

## PENGARUH NILAI WETTABILITY TERHADAPA BUBBLE DEPARTURE DIAMETER DAN BUBBLE DEPARTURE FREQUENCY

BAMBANG JOKO SUROTO, ASWAD HI SAAD, LIU KIN MEN

Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran,  
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

\* email : bambang.s@phys.unpad.ac.id

**Abstrak.** Studi tentang efek dari nilai wettability dari permukaan pada *bubble departure diameter* dan *bubble departure frequency* telah dilakukan dengan menggunakan air murni sebagai fluida kerja dan defaat *subcooling* 0K. Heat transfer block yang digunakan adalah dipoles tembaga/hidrofilik, dan superhydrophilic /TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan *bubble departure diameter* lienar dengan nilai besaran *contact angle* dan nilai *bubble departure frequency* semakin meningkat dengan menurunnya nilai *contact angle* hal ini sensuai dengan Model Frist dan bertentangan dengan Zubers model.

**Kata kunci :** Wettability, subcooling, super/hydrophilic, superhydrophilic, boiling

**Abstract.** The effect of varying surface wettabilitie bubble departure diameter dan bubble departure frequency has been examined and investigated. The experiments were performed using pure water as the working fluid and subcooling is 0K. The heat transfer block used were bare surface/hydrophilic (polished copper), and superhydrophilic/TiO<sub>2</sub>-coated- on copper. The results showed that bubble departure frequency and bubble departure frequency strong correlated with contact angle and its match with existing model Frist and Zuber.

**Keywords :** Wettability, subcooling, super/hydrophilic, superhydrophilic, boiling

### Nomenclature

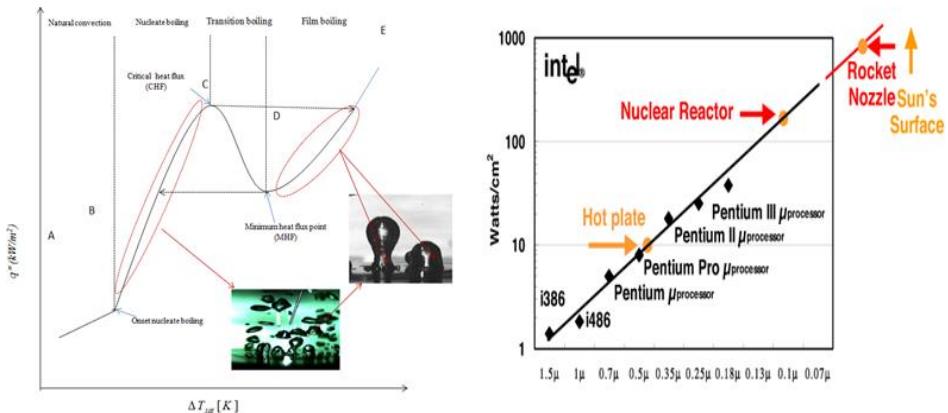
Ra : arithmetic average roughness ( $\mu\text{m}$ )  
Rz : average roughness ( $\mu\text{m}$ )  
Tsat : saturated temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta$  : contact angle ( $^{\circ}$ )  
r : enhance surface area  
tw : waiting time  
tg : waiting time  
fb: bubble departure frequency  
Db: bubble departure diameter

### 1. Pendahuluan

Dalam dunia elektronik di mana hukum Moore memprediksi bahwa jumlah trasnsitors yang dapat ditempatkan pada IC ( Intregated Circuit) akan menjadi double setiap dua tahun dan transistor dalam jumlah yang sangat massiv (billion) akan meningkatkan perfroma dar IC tersebut. Sayangnya, hal itu juga mendapatkan sesuatu yang lain: panas dalam jumlah besar di mana equal dengan reaktor nuklir seperti yang digambarkan pada Gambar 1. Situasi yang lebih kritis dapat ditemukan di pusat data yang besar di mana power yang dikonsumsi untuk pendinginan

sekarang sama dengan daya yang dikonsumsi oleh sistem itu sendiri. Miniaturasi dalam segala aspek teknologi dan berhubungan energy memang menuntut adanya pendinginan super.

Sampai saat ini hampir semua pendinginan menggunakan udara dalam suhu kamar. Pendinginan dengan udara mempunyai prospek yang kurang baik di masa depan karena meningkatnya densitas power dan jauh lebih efisien dengan menggunakan berpendinginan air. Ini saatnya era pendinginan air comeback karena jumlah kalor yang bisa diserap persatuan massa dan waktu.



