

Single Droplet

Studi Eksperimental Pengaruh Bilangan Weber Terhadap Dinamika Tumbukan *Single Droplet* Pada Permukaan Aluminium dan Tembaga Temperatur Tinggi

Wilson Susanto¹, Windy Hermawan Mitrakusuma², Suhanan³, Deendarlianto³, Samsul Kamal³

¹Mahasiswa S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika 2 Yogyakarta 55281, Indonesia.

wilson_susanto@yahoo.co.id

²Mahasiswa S3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika 2 Yogyakarta 55281, Indonesia.

³Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika 2 Yogyakarta 55281, Indonesia.

Abstrak

Single droplet adalah tetesan tunggal air yang bertumbukan pada suatu permukaan dengan memiliki tujuan tertentu. *Spray cooling* merupakan salah satu contoh aplikasi penggunaan *droplet* dalam proses pendinginan. *Spray cooling* biasanya untuk mendinginkan permukaan panas pada suatu proses reaksi inti nuklir, pembentukan material dengan metode *quenching*, dan peralatan elektronik.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji dinamika tumbukan *droplet* dengan permukaan padat yang dipanaskan dan juga mengkaji pengaruh temperatur, dan bilangan Weber terhadap perubahan temperatur, *spreading factor*, dan ketinggian *recoil* pada butiran air.

Pada penelitian ini gunakan tetesan tunggal butiran air dengan diameter 2,8 mm yang memiliki bilangan Weber 30,1; 52,6; dan 82,7 yang dijatuhkan pada dua buah spesimen permukaan yang memiliki tingkat *wettability* yang berbeda yaitu aluminium dan tembaga. Perlakuan panas dilakukan pada temperatur di atas Leidenfrost berkisar 160°C sampai 240°C. Dinamika tumbukan *droplet* yang mengenai spesimen tersebut direkam menggunakan *high speed camera*.

Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa bilangan Weber sangat menentukan nilai *spreading factor*. Semakin tinggi bilangan Weber semakin tinggi pula *spreading factor*-nya. Sedangkan ketinggian *recoil* yang tinggi didapatkan dengan bilangan Weber rendah. Juga semakin tinggi temperatur maka semakin cepat waktu *recoil*-nya.

Kata Kunci: Leidenfrost, *recoil*, seminar RETTI, *spreading*, *spreading factor*.

1. Pendahuluan

Dalam industri banyak dibutuhkannya material yang kuat namun ringan (Aluminium) dan material yang memiliki daya hantar listrik yang tinggi (Tembaga). Untuk mengubah material tersebut agar memenuhi spesifikasi yang diinginkan diperlukan proses heat treatment. Salah satu metode heat treatment yang sering digunakan adalah spray cooling. Spray cooling adalah metode pendinginan suatu permukaan dengan menembakan butiran-butiran air (*droplet*). Dinamika tumbukan butiran air (*droplet*) dengan permukaan panas inilah yang menjadi latar belakang penelitian ini.

2. Metode

Metode penelitian ini dibagi menjadi :

1. Metode Pengumpulan Data
2. Metode Analisis Data

2.1 Metode Pengumpulan Data

Spesimen yang diamati adalah Aluminium dan Tembaga yang dipanaskan. Untuk menaikkan temperatur spesimen digunakan *heater*. Untuk mengukur temperatur pada permukaan spesimen digunakan *thermocouple* sebagai pembaca temperatur permukaan dengan rangkaian yang ditunjukkan oleh gambar 2. Rangkaian alat untuk pengambilan data ditunjukkan pada gambar 1. Parameter-parameter yang dilakukan pada eksperimen adalah :

1. Temperatur penelitian yang akan diteliti adalah temperatur Leidenfrost
2. Ketinggian *droplet* dengan permukaan spesimen permukaan dibuat bervariasi dengan nilai 40, 70, dan 110 mm.

3. Kekasaran benda uji diasumsikan tidak mengalami perubahan sejak dilakukan pengecekan pertama kali. Setelah segala persiapan telah siap maka fenomena *droplet* nantinya direkam menggunakan kamera dengan gerak *slow motion*.

2.2 Metode Analisis Data

Metode untuk menganalisis data dengan metode visualisasi dan menggunakan aplikasi MATLAB. Dengan mengubah nilai *threshold* pada MATLAB maka dapat memunculkan *countur* image sehingga fenomena pada *droplet* mudah untuk diamati.

Data-data hasil countur akan ditunjukkan dalam bentuk angka dan akan disajikan dalam bentuk grafik.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengukur diameter *droplet* yang akan diuji menggunakan rumus diameter aktual (Sekalo dkk, 2002) :

$$D_t = \sqrt[3]{D_h^2 D_v}$$

Dengan : D_t = diameter aktual
 D_h = diameter horizontal
 D_v = diameter vertikal

Nilai diameter horizontal dan vertikal didapatkan dengan aplikasi MATLAB yang dapat dilihat pada gambar 3. Sehingga diketahui diameter *droplet* yang diamati adalah 2,8 mm.

Dengan mengetahui ketinggian jatuh *droplet* maka dapat dihitung nilai Weber pada masing-masing ketinggian dengan rumus :

$$We = \frac{\rho_l D_1 V_1^2}{\sigma_l}$$

Dengan : We = bilangan Weber
 ρ_l = massa jenis cairan (kg/m^3)
 V_1 = kecepatan cairan saat mengenai permukaan (m/s)
 D_1 = diameter awal cairan (m)
 σ_l = tegangan permukaan cairan (N/m)

Hasil dari perhitungan bilangan Weber dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil visualisasi dari tumbukan single *droplet* pada Aluminium dapat dilihat pada tabel 2, sedangkan tumbukan single *droplet* pada Tembaga dapat dilihat pada tabel 3.

