ini membandingkan *micro pin fins* dengan tipe CNN yang tidakmemiliki pori dan tipe C-60-45 yang pada bagian tengahnya berupa nukleasi dengan pori berukuran 60µm dan berukuran 45 µm pada bagian atasnya. Perhitungan dan analisis dilakukan pada *microgap* dengan bagian uji berupa *tantalum wafer* dan digunakan variasi fluks massa 94 - 275 kg/m^2·s.

Hasil dari perhitungan dan analisis ini menunjukkan bahwa pada aliran satu fasa, kenaikan *heat flux* mempengaruhi kenaikan dari perbedaan temperatur yang terjadi apabila fluks massa konstan. Akantetapi, temperatur akan menurun jika fluks massa meningkat. Kemudian, pada aliran satu fasa tipe C- 60-45 memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe CNN. Tipe C-60-45 memiliki temperatur *Onset of Nucleat boiling* (ONB) lebih rendah daripada tipe CNN, hal ini dikarenakan permukaan pori menghasilkan tekanan negatif pada area *downstream* dari *fin* tersebut dan mengakibatkan *bubbles* terbentuk sehingga terjadi *boiling* [7].

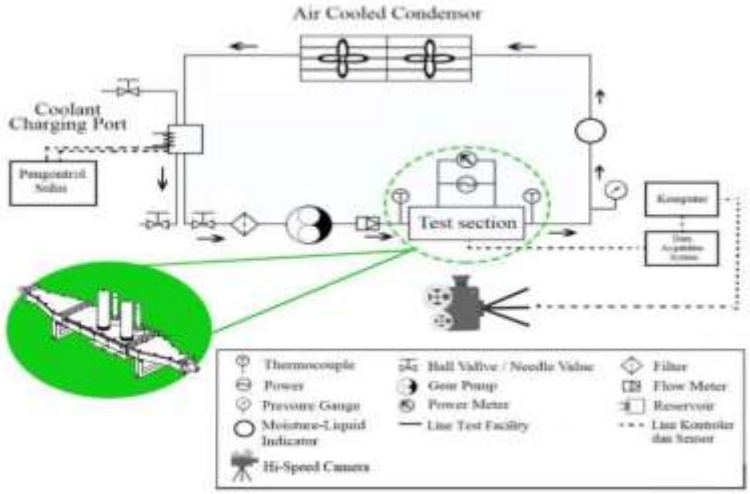
Temperatur ONB pada *pin fins* tipe C-60-45 mengalami peningkatan seiring semakin besarnyafluks massa yang digunakan. Hal ini mengakibatkan titik mulai *boiling* pada fluks massa yang tinggi mengalami penundaan. Sementara itu pada aliran satu fasa, koefisien perpindahan kalor dari tipe CNNlebih baik dari tipe C60-45, hal ini dikarenakan penggunaan nukleasi pori-pori dapat meningkatkan resistensi termal dari

fin sehingga efisiensi termal dari C-60-45 berkurang. Ketika *boiling* sudah terjadi,koefisien perpindahan kalor tipe C-60-45 lebih baik daripada tipe CNN karena perbedaan temperatur ONB pada C-60-45 lebih rendah. Pada tipe C-60-45 kenaikan fluks massa berdampak pada penurunannilai koefisien perpindahan kalornya. Hal ini disebabkan penundaan titik awal *boiling* pada fluks massayang tinggi [7].

Dari tinjauan pustaka yang sudah dibahas dapat disimpulkan bahwa fasilitas eksperimen *flow boiling* pada kanal horizontal selalu mengalami perkembangan. Selain itu, penggunaan struktur *fin* jugaselalu mengalami perkembangan dengan perhitungan dan analisis memakai berbagai fluida kerja dan berbagai jenis material. Penggunaan fluida kerja HFE-7100 menjadi referensi yang dapat digunakan dalam menganalisis objek tugas akhir ini. Berdasarkan permasalahan di atas, penulis melakukan studi eksperimental *flow boiling* dengan fluida kerja HFE-7100 sebagai salah satu fluida kerja yang belum dilakukan uji sebelumnya. Selain itu penulis juga membandingkan dua jenis *fins* dengan fokus pada fenomena *flow boiling* dan karakteristik *bubble* yang terbentuk pada setiap *fins*.