**Gambar 1.** Boiling curve dan heat flux untuk setiap generasi mikroprosesor

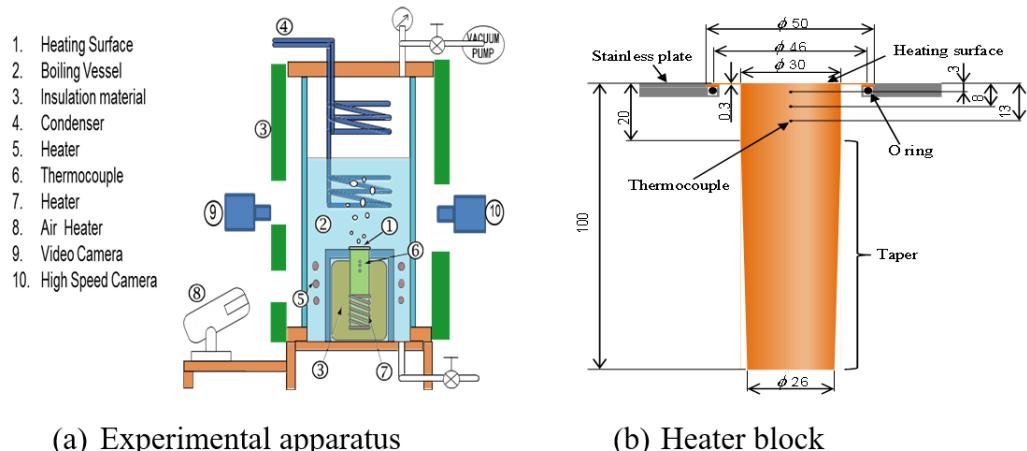
Didih (boiling) adalah salah satu fenomena perubahan fase disertai dengan gelembung. Ada dua mode boiling heat transfer diantaranya : flow dan pool boiling heat transfer. Keduanya dibedakan dengan adanya flow dari fluida kerja dan pool boiling heat transfer dicirikan oleh fluida yang statik dalam bentuk kolam (pool). Keduanya mempunyai karakteristik yang sama , yaitu dipengaruhi oleh parameter-parameter seperti : situs nukleasi aktif ( $N_a$ ), bubble dimater ( $V_b$ ), frekuensi keberangkatan gelembung ( $f_b$ ) dan superheating ( $\Delta T_{sat}$ )(Tong dan Tang) [1].

Wettability atau keterbasahan adalah salah satu karakteristik dari sifat permukaan selain kekasaran (roughness). Wettability yang diukur dengan *contact angle* (sudut kontak) dan menunjukkan efek signifikan bahkan dominan terhadap performa boiling heat transfer (BHT). Wettability dengan sudut kontak  $< 90^\circ$  akan manakan nilai *critical heat flux* (CHF) sedangkan sudut kontak ,  $CA > 90^\circ$  akan mempromote bubble lebih awal dan menaikan *heat transfer coefficient* (HTC) pada flux panas rendah (Takata et al, 2006)<sup>2</sup>. Wettability juga mempengaruhi bentuk bubble dan dinamika ukuran bubble dan bubble departure frequency.

## 2. Metode Penelitian

Beberapa step eksperimen harus dilakukan agar tujuan penelitian ini tercapai. Desain dari appartus eksperimen kami seperti ditunjukkan pada gambar 2. Vessel terdiri dari glass cylinder (2) dengan inner diameter sebesar 120mm dan box-glass dengan dilapisan isolator(3). Heater (8) untuk memonitor dan menjaga temperature cairan(air murni). Temperature cairan di kontrol dengan heater (5) dan condenser(4). Pada saat bersamaan, temperature di record dengan menggunakan

thermocouple sensor (6) dan pengukuran dalam kondisi steady state. Selanjutnya, setelah semua sample dinstall, vessel kemudian di vaccum dengan pompa vaccum. Setelah kondisi vaccum tercapai maka air murni dimasukan sekaligus mengecek apakah terjadi kebocoran dalam system apa tidak. Semua itu disebut proses degassing, proses degassing selanjutnya liquid dipanaskan selama 30 menit.



(a) Experimental apparatus

(b) Heater block

**Gambar 2.** (a) Skema dari eksperimen apparatus dan (b) heater block

Sedangkan sifat fisis atau morpologi dari sample uji ditunjukan oleh table 1. Dari table 1. dikeathui bahwa semakin kecil nilai *contact angle* maka semakin kasar atau meningkat nilai roughnes.

