

Kajian Perilaku Droplet Saat Menumbuk Permukaan Panas dengan Pengolahan Citra

Windy Hermawan Mitrakusuma^{1,2, a *}, Hadiyan Yusuf Kuntoro^{2, b *}, Deendarlianto^{3, c *}, dan Samsul Kamal^{3, d}, M. Dyan Susila^{4, e}

¹Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung,

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Kotak Pos 1234 Bandung, Indonesia

²Mahasiswa pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

³Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,

Jalan Grafika 2 Yogyakarta 55281, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung,

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Indonesia

email: windyhm@polban.ac.id, hadiyan.y.kuntoro@mail.ugm.ac.id, deendarlianto@ugm.ac.id,
samsul@ugmac.id, dyansusila@gmail.com

Abstrak

Penggunaan droplet sebagai media pendingin banyak ditemui dalam berbagai bidang, salah satunya adalah pada proses pendinginan metal. Saat droplet menumbuk mengenai permukaan panas, droplet akan mengalami penyebaran (*spreading*) dan pengumpulan kembali (*recoil*). Kejadian ini tentu saja dipengaruhi oleh derajat kebasahan permukaan (*wettability*), yang dinyatakan dengan sudut kontak. Dinamika sebaran droplet berlangsung sangat cepat dan sulit diikuti dengan kasat mata, sehingga untuk mengamatinya perlu dilakukan dengan perekaman menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Dalam tulisan ini akan dikemukakan bagaimana perilaku droplet, dalam hal ini dinyatakan dengan diameter sebaran droplet dan tinggi droplet, saat menumbuk permukaan panas dengan temperatur 60, 80, 100, dan 120 °C. Untuk keperluan tersebut, program pengolahan citra menggunakan program matlab telah dikembangkan. Keunggulan metoda pengolahan citra adalah dapat digunakan untuk melihat perilaku suatu benda yang sangat cepat berubah, tanpa mengganggu objek yang diamati. Pengamatan dilakukan pada dua jenis permukaan NSS dan UVW, yang mempunyai sudut kontak statis berbeda. Hasil menunjukkan bahwa sudut kontak statis berpengaruh terhadap perilaku droplet saat menumbuk permukaan panas. Dengan kisaran temperatur 60 sampai dengan 120 °C, terlihat tidak ada pengaruh temperatur yang signifikan pada sebaran droplet.

Kata kunci: droplet, *droplet spreading*, pengolahan citra, penguapan droplet.

Latar belakang

Tumbukan droplet pada suatu permukaan, merupakan fenomena yang mudah ditemukan dalam kegiatan sehari-hari. Kejadian ini dapat pula ditemui pada pendinginan permukaan menggunakan spray, atau disebut dengan *spray cooling*.

Adalah hal menarik ketika mengamati fenomena saat droplet menumbuk permukaan. Interaksi antara permukaan padat, cairan dan udara/gas sekitar, serta temperatur permukaan menentukan bentuk, besar dan dinamika perubahan droplet. Sayangnya kejadian ini berlangsung dengan sangat cepat, sehingga sulit untuk dapat diamati dengan kasat mata. Salah satu metoda yang telah dikembangkan untuk

mengamati suatu dinamika benda adalah dengan perekaman citra atau disebut video.

Kajian tentang sebaran droplet telah dilakukan beberapa peneliti misalnya oleh Araki dan Moriyama, yang menyajikan kajian teori tentang perilaku droplet saat menumbuk permukaan metal panas [1]. Demikian pula penelitian yang dilakukan oleh Roisman dkk., yang mengamati pengaruh sudut kontak pada droplet yang menumbuk permukaan kering [2]. Penelitian lainnya dilakukan oleh Deendarlianto dkk., yang mengamati pengaruh sudut kontak statik terhadap dinamika droplet saat menumbuk permukaan panas [3].