METODE

Alat uji eksperimen *flow boiling* tediri dari lima bagian utama yaitu reservoir, pompa, evaporator, kondensor, sistem perpipaan, sistem sensor, dan akuisisi data. Skema alat uji dapat dilihat pada Gambar 4.

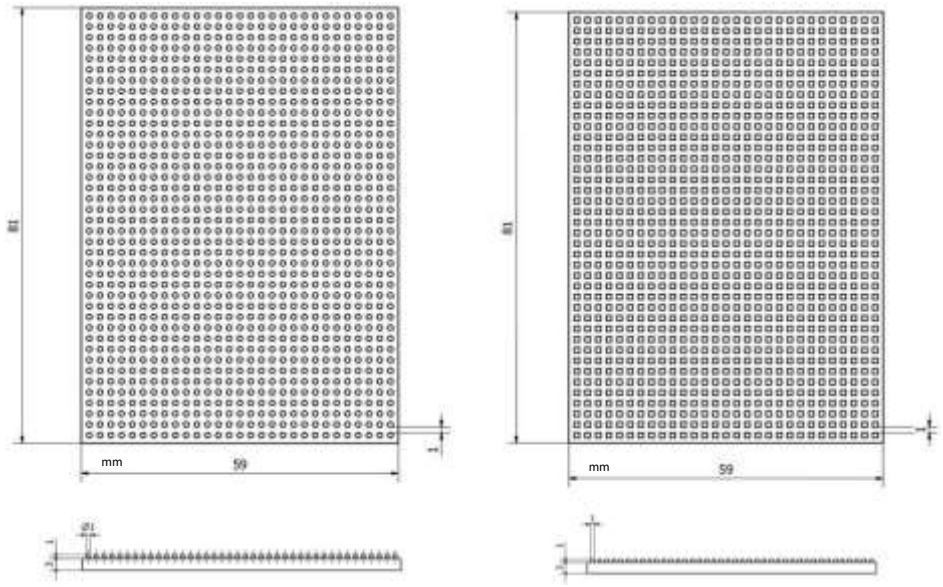


Gambar 4. Skema alat uji

Pada penelitian ini penulis menggunakan *pin fins* yang membagi ke dalam 2 jenis *fins* yaitu *silyndrical pin fins* dan *square pin fins*. Kedua jenis *pin fins* ini memiliki dimensi base sebesar 59 × 81 × 4 mm dengan konfigurasi spasi fin dan jarak fin sama yaitu sebesar 1 mm. Sedangkan untuk konfigurasi tinggi fin berbeda sehingga membentuk luasan fin yang sama. Dimensi dari fin disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1. Jenis dan Geometri Fin

Jenis	H (mm)	S (mm)	A (mm^2)
Fin Silinder	1	1	8424,71
Fin Kubus	1	1	9419



(a) (b)

Gambar 5. *Cylindrical* (a) dan *square* (b) *pin fins*

Selanjutnya fluida kerja menjadi komponen utama yang dibutuhkan pada penelitian ini dikarenakan properti dari fluida tersebut sangat berpengaruh terhadap koefisien perpindahan kalor darisistem. Fluida kerja yang digunakan pada fasilitas *flow* boiling harus kompatibel baik secara komponenkimia dan memiliki nilai koefisien dielektrik yang tinggi. Nilai koefisien dielektrik yang tinggi ini bertujuan untuk menghambat kontak aliran listrik saat penggunaan fasilitas berlangsung. Selain itu, fluida kerja juga harus memiliki titik didih yang tergolong rendah guna menjaga komponen-komponendari fasilitas *flow* boiling dapat bekerja dengan baik. Terdapat beragam alasan penting dalam pemilihanfluida kerja untuk sistem pendingin elektronis 2 fasa seperti faktor resiko yang rendah dan dampaknyaterhadap lingkungan. Selain itu, karakteristik termal fluida harus diuji lebih lanjut untuk mencapai performa perpindahan kalor yang tinggi. Tabel properti HFE–7100 pada tekanan 1 atm dan suhu 25°Cdapat dilihat pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Tabel properti air dan HFE–7100 pada tekanan 1 atm dan suhu 25°C [8]

