

## Analysis of Multiple Droplets Collision Phenomenon in Surface Temperature of Boiling Films on Weber Medium

Teguh Wibowo<sup>1,2\*</sup>, Arif Widyatama<sup>3</sup>, Samsul Kamal<sup>2</sup>, Indarto<sup>2,3</sup> dan Deendarlianto<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto - Yogyakarta

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta

<sup>3</sup>Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta

\*Korespondensi: teguhwibowo76@yahoo.co.id

**Abstract.** The multiple droplets impacting the hot surface can be easily found on the metal cooling process. On the film boiling region, it is observed that the heat transfer rate decreases. Therefore, these phenomena become interesting to be analyzed. In the present work, distilled water is used as a coolant. The diameter and the Weber number are 2.8 mm and 38.5, respectively. As a hot surface, a polished stainless steel, which is set to 220°C, 230°C, 240°C, and 250°C, is utilized. The behavior of droplet is observed by using high-speed video camera. It is set on 4000 fps to obtain the detailed phenomena. Next, the data is processed through image processing technique to produce quantitative information. On 220°C, the second droplet can completely hit the first droplet followed by the presence of a lot of secondary droplets. When the temperature is set on, 230 °C the droplet starts to bounce from the hot surface. As the surface temperature increases, specifically on 240°C, and 250°C, the number of secondary droplets decreases when bouncing phenomena occurs. Based on the observation, it should be noted that the bouncing phenomena which can be observed in almost temperature could reduce the cooling effectiveness since the second droplet cannot perfectly impact the first droplet. This phenomena is caused by Leiden frost effect. However, the application of multiple droplet in general is still able to improve the wettability so the cooling performance improves.

**Abstrak.** Tumbukan *multiple droplets (spray)* pada permukaan panas banyak terjadi pada kasus pendinginan material. Pada daerah temperature film boiling terjadi penurunan heat transfer, hal ini sangat menarik untuk dianalisa lebih dalam. Penelitian fenomena *spray cooling* ini dengan pendekatan *multiple droplets*. Droplet yang digunakan pada percobaan ini adalah air distilasi, dengan diameter 2.8 mm dan angka Weber 38.5. Permukaan panas menggunakan material stainless steel yang telah dipoles, sedangkan perekaman data menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Permukaan stainless steel diatur pada 220°C, 230°C, 240°C, dan 250°C. Analisa perilaku tumbukan *multiple droplets* dilakukan dengan visualisasi perekaman kamera berkecepatan 4000 frame per detik, kemudian gambar diolah dengan metode *image processing*. Hasilnya, pada temperatur permukaan 220°C, saat tumbukan droplet pertama menumbuk permukaan panas droplet masih menempel pada permukaan dengan banyak percikan, pada temperatur 230°C droplet mengalami bouncing dengan sedikit percikan, pada temperatur 240°C bouncing lebih tinggi, sedangkan pada temperatur 250°C terjadi bouncing tanpa ada percikan. Setelah droplet pertama menumbuk kemudian *bouncing* dan bergeser dari titik jatuhnya, sehingga ketika kedatangan droplet kedua, tidak tepat menumbuk droplet pertama. Hal ini menyebabkan pertambahan *spreading* tidak signifikan. Kedatangan droplet kedua, ketiga dan seterusnya mampu memperbaiki dan meningkatkan derajat kebasahan (*wettability*) pada permukaan panas, sehingga proses pendinginan akan lebih baik.

**Kata kunci:** multiple droplets, temperatur boiling, spray cooling, stainless steel

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Penelitian mengenai tumbukan droplet (*droplet impact*) telah dilakukan oleh beberapa peneliti berkaitan dengan masalah di industry seperti *cooling of nuclear* [1], *spray coating* [2], *spray cooling and spray combustion* [3], *inkjet printing* [4], *fire suppression using sprinkler systems* [5].

Tumbukan single droplet dengan permukaan panas adalah kasus yang terlalu ideal, kenyataannya pada kasus spray cooling banyak droplet secara

acak (*multiple droplets*) yang bertumbukan pada permukaan yang dipanaskan. Beberapa literatur *multiple droplets* oleh [6-9].