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap perilaku droplet saat menumbuk permukaan adalah derajat kebasahan atau disebut juga sebagai

wettability. Derajat kebasahan diartikan sebagai interaksi antara fluida cair dan permukaan padat, yang mana bila cairan menyebar secara spontan pada permukaan disebut dengan “basah”. Bila interaksi ini lemah, cairan akan membentuk butir-butir cairan di permukaan dan hanya membasahi sebagian permukaan [4]. Sedangkan menurut Coursey, derajat kebasahan dapat dikuantisasi dengan menentukan besarnya sudut kontak antara cairan permukaan padat [5]. Dengan demikian, penentuan sudut kontak menjadi sangat penting dalam penentuan derajat kebasahan. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Roisman dkk [2].

Pada makalah ini akan dikemukakan dinamika droplet saat menumbuk permukaan panas bertemperatur 60, 80, 100 dan 120 °C. Dinamika droplet yang ditinjau adalah perubahan sebaran droplet (*droplet spreading*) sesaat setelah tumbukan terjadi.

Metodologi

Berbagai metoda digunakan untuk menentukan sudut kontak statis [6], dan juga pengukuran sudut kontak dinamis [7]. Atas dasar tersebut kemudian dikembangkan suatu program menggunakan matlab, dan merupakan lanjutan dari program yang telah dibuat [8]. Penambahan algoritma yang dilakukan adalah dengan melakukan filtering citra yang diperoleh dan pembacaan sekuensial citra (video) [9].

Program digunakan untuk mengolah citra yang didapatkan pada rekaman penelitian yang dilakukan di Teknik Mesin UGM [10]. Perekaman video dilakukan dengan kecepatan kamera 1000 fps (*frame per second*). Hal ini berarti perubahan droplet dapat diamati per satuan milisekon. Pengamatan dilakukan pada dua jenis material yaitu *stainless steel (Normal stainless steel*, disimbolkan dengan NSS) dan *stainless steel* yang dilapisi TiO₂ dan diradiasi ultra violet (disimbolkan dengan UVW).

Berdasarkan hasil pengolahan citra yang didapat, dilakukan analisis terhadap dinamika sebaran droplet dan rasio sebaran droplet dan kecepatan sebaran droplet.

Diameter awal droplet ditentukan berdasarkan citra sesaat sebelum terjadi tumbukan. Droplet pada saat ini tidak berbentuk bulat sempurna, sehingga diameter droplet ekuivalen, dinyatakan dalam D_v dan D_h dimana masing-masing adalah diameter diukur pada arah vertical dan arah horizontal, sebagaimana dinyatakan pada persamaan (1) [11].

$$D_o = (D_v D_h^2)^{1/3} \quad (1)$$

Rasio diameter, β , didefinisikan sebagai perbandingan diameter droplet setelah tumbukan terhadap diameter droplet awal [12], atau dinyatakan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{D_s}{D_o} \quad (2)$$

Selain droplet menyebar saat menumbuk permukaan, tinggi droplet (h) akan mengalami osilasi. Hal ini diakibatkan kesetimbangan antara gaya kohesi dan adhesi fluida dan permukaan. Tinggi droplet dapat dinyatakan dalam bentuk tak berdimensi yaitu:

$$h^* = \frac{h}{D_o} \quad (3)$$

Dalam penyajiannya, lebih mudah bila waktu dinyatakan dengan waktu tak berdimensi (t^*) yang didefinisikan sebagai [1]:

$$t^* = \frac{v_o t}{D_o} \quad (4)$$

Pada persamaan 4 di atas, v_o menyatakan kecepatan droplet saat menumbuk permukaan. Dengan persamaan gerak jatuh bebas, dan menganggap tidak terdapat gesekan droplet dengan udara, maka dapat dihitung kecepatan droplet saat jatuh dari ketinggian 7,6 cm, yaitu sebesar 1,49 m/sekon.

