

## Pengaruh Tegangan Permukaan Terhadap Tumbukan *Multiple Droplets* Pada Permukaan Stainless Steel Yang Dipanaskan

Rafil Arizona\*

Department of Mechanical & Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281, Indonesia  
Penulis korespondensi: ariel165@gmail.com

*Histori artikel: diserahkan 20 April 2019, direviu 25 Juni 2019, direvisi 15 Juli 2019*

### ABSTRACT

*The present study was conducted to investigate the dynamics of multiple droplets impact under various surface tensions. Here, the ethylene glycol with compositions of 0%, 5%, and 15% were injected through a nozzle into the stainless steel surface as the multiple droplets. The solid surface was heated at the temperatures of 150°C. The dynamic of multiple droplets have been observed with frame rate of 2000 fps by a high speed camera. A technique of image processing was developed to determine the maximum droplets are spreading ratio. As the result, the surface tension contribute to the maximum spreading ratio significantly. When the droplet surface tension decreases, the maximum spreading ratio increases. The maximum spreading ratio appears when the percentage of the ethylene glycol is 15% at the temperature of 150°C. From the visual observation, it was shown that a slower emergence of secondary droplets (droplet splashing) was carried out under low surface tension.*

**Keywords:** *multiple droplets, spreading factor, surface tension, stainless steel.*

DOI: 10.18196/jqt.010102

Web: <http://journal.umy.ac.id/index.php/qt>

### PENDAHULUAN

Fenomena tumbukan antara tetesan (*droplet*) dengan permukaan padat dapat dijumpai pada berbagai aplikasi, salah satunya adalah sebagai proses pendinginan. Proses pendinginan dilakukan dengan sejumlah tetesan air dan dengan penyemprotan atau biasa dikenal sebagai *spray cooling*. *Spray cooling* digunakan untuk mendinginkan suatu permukaan panas.

Interaksi *droplet* dengan permukaan benda padat yang dipanaskan, akan terjadi beberapa fenomena yaitu menyebar (*spreading*), (*rebound*) dan menyiprat (*splashing*) (Chandra dan Avedisian, 1991). Hal ini bisa terjadi karena peningkatan suhu sangat mempengaruhi tegangan permukaan di setiap bahan. Sehingga perilaku *droplet* di setiap spesimen uji yang berbeda memiliki fenomena yang berbeda – beda. *Ethylene glycol* adalah zat tidak berwarna, tidak berbau, volatilitas rendah, viskositas rendah, dan cairan

higroskopis. *Ethylene glycol* dapat tercampur dengan air dan cairan organik lainnya.

Bernadin dan Mudawar, (1997) metode *spray cooling* terbukti dapat membuang *heat flux* yang tinggi sekaligus mengontrol laju pendinginan yang diinginkan. Laju perpindahan kalor yang tinggi merupakan suatu keuntungan karena dapat mengurangi ukuran, biaya dan kompleksitas peralatan penukar kalor.

Deendarlianto et al., (2014) salah satu sifat dari *droplets* yang menumbuk permukaan adalah sifat mampu basah (*wettability*). Kemampuan dari *wettability* berkaitan erat dengan laju perpindahan kalor yang terjadi antara sebuah tetesan dengan permukaan padat. Semakin luas daerah yang dibasahi oleh tetesan maka semakin besar laju perpindahan kalornya.

Chandra dan Avedisian (1991) meneliti mengenai pengaruh dari suhu pada tumbukan *droplet* dengan energi tumbukan awal yang

konstan. Ketika *droplet* menumbuk permukaan dapat terjadi *splash*, *spread*, dan *rebound*. Diharapkan dari percobaan ini dengan variasi temperatur permukaan yang dilakukan dapat memberikan hasil yang berpengaruh.

Rioboo et al., (2002) menyebutkan *the nondimensional* diameter dari *spreading film* atau sering disebut dengan *spread factor*, akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan waktu. Perubahan tersebut dibagi menjadi 4 fase yaitu *the kinematic phase*, *the spreading phase*, *the relaxation phase*, dan *a wetting/equilibrium phase*.

Li, Ashgriz Nasser dan Chandra Sanjeev (2010) melakukan penelitian mengenai model analisis tentang *spreading* maksimum pada *droplet* yang menumbuk benda padat pada bilangan Reynolds dan Weber yang rendah. Penelitian tersebut menyebutkan 4 keadaan yang perlu dipertimbangkan yang akan terjadi pada *droplet*.

Menurut Vishaul et al., (2011) *Ethylene Glycol* Jika dibandingkan dengan *propylene glycol*, bahwa *ethylene glycol* memiliki *spreading* maksimum yang lebih rendah karena nilai tegangan permukaannya lebih tinggi. Pengaruh tegangan permukaan pada faktor penyebaran maksimum berkurang dengan meningkatnya kecepatan benturan. Tetesan air menyebar sebanyak tetesan anhidrida asetat meskipun memiliki tegangan permukaan, setengah dari air. The hierarchy according to the number of oscillations continues further with ethylene glycol droplet oscillating for a much longer time than propylene glycol.