Ketika droplet menumbuk permukaan padat yang panas, droplet mungkin menyebar (*spreading*), memercik (*splashing*), melambung kembali (*rebound*) atau *depositing* [10]. Perilaku tersebut menggambarkan derajat kebasahan (*wettability*) pada permukaan padat tersebut, sedangkan *wettability* mempunyai hubungan kuat terhadap laju

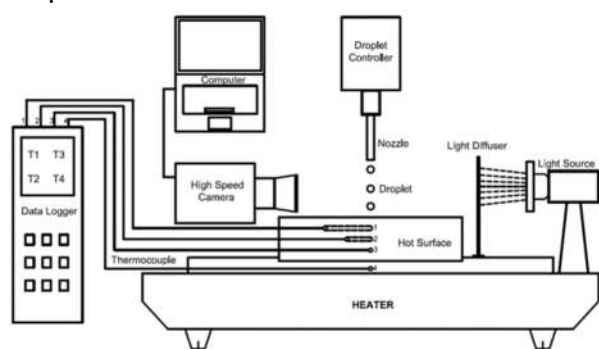
perindahan kalor. Semakin luas area yang terbasahi oleh droplet semakin besar perpindahan kalor dari droplet terhadap permukaan material [11].

Tumbukan droplet terhadap permukaan panas yang rata pada temperatur *film boiling* dan tekanan atmosfer biasanya disebut dengan fenomena *Leidenfrost*. *Leidenfrost point* didefinisikan sebagai temperature dimana droplet mengalami waktu penguapan terbesar, terjadi pembentukan lapisan film akibat pendedihan pada suatu tetesan fluida pada permukaan [12]

Penelitian Qiao[14], melakukan percobaan pada permukaan panas pada temperatur 240°C, saat droplet disemprotkan berada dalam keadaan mendidih, droplet tidak membasahi permukaan. Percobaan pada daerah *film boiling* ini sangat menarik untuk dianalisa, karena untuk memahami perilaku droplet saat menumbuk permukaan panas dan tidak mampu menempel lagi (tidak membasahi) pada permukaan panas yang akan didinginkan.

### Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimen untuk mendapatkan pola sebaran droplet dan visualisasi proses penguapan droplet ganda (*multiple droplets*) dengan variasi temperatur permukaan. Pengujian dilakukan dengan menyiapkan perangkat uji, meliputi: sistem pemanas induksi, kontrol sistem pemanas, sistem akuisisi data temperatur, kamera video kecepatan tinggi, pengolahan citra (*image processing*) dan komputer



Gambar. 1 Peralatan Pengujian

Metode pengujian pada penelitian menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif. Pengambilan visualisasi dan proses pengolahan data kemudian dinyatakan dalam bentuk data ilmiah dalam bentuk angka. Adapun alat-alat yang digunakan (pada gambar 3.) yaitu:

1. Spesimen stainless steel
2. Droplet Generator
3. Lampu LED
4. Heater (Induction)
5. Pure water

6. Water tank
7. Reflector
8. Data logger termokopel
9. Komputer pengolah data
10. High speed camera Phantom 4000 fps

Garis besar kegiatan penelitian adalah sebagai berikut. Mula-mula akan dirancang perangkat uji untuk multiple droplet dengan sistem pengaturan jatuhnya droplet. Perancangan sistem akuisisi data temperatur dan perekaman gambar. material yang digunakan adalah stainless steel yang telah dipoles.