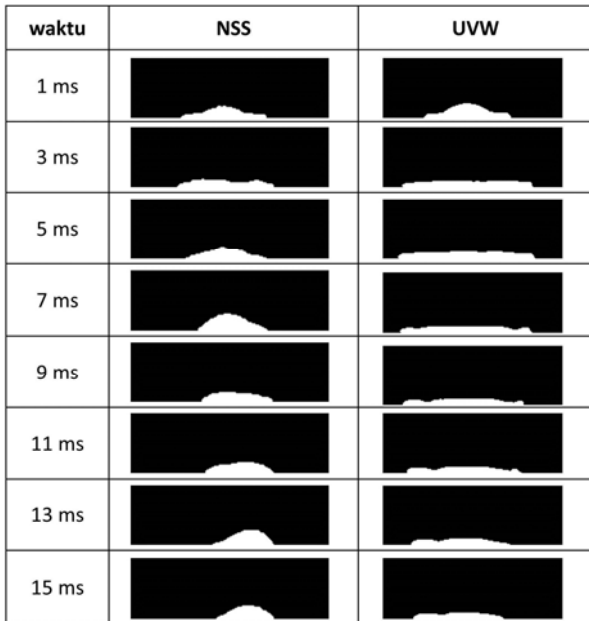
Fluida yang digunakan adalah air. Sifat-sifat fluida ditentukan dalam kondisi temperatur lingkungan standar, dan didapat dari program REFPROP-NIST, ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Sifat Air pada kondisi standar (P= 101,3 kPa dan T=300 K)

| Sifat | Nilai | Satuan |
|--------------------|--------|----------------------|
| Viskositas | 853,7 | [μ Pa.s] |
| Rapat masa | 996,6 | [kg/m ³] |
| Tegangan permukaan | 0,0717 | [mN/m] |

Hasil dan diskusi

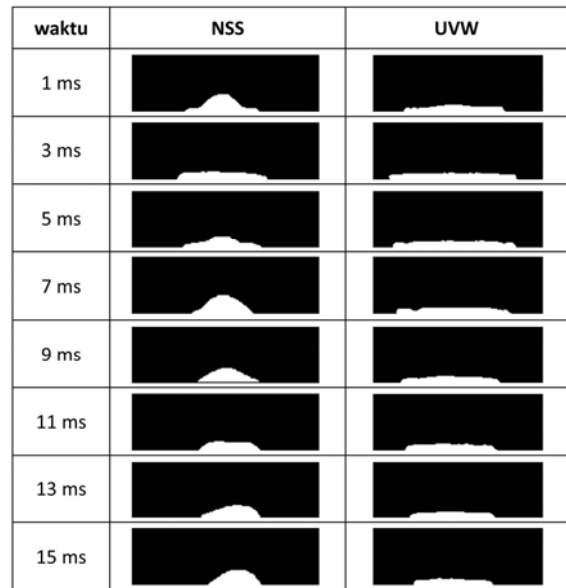
Pada gambar 1 sampai dengan gambar 4, diperlihatkan perubahan bentuk droplet pada 15 milisekon pertama. Pada gambar tersebut nampak bahwa droplet saat jatuh menumbuk permukaan NSS mengalami osilasi baik tinggi permukaan maupun besarnya sebaran droplet.



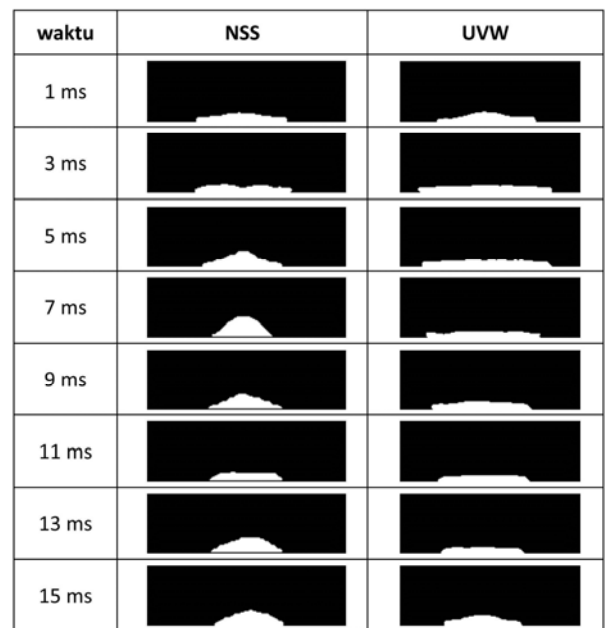
Gambar 1. Pola gerakan droplet pada 15 milisekon pertama, dan temperatur permukaan 60 °C.