Properti	HFE-7100	Properti	HFE-7100
Titik didih pada 1 atm (°C)	61	Tegangan permukaan (mN/m)	13,6
Tekanan uap (kPa)	28	*Dielectric strength* (kV)	28
Massa jenis liquid (kg/m^3)	1418	Konduktivitas Termal (W/m·K)	0,062
Massa jenis uap (kg/m^3)	9,7	Viskositas fase liquid (kg/m·s)	$4{,}268 \times 10^{-4}$
Kalor jenis (J/kg·K)	1170	Viskositas fase uap (kg/m·s)	$1{,}218 \times 10^{-4}$
Kalor laten (kJ/kg)	112	Spesifik volume fase liquid (m^3/kg)	$7{,}05 \times 10^{-4}$
Konduktivitas termal (W/mK)	0,068	Spesifik volume fase uap (m^3/kg)	0,103

Mekanisme Pengambilan Data

Penelitian ini diawali dengan studi literatur dari berbagai referensi ilmiah, seperti buku teks danjurnal internasional yang berkaitan dengan *flow boiling*. Kemudian peralatan dirakit dan uji kebocoranakan dilakukan jika semua kondisi terpenuhi. Sistem disuntikkan dengan udara bertekanan 1,5 bar. Jikaada kebocoran yang bisa diatasi dengan sealer, maka akan ditutup menggunakan perekat termal. Jika terjadi kebocoran dengan ukuran yang sangat kecil dengan jumlah yang banyak sedangkan permukaanyang bocor

tidak memungkinkan untuk ditutup, maka komponen tersebut akan diproduksi ulang.

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran pada alat, langkah selanjutnya adalah melakukan setting menggunakan kamera sebagai media dokumentasi agar data yang akan diambil valid. Proses pengolahan data dimulai dengan menaikkan variabel daya sedikit demi sedikit pada setiap nilai fluks massa. Kemudian pada setiap pengambilan data dilakukan dokumentasi menggunakan kamera Sigma 70 mm DG Macro Art untuk mengetahui fenomena pendidihan yang terjadi. Analisis dilakukan pada daya pemanasan 100 - 170 W dengan fluks massa 6,57 - 19,7 kg/m^2·s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenomena pendidihan merupakan parameter yang penting untuk diketahui dalam penelitian ini. Hal ini dikarenakan melalui visualisasi citra fenomena pendidihan yang terjadi akan diketahui pola aliran dan pembentukan gelembung-gelembung yang terjadi. Contoh gambar arah aliran dan bentuk gelembung digambarkan pada Gambar 6 dan gambar fenomena didih pada sirip silinder dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 6. *Flow direction* dan *bubble shape*

Tabel 3. Gambar fenomena pendidihan untuk *Fin Cylinder G* = 6,57 kg/m^2·s (a), *G* = 13,14 kg/m^2·s (b), dan *G* = 19,7 kg/m^2·s (c)

q (W)	Gambar
119	
171.6	

(a)

q (W)	Gambar
120.5	
171.2	

(b)

q (W)	Gambar
131.4	
172.2	

(c)

Pada sistem pendinginan *flow boiling* dengan penambahan fin silinder didapatkan *onset nucleat boiling* (ONB) atau proses awal pembentukan *bubble* terjadi untuk masing-masing fluks massa 6,57 kg/m^2·s pada daya 119 W, fluks massa 13,14 kg/m^2·s pada daya 118,6 W, dan fluks massa 19,7 kg/m^2·spada daya 131,4 W. Besaran daya pada proses pembentukan *onset nucleat boiling* dipengaruhi oleh performa pendinginan atau dengan kata lain semakin tinggi daya yang dibutuhkan dalam pembentukan *onset nucleat boiling* mengindikasikan suhu pada temperatur permukaan semakin menurun. Haltersebut menunjukkan sistem pendingin bekerja dengan baik sehingga nilai *heat transfer coefficient*

makin tinggi pula. Selanjutnya untuk gambar fenomena *boiling* untuk *rectangular fins* dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah.