**Tabel 1.** Physical properties dari polished-copper dan TiO<sub>2</sub>

Sample surface	R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>	Contact angle (θ)	Enhancement of surface area (r)
Polished copper	0.007	0.045	66° -70°	1.009
TiO <sub>2</sub>	0.568	5.564	≈0°	2.077

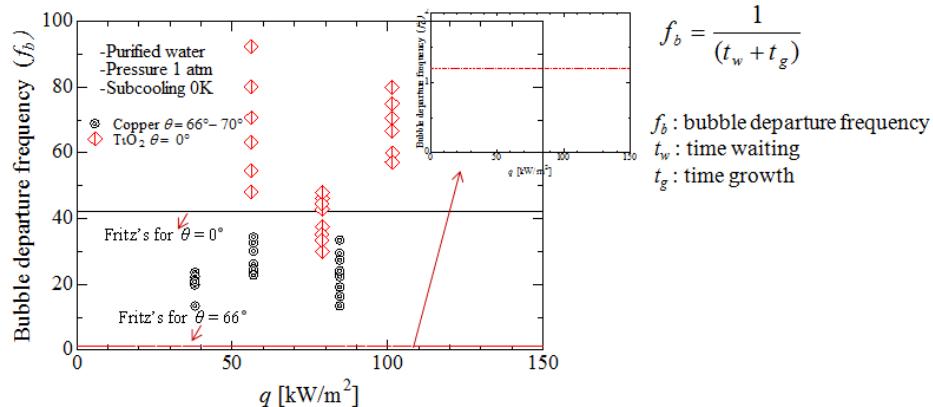
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini kami akan menjelaskan dinamika gelembung, yaitu gelembung diameter keberangkatan, D<sub>b</sub>, dan frekuensi gelembung keberangkatan, f<sub>b</sub>. Kami akan membahas dinamika gelembung dari tembaga-dipoles dan permukaan TiO<sub>2</sub>. diskusi akan fokus pada dua bahan karena sulitnya menentukan ukuran diameter gelembung keberangkatan pada permukaan hidrofobik. Gambar 3. menunjukkan keberangkatan frekuensi gelembung, f<sub>b</sub>, dari permukaan tembaga-dipoles( $θ = 66^\circ - 70^\circ$ ) dan permukaan TiO<sub>2</sub> ( $θ \approx 0^\circ$ ). Pengukuran frekuensi keberangkatan gelembung menggunakan camera berkecapatan tinggi (high speed camera). Dalam kasus ini, frekuensi gelembung keberangkatan dijelaskan dalam Persamaan (1) untuk permukaan sampel yang memiliki sudut kontak  $0^\circ < θ < 90^\circ$ .

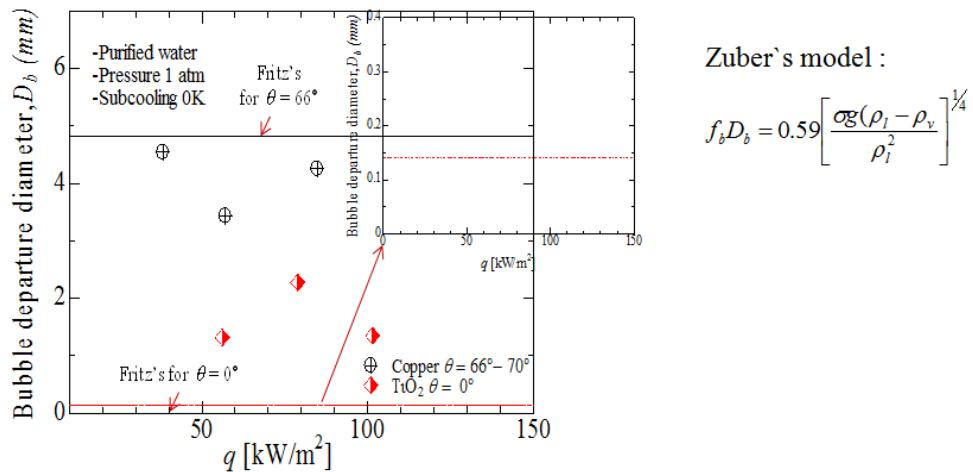
Frekuensi keberangkatan gelembung,  $f_b$ :