Pada gambar 1, Nampak bahwa droplet bergerak ke kiri dan kekanan, pada milisekon ke-7 nampak droplet bergerak ke kiri, sedangkan pada milisekon ke-13, droplet bergerak ke kanan. Fenomena ini terjadi pula pada droplet yang menumbuk permukaan bertemperatur 80 °C, lihat gambar 2. Berbeda dengan keadaan pada temperatur permukaan 100 °C dan 120 °C, ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4, hal tersebut tidak terjadi.

Membandingkan sifat permukaan, nampak pula pada gambar 1 sampai dengan gambar 4, menunjukkan bahwa perlakuan pada permukaan, yaitu dengan pelapisan TiO₂ dan radiasi UV, menyebabkan droplet dapat menyebar dengan lebih besar. Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian Dyan [10], sudut kontak statis air pada permukaan NSS adalah 104,7°, sedangkan UVW sebesar ~0°.



Gambar 2. Pola gerakan droplet pada 15 milisekon pertama, dan temperatur permukaan 80 °C.

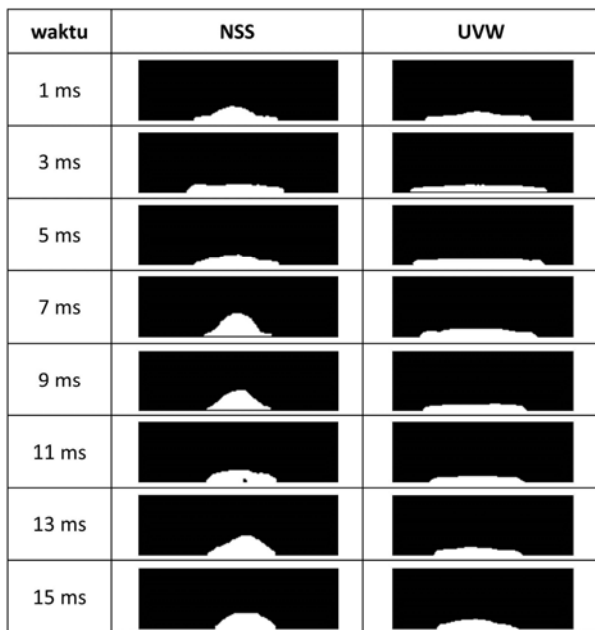


Gambar 3. Pola gerakan droplet pada 15 milisekon pertama, dan temperatur permukaan 100 °C.

Dari hasil pengamatan tersebut, Nampak bahwa pelapisan pada permukaan TiO₂ dan penyinaran dengan radiasi ultra violet akan meningkatkan gaya adhesi antara air dan permukaan *stainless steel*. Hal ini didukung pula oleh penelitian yang dilakukan Deendarlianto dkk.[3].

Gambar 5 menyatakan perbandingan besarnya sebaran droplet selama 20 milisekon pertama setelah tumbukan. Nampak bahwa untuk ukuran droplet yang kira-kira sama, dinyatakan dengan bilangan Weber, $We = \rho v^2 D_o / \sigma$, yang besarnya kira-kira 52,1, mempunyai sebaran droplet

maksimum yang hampir sama, sebagaimana ditunjukkan pada table 2.

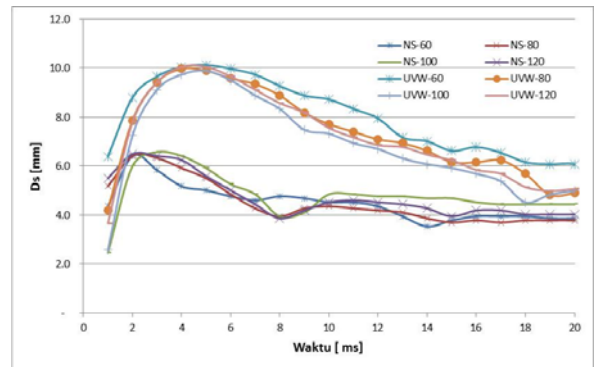


Gambar 4. Pola gerakan droplet pada 15 milisekon pertama, dan temperatur permukaan 120 °C.