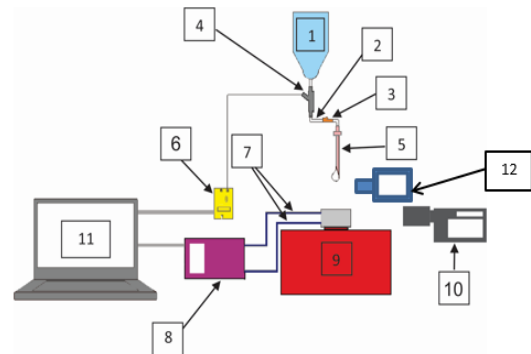
Cossali et al., (2005) juga melakukan penelitian menggunakan cairan berbeda, membandingkan air murni dengan campuran air+gliserin. Kondisi eksperimen menunjukkan bahwa analisis efek viskositas terhadap perilaku *spreading* dan *break-up* pada *secondary droplet*. Dengan penambahan gliserin maka viskositas meningkat, *Reynolds Number* menurun, perpindahan kalor konveksi dari permukaan ke cairan menurun.

Penelitian mengenai dinamika *single droplet* yang menumbuk permukaan padat sudah banyak dilakukan sebelumnya namun penelitian mengenai fenomena *multiple*

*droplet* yang menumbuk permukaan padat masih sedikit. Pada penelitian ini akan dipelajari perpindahan kalor dan visualisasi dari fenomena *spreading* dan *recoil multiple droplet* ketika menumbuk permukaan datar *stainless steel* pada temperatur permukaan 150°C dengan bilangan Weber sedang. Dari penelitian ini, akan dibandingkan pengaruh dari tegangan permukaan terhadap *spreading ratio* yang berbeda dari fluida cair *ethylene glycol* dihasilkan oleh *multiple droplet*.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Alat eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pemanasan spesimen digunakan kompor induksi, pemanasan dilakukan pada temperatur 150°C. Temperatur permukaan diukur menggunakan termokopel. *Droplet* dijatuhkan ke permukaan yang dipanaskan dengan menggunakan jarum injector. Ukuran *droplet* dianggap konstan pada 2,8 mm. Frekuensi tetesan diatur dengan *control valve*. Mengatur frekuensi tetesan pada 250 tetes/menit. Ketinggian jatuh *droplet* antara jarum injector dan permukaan yang dipanaskan 50 mm sehingga menghasilkan bilangan Weber sedang.



GAMBAR 1. Skema alat uji

Keterangan :

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1. Tangki air       | 7. Termokopel        |
| 2. Selang Silikon   | 8. Lutron termokopel |
| 3. Control valve    | 9. Kompor induksi    |
| 4. Solenoid valve   | 10. Kamera Phantom   |
| 5. Droplet injector | 11. Komputer         |
| 6. Mikrokontroller  |                      |

Perilaku tumbukan droplet diamati dengan menggunakan high speed video camera dengan

kecepatan pengambilan gambar 2000 frame per second (fps). Teknik image processing digunakan untuk mengolah data dari gambar yang berhasil diambil dengan menggunakan high speed camera. Adapun data yang akan diambil adalah *spreading factor* ( $\beta$ ). Hal ini dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$\beta = d/d_0 \tag{1}$$

dimana :

$\beta$  = *spreading factor*

d = diameter pembasahan *droplet* (m)

$d_0$  = diameter awal *droplet* (m)

Material yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Stainles steel dengan variasi cairan *Ethylene glycol*.

TABEL 1. Tabel hasil Uji Surface Tension

Jenis Pemeriksaan	Water + 0%	Water + 5%	Water + 15%
	Ethylene Glycol	Ethylene Glycol	Ethylene Glycol
Tegangan Permukaan	70,1 mN/m	59,1 mN/m	51,3 mN/m

Variasi Tegangan Permukaan dibuktikan berdasarkan pengamatan visual, pengujian surface tension dengan beberapa variasi *ethylene glycol* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

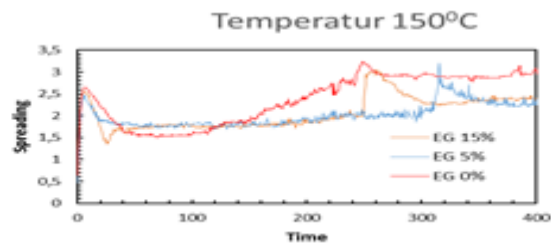
Pada hasil dan pembahasan akan dilakukan analisis secara visual dan analisis data didapatkan dari hasil pengolahan *image processing*. Fenomena yang terjadi pada temperatur 150 °C ditunjukkan sebagai berikut: *first droplet* adalah *spreading*, *recoil* dan *secondary droplet* (Gambar 2). Pada temperatur ini terjadi fenomena baru yaitu perpecahan. *Droplet* terpecah menjadi satu *droplet* utama dan beberapa *droplet* yang lebih kecil. *Droplet* kecil ini disebut sebagai *secondary droplet*. Hal tersebut terjadi ketika  $T_{wall} > T_{sat\ liquid}$  maka akan terbentuk *bubble boiling droplet*. Pada *Bubble* yang dihasilkan oleh perpindahan panas dari permukaan spesimen akan berkembang dan menuju permukaan *droplet* sehingga menghasilkan *secondary droplet* (Cossali et al., 2005).