$$f_b = \frac{1}{(t_w + t_g)} \quad (1)$$

Dimana  $t_w$  dan  $t_g$  adalah waktu tungu (waiting time) dan waktu tumbuh (time growth). Gambar 3. menunjukan bahwa permukaan  $\text{TiO}_2$  memiliki frekuensi keberangkatan gelembung lebih tinggi dari permukaan tembaga-dipoles. Model dari Phan et al. (2009)<sup>3</sup> dan Fritz (1935)<sup>4</sup> digunakan karena kedua model secara eksplisit menyertakan sudut kontak ( $\theta$ ). Menariknya, kedua model menunjukkan cukup kontras dan model Fritz (1935) yang sesuai dengan hasil eksperimen.



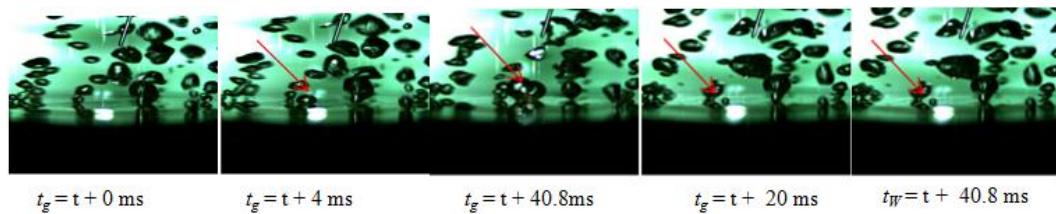
**Gambar 3.** Hasil eksperimen bubble departure frequency dari polished-copper and  $\text{TiO}_2$



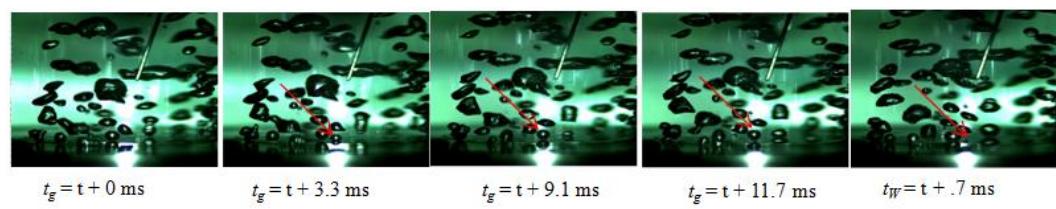
**Gambar 4.** Hasil eksperimen bubble departure diameter dari polished-copper and  $\text{TiO}_2$

Gambar 5 dan gambar 6. menunjukkan pertumbuhan gelembung pada tembaga-dipoles dan permukaan  $\text{TiO}_2$ . Proses evolusi dari gelembung diamati dengan seksama dengan menggunakan high speed camera. Time growth ( waktu tumbuh) adalah waktu dimana bubble mulai muncul sampai terlepas 9 ditunjukan dengan

adanya tanda anak panah mearh) dan waiting time ( waktu tunggu) adalah waktu yang dibutuhkan untuk munculnay bubble berikutnya.



**Gambar 5.** Mekanisme Bubble growth dipermukaan hydrophilic (polished-copper)



**Gambar 6.** Mekanisme Bubble growth dipermukaan superhydrophilic ( $\text{TiO}_2$ )

#### 4. Kesimpulan

Wettability mempengaruhi bentuk geometri dari bubble departure. Frequency keberangakatan dari bubble dipengaruhi oleh bentuk bubble sedangkan bentuk bubble dipengaruhi oleh wettability maka dengan demikian wettability juga mempengaruhi secara langsung bubble departure frequency.

#### Daftar Pustaka

1. L.S. Tong and Y.S Tang, Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow, (1997) TAYLOR& FANCOIS
2. Y. Takata, S. Hidaka, M. Masuda, T. Ito, *Pool Boiling on a Superhydrophilic Surface*, Int. J. Energy Res. Vol. 27 (2003) p. 111–119.
3. H. P. Phan, N. Caney, P. Marty, S. Colasson, J. Gavillet, *Surface Wettability Control by Nanocoating: The Effects on Pool Boiling Heat Transfer and Nucleation Mechanism*, International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 52 (2009) p. 5459–5471.
4. I. L. Pioro, W. Rohsenow, S. S. Doerffer, *Nucleate pool-boiling heat transfer . I: review of parametric effects of boiling surface*, International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 47 (2004) p. 5033–5044.