Tabel 2. Sebaran droplet maksimum

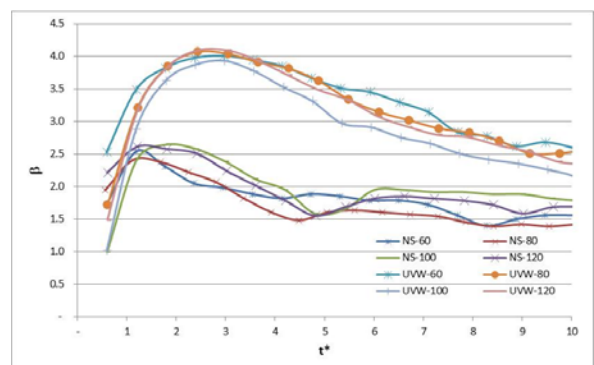
| Ts [°C] | NSS | | UVW | |
|------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | D _{maks} [mm] | β _{maks} | D _{maks} [mm] | β _{maks} |
| 60 | 6,4 | 2,54 | 10,1 | 4,01 |
| 80 | 6,4 | 2,41 | 10,0 | 4,07 |
| 100 | 6,6 | 2,64 | 9,9 | 3,93 |
| 120 | 6,5 | 2,61 | 10,1 | 4,09 |

Untuk setiap bilangan We, nampak bahwa besarnya sebaran maksimum, tidak jauh berbeda untuk masing-masing jenis permukaan, dan tidak bergantung dengan temperatur permukaan. Dengan mengubah sumbu datar dari t (waktu pengamatan), menjadi waktu pengamatan tak berdimensi t*, sebagaimana dituliskan pada persamaan 4, ditunjukkan rasio sebaran droplet dengan absis t*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6. Membandingkan gambar 5 dan gambar 6, hasil menunjukkan tidak jauh berbeda.



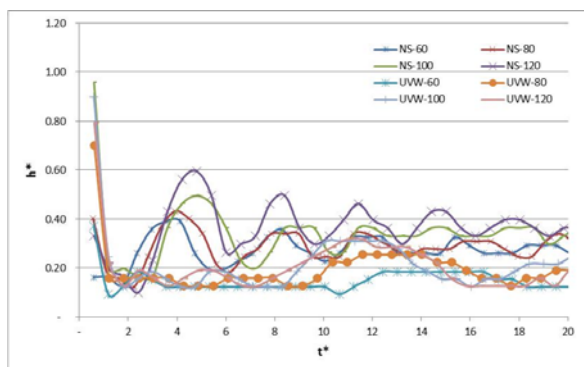
Gambar 5. Sebaran droplet pada 20 milisekon pertama.

Memperhatikan nilai β_{maks} seperti ditunjukkan pada table 2 di atas, sudut kontak statis yang kecil, memberikan sebaran droplet maksimum yang lebih besar. Korelasi antara sudut kontak statis dan sebaran droplet telah disampaikan oleh beberapa peneliti sebagaimana diringkas dan dituliskan oleh Deendarlianto dkk.[3] Terlihat bahwa pengaruh sudut kontak statis berpengaruh terhadap korelasi We dan β_{maks}. Untuk itu perlu kajian lebih jauh tentang korelasi ketiga parameter tersebut.



Gambar 6. Sebaran droplet dinyatakan dalam satuan tak berdimensi.

Memperhatikan tinggi permukaan droplet setelah menumbuk, ternyata droplet yang jatuh pada permukaan mengalami osilasi. Hal ini diakibatkan oleh tingginya bilangan We. Seperti yang diketahui bilangan We merupakan fungsi dari kecepatan. Kecepatan droplet saat menumbuk, merupakan fungsi dari ketinggian droplet ketika dijatuhkan. Akibat hal ini, maka energi yang dikandung droplet akan diubah menjadi perubahan tinggi droplet. Terdapat interaksi antara gaya kohesi, adhesi, dan gaya tegangan permukaan sehingga gaya-gaya ini menjadi setimbang.



Gambar 7. Tinggi droplet dinyatakan dalam satuan tak berdimensi.