Tabel 4. Gambar fenomena pendidihan untuk *Rectangular Fins G* = 6,57 kg/m^2·s (a), *G* = 13,14 kg/m^2·s (b), dan *G* = 19,7 kg/m^2·s (c)

q (W)	Gambar
122	
169.9	

(a)

q (W)	Gambar
118.6	
171	

(b)

q (W)	Gambar
132.2	
173.4	

(c)

Pada sistem pendinginan *flow boiling* dengan penambahan fin kubus didapatkan *onset nucleat boiling* (ONB) atau proses awal pembentukan *bubble* terjadi untuk masing-masing fluks massa 6,57 kg/m^2·spada daya 122 W, fluks massa 13,14 kg/m^2·s pada daya 118,6 W, dan fluks massa 19,7 kg/m^2·s pada daya132,2 W. Besaran daya pada proses pembentukan *onset nucleat boiling* dipengaruhi oleh performapendinginan atau dengan kata lain semakin tinggi daya yang dibutuhkan dalam pembentukan *onset nucleat boiling* mengindikasikan suhu pada temperatur permukaan semakin menurun. Hal tersebut menunjukkan sistem pendingin bekerja dengan baik sehingga nilai *heat transfer coefficient* makin tinggi pula.

Berdasarkan gambar pada Tabel 3 dan 4 di atas, ketika daya dinaikkan secara berkala jumlah *bubble*yang pada awalnya sedikit akan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 daya kalor awal 120 W pada fluks massa 6,57 kg/m^2·s baru terbentuk sedikit *bubble* sebagai penanda mulainya fase *onset nucleat boiling* dan kemudian pada daya 170 W *bubble* terlihat makin bertambah banyak. Setelah*bubble* mulai banyak terbentuk, aliran fluida akan membantu menyapu *bubble* searah aliran. Pada proses ini dipengaruhi oleh fluks massa percobaan dimana semakin tinggi fluks massa, semakin cepat pula *flow* menyapu *bubble-bubble* yang terbentuk. Hal ini dapat dilihat pada daya kalor yang sama yaitu 170 W didapatkan pada fluks massa 13,14 kg/m^2·s terdapat lebih banyak *bubble* dibandingkan pada fluks massa 6,57 kg/m^2·s. Hal tersebut diakibatkan frekuensi pembentukan *bubble* semakin tinggi sehingga meningkatkan *heat transfer* yang terjadi seiring dengan peningkatan *heat transfer coefficient.*

Selanjutnya didapatkan bahwa fluks massa berpengaruh terhadap nilai koefisien perpindahan kalorflow boiling. Pada *rectangular fins* dengan nilai fluks massa 19,7 kg/m^2·s didapatkan koefisien perpindahankalor 4,55 kW/m^2·K sedangkan fluks massa 6,57 kg/m^2·s koefisien perpindahan kalor 3,11 kW/m^2 atau dalam kata lain terdapat peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 46,11 % ketika fluks massa berubah dari 6,57 kg/m^2·s menjadi 19,7 kg/m^2·s. Sedangkan pada *cylindrical fins* dengan nilai fluks massa19,7 kg/m^2·s didapatkan koefisien perpindahan kalor 4,38 kW/m^2·K dengan fluks massa 6,57 kg/m^2·s koefisien perpindahan kalor 2,99 kW/m^2·K atau dalam kata lain terdapat peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 46,57 % ketika fluks massa berubah dari 6,57 kg/m^2·s menjadi 19,7 kg/m^2·s. Selanjutnya analisis dilakukan pada setiap profil spesimen dengan kondisi fluks massa 19,7 kg/m^2·s. Hal ini dikarenakan pada kondisi fluks massa sebesar 19,7 kg/m^2·s dapat menghasilkan koefisien perpindahan kalor yang paling besar. Hasilnya didapatkan profil *rectangular* menghasilkan nilai koefisien perpindahankalor 4 % lebih besar dari profil *circular*.