Parameter-parameter yang dilihat dari eksperimen adalah temperatur permukaan dan perilaku tumbukan dengan visualisasi. Visualisasi digunakan untuk mendapatkan mekanisme pendinginan *spray* dapat diamati dengan data dan parameter yang diperoleh. Hal lain yang diamati adalah visualisasi *multiple droplets* dan pengamatan terhadap model *spray cooling*. Aparatus pengujian ditunjukkan pada gambar 1. Peralatan ini terdiri dari Kompor Induksi sebuah pembangkit panas, dengan ukuran 30cm x 40cm, dengan kemampuan memanaskan spicement sampai 300°C, daya pemanas sekitar 1600W, dan dijaga temperaturnya menggunakan sistem digital. Tetesan fluida dikeluarkan oleh injektor tetesan, yang mana jumlah tetesan dapat diatur dengan mengontrol sistem injeksi droplet yang dilengkapi katup. Pengaturan tetesan diharapkan dapat memenuhi kondisi yang diinginkan. Kamera dengan kecepatan tinggi PHANTOM (*high speed camera* sampai dengan 4.000 fps) dipasang untuk merekam fenomena yang terjadi. Temperatur permukaan panas diamati pula dengan menggunakan termokopel, yang dihubungkan dengan perekam data (data logger).

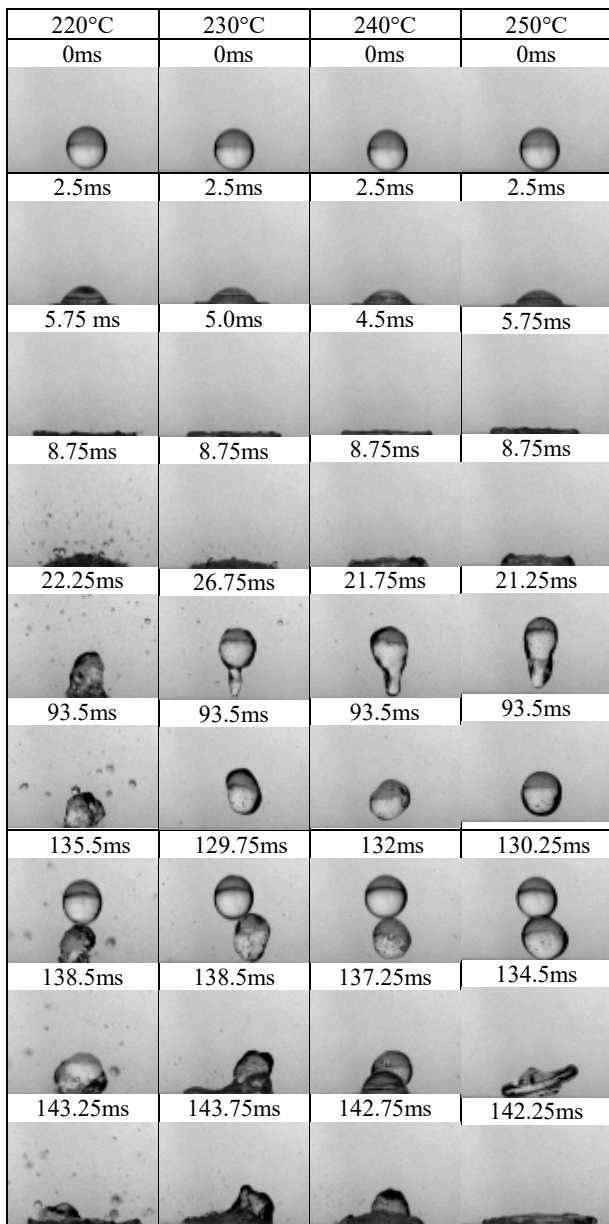
### Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghadirkan data tumbukan *multiple droplets* water pada temperatur *film boiling*. Pada gambar 2, Nampak perkembangan perilaku droplet menumbuk permukaan panas, dari droplet pertama sampai droplet kedua. Tabel 1 memperlihatkan hasil *spreading ratio* dari droplet pertama dan kedua.