Frekuensi osilasi tinggi droplet pada NSS, terlihat lebih besar dibandingkan pada UVW. Hal ini menunjukkan bahwa dibandingkan NSS, gaya adhesi pada UVW lebih besar dibandingkan gaya kohesinya dan gaya tegangan permukaannya. Hal ini mendukung pula pernyataan fenomena tumbukan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 sampai dengan 4, seperti telah dijelaskan sebelumnya.

Kesimpulan

Perilaku droplet saat menumbuk suatu permukaan padat dipengaruhi oleh sudut kontak statis antara fluida dan permukaan. Pada sudut kontak statis lebih kecil, diameter sebaran droplet pada permukaan terlihat lebih besar dibandingkan dengan pada sudut kontak statis yang lebih besar.

Tinggi droplet, pada fluida dengan sudut kontak besar, memantul lebih tinggi dibandingkan dengan fluida dengan sudut kontak statis lebih kecil. Tinggi permukaan droplet berosilasi, hal ini diperkirakan akibat kesetimbangan gaya antara kohesi dan adhesi serta tegangan permukaan fluida pada permukaan.

Temperatur, dalam range pengamatan dari 60 °C sampai 120 °C, tidak memberikan perbedaan yang cukup jelas pada dinamika droplet sesaat setelah menumbuk.

Referensi

[1] Kazuo Araki dan Akira Moriyama, Theory on deformation behavior of a liquid droplet impinging onto hot metal surface, *Transaction ISIJ* vol 21. Pp 583-590, (1981).
[2] I.V. Roisman, L. Ofner, C. Tropea, M. Raessi, J. Mostaghimi, and S. Chandra, Drop impact onto dry surface: Role of dynamic contact angle, *Journal of Colloids and surfaces A: Physicochem Eng. Aspects*, Vol 322, pp 183-191, (2008).

[3] Deendarlianto, Yasuyuki Takata, Sumitomo Hidaka, Indarto, Adhika Widyaparaga, Samsul Kamal, Purnomo, Masamichi Kohno, 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* 71 691–705, (2014)
[4] Bernardin, J. D., Mudawar, I., Walsh, C. B., & Franses, E.I, Contact Angle Temperatur Dependence for Water Droplets on Practical Aluminum Surfaces. *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 40, No. 5, pp 1017-1033, *Engineering*, Transaction of the ASME, Vol.125, (1997)
[5] Coursey, J. S., Enhancement of Spray Cooling Heat Transfer Using Extended Surfaces and Nanofluids. Dissertation Maryland: University of Maryland. (2007)
[6] Biomaterials Lecture 13, Surfaces: Contact Angle Phenomena and Wetting. http://www.usm.edu/pattonresearchgroup/PSC475/Lecture%20Notes/Lec13_Surfaces.pdf.
[7] Read Michael, et.al., Dynamic Contact Angle Analysis of Silicone Hydrogel Contact Lenses, *J. Biomaterials Applications*, Vol. 00. (2010)
[8] Windy Hermawan Mitrakusuma, Deendarlianto, S. Kamal, M. Nuryadi, R. Rustandi, Penentuan sudut kontak dengan pengolahan citra, *Proceeding Seminar Nasional Thermofluid VI*, Yogyakarta, 29 April 2014.
[9] Windy Hermawan Mitrakusuma, Deendarlianto, Samsul Kamal, Indarto, M. Nuryadi, Rudi Rustandi, Determining Contact Angle, and Spreading Velocity of a Droplet impacted Hot Solid Surface, Paper presented at ISIMM 2014.
[10] M. Dyan Susila, E.E., Studi Eksperimental Dinamika Tumbukan Droplet dengan Permukaan Padat yang Dipanaskan pada Bilangan Weber Menengah, Tesis S2, Teknik Mesin – UGM, (2008).
[11] S, Sikalo, M. Morengo, C. Tropea, E.N. Ganic, Analysis of impact droplet on horizontal surfaces, *Experimental Thermal and Fluid Science* 25, pp. 503-510, (2002)
[12] Kandlikar et.al., Effects Of Weber Number And Surface Temperatur On The Boiling And Spreading Characteristics Of Impinging Water Droplets, *Proceedings of NHTC'01*, 35th National Heat Transfer Conference, Anaheim, California, NHTC01-11672, pp 1 – 10, (2001).