KESIMPULAN

Pengamatan fenomena pendidihan dilakukan dengan melakukan dokumentasi tiap variasi pengambilan data. Setelah melakukan pengambilan data visual kemudian data disajikan dalam bentuk tabeldan dilakukan analisis berdasarkan variasi yang digunakan. Berdasarkan pembahasan yang sudah diuraikandiatas dapat

disimpulkan bahwa:

1. Pada sistem pendinginan *flow boiling* dengan penambahan fin silinder didapatkan *onset nucleat boiling* (ONB) atau proses awal pembentukan *bubble* terjadi untuk masing-masing fluks massa 6,57 kg/m^2·s pada daya 119 W, fluks massa 13,14 kg/m^2·s pada daya 118,6 W, dan fluks massa 19,7 kg/m^2·s pada daya 131,4 W. Kemudian pada sistem pendinginan *flow boiling* denganpenambahan fin kubus didapatkan *onset nucleat boiling* (ONB) atau proses awal pembentukan *bubble* terjadi untuk masing-masing fluks massa 6,57 kg/m^2·s ONB terbentuk pada daya 122 W, fluks massa 13,14 kg/m^2·s ONB terbentuk pada daya 118,6 W, dan fluks massa 19,7 kg/m^2·s ONBterbentuk pada daya 132,2 W.
2. Pada fin silinder saat daya kalor 119 W pada fluks massa 6,57 kg/m^2·s baru terbentuk sedikit *bubble* sebagai penanda mulainya fase *onset nucleat boiling* dan kemudian pada daya 171,6 W *bubble* terlihat semakin bertambah banyak. Hal ini berlaku pula pada fin kubus dimana saat daya kalor awal 118,6 W pada fluks massa 6,57 kg/m^2·s peningkatan jumlah *bubble* juga terjadi. Kemudian pada daya kalor yang sama untuk fin silinder maupun kubus yaitu 170 W didapatkan pada fluks massa 13,14 kg/m^2·s terdapat lebih banyak *bubble* dibandingkan pada fluks massa 6,57 kg/m^2·s.
3. Pada *rectangular fins* dengan nilai fluks massa 19,7 kg/m^2·s didapatkan koefisien perpindahan kalor 4,55 kW/m^2·K sedangkan fluks massa 6,57 kg/m^2·s koefisien perpindahan kalor 3,11 kW/m^{2}atau dalam kata lain terdapat peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 46,11 % ketika fluksmassa berubah dari 6,57 kg/m^2·s menjadi 19,7 kg/m^2·s. Sedangkan pada *cylindrical fins* dengan nilai fluks massa 19,7 kg/m^2·s didapatkan koefisien perpindahan kalor 4,38 kW/m^2·K dengan fluksmassa 6,57 kg/m^2·s koefisien perpindahan kalor 2,99 kW/m^2·K atau dalam kata lain terdapat peningkatan koefisien perpindahan kalor sebesar 46,57 % ketika fluks massa berubah dari 6,57 kg/m^2·s menjadi 19,7 kg/m^2·s. Selanjutnya didapatkan bahwa profil *rectangular* menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor 4 % lebih besar dari profil *circular*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Jaim, "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Water Pump pada Mobil 'X' Terhadap Terjadinya Overheating," *J. Tek. Mesin Cakram*, vol. 2, no. 2, pp. 71–78, 2020.
[2] S. G. Kandlikar, "History, advances, and challenges in liquid flow and flow boiling heat transfer in microchannels: a critical review," *J. Heat Transfer*, vol. 134, no. 3, 2012.
[3] M. T. Moghadam, M. A. A. Behabadi, B. Sajadi, P. Razi, and M. I. Zakaria, "Experimental study of heat transfer coefficient, pressure drop and flow pattern of R1234yf condensing flow in inclined plaintubes," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 160, p. 120199, 2020.
[4] D. Deng, W. Wan, Y. Qin, J. Zhang, and X. Chu, "Flow boiling enhancement of structured microchannels with micro pin fins," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 105, pp. 338–349, 2017.
[5] M. Mobtil, D. Bougeard, and S. Russeil, "Experimental study of inverse identification of unsteady heat transfer coefficient in a fin and tube heat exchanger assembly," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 125, pp. 17–31, 2018.
[6] I. Pranoto and K. C. Leong, "An experimental study of flow boiling heat transfer from porous foam structures in a channel," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 70, no. 1, pp. 100–114, 2014.
[7] L.-H. Chien, W.-R. Liao, M. Ghalambaz, and W.-M. Yan, "Experimental study on convective boilingflow and heat transfer in a microgap enhanced with a staggered arrangement of nucleated micro-pin- fins," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 144, p. 118653, 2019.
[8] 3M, "Thermal Management Fluids and Services," 2014.