Tabel 1. Hasil sebaran droplet maksimum

Surface Temp [°C]	Droplet I		Droplet II	
	Time [ms]	Spreading ratio $\beta_{maks}$	Time [ms]	Spreading ratio $\beta_{maks}$
220	5.75	2.65	143.25	2.82
230	5.00	2.20	143.75	2.21
240	4.50	2.21	142.75	2.26
250	5.75	2.30	142.25	2.7

Pada temperatur 220°C droplet pertama menumbuk permukaan panas, sesaat kemudian pada 5.75ms terjadi spreading maksimum. Derajat kebasahan dapat dilihat pada grafik gambar 3. Spreading ratio sebagai indikasi derajat kebasahan droplet pada permukaan. Pada temperatur 220°C terjadi *spreading factor* maksimum sebesar 2.65 (lihat table 1). Setelah spreading droplet menyusut kembali (*recoil*) secara fluktuatif dalam kondisi menempel pada permukaan panas dengan banyak percikan. Pada 135.5ms droplet kedua datang menumbuk seluruhnya dengan tepat pada droplet pertama, sehingga spreading semakin besar.



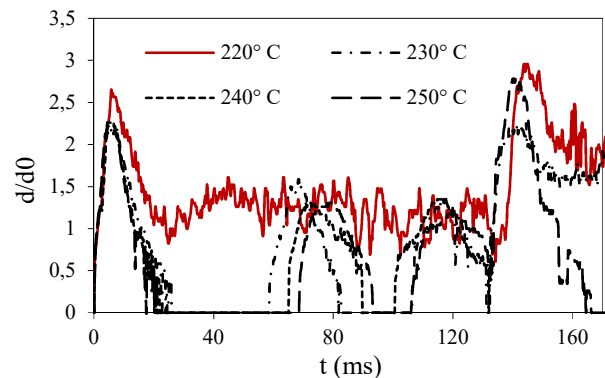
**Gambar 2.** Pola gerakan tumbukan droplet pada pada temperatur permukaan 220°C, 230°C, 240°C dan 250°C.

Pada temperatur 230°C, setelah droplet pertama menumbuk permukaan panas, terjadi *spreading*

maksimum pada 5 ms, maksimum sebesar 2.20 (*spreading* menurun). Recoil terjadi hanya sesaat dengan sedikit percikan kemudian pada 22.25ms terjadi *bouncing*, droplet melompat, melayang (tidak menempel), tidak ada *spreading*. Seperti nampak pada gambar 3. Setelah droplet pertama terjadi *bouncing* sampai 2 kali sehingga berakibat posisi droplet bergeser dari posisi jatuh semula. Pada 129.75ms droplet kedua datang, namun tidak menumbuk seluruh pada droplet pertama sehingga pertambahan *spreading* tidak signifikan.

Fenomena tumbukan droplet pertama dan kedua pada temperatur 240°C dan 250°C hampir sama dengan temperatur 230°C. Nilai *spreading ratio* maksimum berbeda pada seperti tampak pada tabel 1. Pada temperatur 240°C dan 250°C, sebelum droplet kedua datang pada 132ms dan 130.25ms. Saat droplet pertama juga terjadi *recoil* sesaat dan *bouncing* sampai 3 kali. Pada temperatur 250°C kedatangan droplet kedua tepat menumbuk droplet pertama sehingga menambah *spreading ratio*.

Fenomena menarik dari keempat variasi temperatur ini adalah antara waktu 21.25 ms sampai dengan 26.75ms seperti pada gambar 2. Saat dimana droplet pertama akan mengalami *bouncing*. Pada temperatur 220°C droplet masih menempel. Pada temperatur 230°C droplet mulai *bouncing* namun bagian bawah droplet masih menahan untuk menempel, sehingga tampak muncul ekor dari droplet. Pada temperatur 240°C bagian bawah droplet yang menempel berkurang sehingga saat *bouncing* ekor semakin kecil. Pada temperatur 250°C saat *bouncing* bagian bawah droplet yang menempel pada permukaan semakin berkurang sehingga bagian yang membentuk ekor semakin tidak kelihatan. Fenomena ini terjadi akibat adanya kenaikan temperatur pada permukaan panas sehingga memperbesar lapisan film uap yang terbentuk. Dengan demikian semakin sulit droplet menempel pada permukaan panas, hal ini juga disebut sebagai keadaan *Leidenfrost*.