*Secondary droplet* tercepat terjadi pada *surface tension* = 70,1 mN/m yaitu pada  $t = 183$  ms (Gambar 3). Hal ini disebabkan semakin tinggi *surface tension* maka mempercepat munculnya *secondary droplet* karena perpindahan panas dari permukaan specimen menuju permukaan *droplet* cepat dan semakin kecil *surface tension* juga memperbesar *spreading rationnya*.

Keterangan	Material = Stainless Steel		
	EG 0%	EG 5%	EG 15%
<b>1<sup>st</sup> impact</b>	0 ms	0 ms	0 ms
<b>spreading</b>	2,5 ms	2,5 ms	2 ms
<b>max spreading</b>	10 ms	10 ms	11 ms
<b>recoil</b>	20 ms	15 ms	21,5 ms
<b>secondary droplet</b>	183 ms	285 ms	237,2 ms
<b>2<sup>nd</sup> impact</b>	238,5 ms	306 ms	248,78 ms
<b>spreading</b>	243,5 ms	308 ms	250,2 ms
<b>max spreading</b>	260,5 ms	320 ms	263,8 ms
<b>recoil</b>	268 ms	329 ms	270,8 ms

GAMBAR 2. Fenomena *spreading*, *recoil* dan *secondary droplet* pada *multiple droplet* dengan variasi *ethylene glycol* pada temperatur 150 °C

Tumbukan antara *second droplet* dan *first droplet* pada semua variasi *surface tension* memiliki pola yang hampir sama. Pada *recoil second droplet* pada *surface tension* 59,1 mN/m memiliki nilai maksimum *spreading* 2,96 dapat terlihat pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Nilai  $d/d_0$  sebagai fungsi waktu dengan variasi *ethylene glycol* pada temperatur 150°C.

KESIMPULAN

Pada temperatur 150 °C semakin kecil surface tension juga memperbesar spreading ratio dan semakin tinggi surface tension maka mempercepat munculnya secondary droplet. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan pada keseluruhan temperatur permukaan memiliki fenomena pengaruh *surface tension* terhadap *spreading ratio* yang sama, yaitu semakin kecil *surface tension* maka akan semakin besar *spreading ratio*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bernadin, J.D.dan Mudawar,I. (1997). Film Boiling Heat Transfer of Droplet Stream and sprays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(11), (pp.579-593).
- Bernardin, JD, Stebbins, CJ, Mudawar, I (1997), Mapping of impact and heat transfer regimes of water drops impinging on a polished surface, *International Journal of Heat Mass Transfer*, vol. 40, (pp. 247 – 267).
- Chandra, S. dan Avedisian, C.T., (1991). On The Collision Of A Droplet With A Solid Surface. *Proceedings Of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 431(1884), (pp. 13-41).
- Cossali, G.E, Marengo, M, Santini, M, (2005), Secondary atomisation produced by single drop vertical impacts onto heated surfaces, *Experimental Thermal and Fluid Science* 29 (pp. 937–946).
- Deendarlianto, Yasuki, T., Sumitorno, H., Indarto,Widyaparaga, A., Kamal, S., Purnomo, dan Kohno, M. (2014). Effect of Static Contact Angle on The Droplet Dynamics During The Evaporation of a Water Droplet on The Hot Walls. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **71**, (pp.691-705).
- Li, R., Ashgriz, N., & Chandra, S. (2010). Maximum spread of droplet on solid surface: low Reynolds and Weber numbers. *Journal of Fluids Engineering*, 132(6), 061302.
- Rioboo, R., Marengo, M., dan Tropea, C. (2002). Outcomes from A Drop Impact on Solid Surfaces. *Journal of Fluids Engineering*, 132(6), (pp.112–124).
- Vishaul Ravi, (2011). Effects on Interfacial and Viscous Properties of Pure Liquids and Polymeric Solutions on Drop Spread Dynamics, Thesis, *Department of Mechanical, Industrial and Nuclear Engineering, Anna University, India*.
- Wibowo, T, Widyatana, A, Kamal, S, Indarto, Deendarlianto (2018), The effect of pressure and frequency on the dynamic behavior and evaporation time of successive water droplets impacting onto hot surface, *MATEC Web of Conferences 154*, 2018.
- Yarin, A. L. (2006a) and (2006b). Drop impact dynamics: Splashing, spreading, receding, bouncing. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 38(1), 159-192.