**Gambar 3.** Perkembangan spreading ratio tumbukan multiple droplets at temperature 220°C, 230°C, 240°C dan 250°C

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa, Pada temperatur permukaan 220°C, saat tumbukan droplet pertama menumbuk permukaan panas droplet masih menempel pada permukaan dengan banyak percikan, pada temperatur 230°C droplet mengalami *bouncing* dengan sedikit percikan, pada temperatur 240°C *bouncing* lebih tinggi, sedangkan pada temperatur 250°C terjadi *bouncing*. Saat droplet pertama *bouncing* beberapa kali droplet mulai bergeser dari titik jatuhnya ini sehingga kedatangan droplet kedua kadang tidak tepat menumbuk droplet pertama sehingga tidak efektif untuk menambah *spreading*. Pada saat droplet pertama tertumbuk droplet kedua, ketiga dan seterusnya maka mampu memperbaiki dan meningkatkan derajat kebasahan (*wettability*) pada permukaan panas sehingga proses pendinginan akan lebih baik. Penelitian ini keadaan *Leidenfrost* terjadi, saat dimana droplet susah menempel pada permukaan panas.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan makalah ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada para Promotor dan co-Promotor UGM yang telah membimbing penelitian ini, mengucapkan terima kasih Kepada rekan-rekan mahasiswa S3, yang telah berkontribusi membantu penelitian tentang *multiple droplets* ini

## Referensi

- [1] Jia W., & Qiu, H., 2003, Experimental Investigation of Droplet Dynamics and Heat Transfer in Spray cooling, *Experimental Thermal and Fluid Science* 27, pp 829-838.
- Aziz S.D., Chandra S., 2000, Impact, recoil and splashing of molten metal droplets, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, p2841±2857.
- [2] Liu, H., 2000, *Science and Engineering of Droplets*, William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York, U.S.A.
- [3] Peng, XF., Peterson, G.P., Wang, B.X, 1992, On the Wetting Mechanism of Liquid on Hot Surfaces. *Int. J. Heat Mass Trasfer*. Vol. 35, No. 6 , pp 1615 –1624.
- [4] Manzello, S.L., 2014, An experimental investigation of water droplet, impingement on a heated wax surface, . *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47 1701-1709.
- [5] Fujimoto H., 2002, Experimental study of succesive collision of two water droplets with solid Solid. *Experiments in Fluids* Vol.33, pp 500-502.
- [6] Fujimoto H., 2004, Entrapment of at 45 degre oblique collision of a water drop with a smooth solid surface at room temperature, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47 3301-3305.
- [7] Fujimoto H., 2010, Collision Dynamics of Two Droplets Impinging Successively onto a Hot Solid. *ISIJ International*, Vol.44, No.6, pp 1049-1056.
- [8] Deendarlianto, Y. Takata, M. Kohno, S.Hidaka, T. Wakui, A.I. Majid, H.Y. Kuntoro, Indarto, Adhika W., 2016, The effects of the surface roughness on the dynamic behavior of the successive micrometric droplets impacting onto inclined hot surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 101 (2016) 1217–1226.
- [9] Negeed, E.,R., 2013, Effect of the surface roughness and oxidation layer on the dynamic behavior of micrometric single water droplets impacting onto heated surfaces, *International Journal of Thermal Sciences* 70 65-82.
- [10] Deendarlianto, Y. Takata, S. Hidaka, M. Kohno, 2008, The Effect of Contact Angle on the Evaporation of Water Droplet on Heated Solid Surface. *Fifth Int. Conference on Transport Phenomena In Multiphase Systems*, pp.59–64. Bialystok – Poland.
- [11] B S. Gottfried, C. L. Lee, K. J. Bell, 1996, The Leidenfrost phenomenon: film boiling of liquid droplets on a flat plate. *Int. J. Heat Mass Transfer* 9 1167-1187.
- [12] Qiao, Y.M. dan Chandra, S., 1997, Experiments on adding a surfactant to water drops boiling on a hot surface. *Proceeding Royal Society London A*, 453 pp 673-689.