Dengan MATLAB maka dapat data dapat disajikan dalam bentuk grafik. Gambar 4, 5, dan 6 adalah grafik hubungan bilangan Weber dan *Spreading Factor* pada Aluminium. Gambar 7, 8, dan 9 adalah grafik hubungan bilangan Weber dan *Spreading Factor* pada Tembaga. Sedangkan Gambar 10, 11, dan 12 adalah grafik hubungan ketinggian *recoil* dengan bilangan Weber pada

Aluminium. Gambar 13, 14, dan 15 menunjukkan grafik hubungan ketinggian *recoil* dengan bilangan Weber pada Tembaga. Gambar 16 sampai dengan 21 adalah grafik hubungan pengaruh temperatur terhadap *spreading factor* yang digunakan untuk melihat kecepatan dinamika *spreading*.

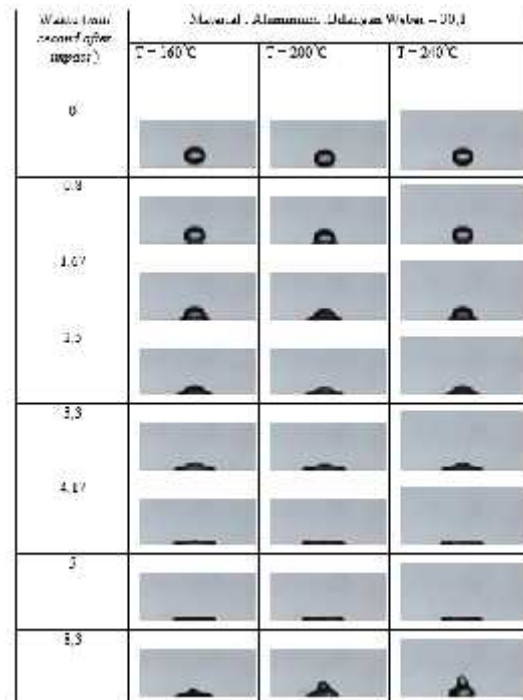
3.1 Tabel

Tabel 1 Hasil Perhitungan Bilangan Weber

Ketinggian Jatuh (h) mm	Bilangan Weber
40	30,1
70	52,6
110	82,7

Sumber : Wilson Susanto, 2015

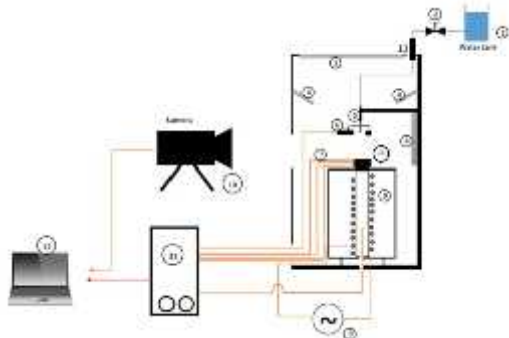
Tabel 2 Visualisasi *Droplet* pada permukaan Aluminium berbilangan Weber 30,1 dengan variasi temperatur



Tabel 3 Visualisasi *Droplet* pada permukaan Tembaga berbilangan Weber 30,1 dengan variasi temperatur

Waktu (ms) Spreading factor	Material: Tembaga, Bilangan Weber = 30,1		
	T = 160°C	T = 200°C	T = 240°C
0			
0,03			
1,67			
2,5			
3,33			
8,33			
10,83			
13,33			
15,83			

3.2 Gambar

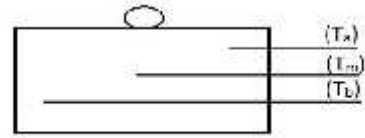


Gambar 1. Skema Alat Uji single *droplet* impact on a hot surface (Wilson, 2015)

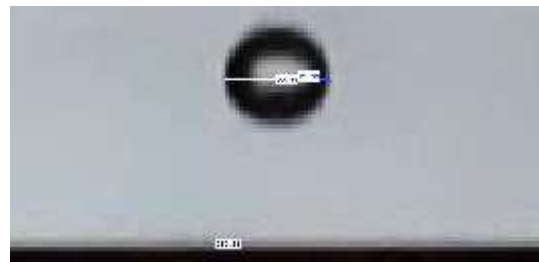
Keterangan:

1. Water tank
2. Control valve
3. Reflektor
4. Lampu LED (light emitting diode)
5. Droplet injector
6. Droplet counter
7. Thermocouple
8. Heater atau pemanas spesimen
9. Sumber listrik AC

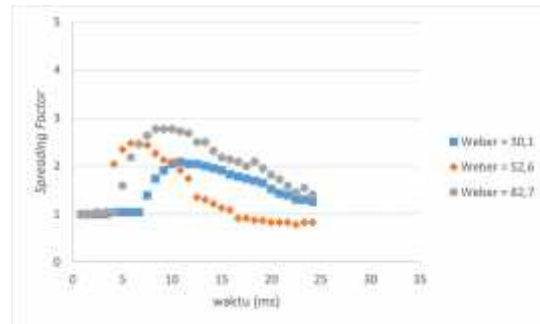
10. Kamera
11. Elektronis berbasis Arduino
12. Komputer
13. Solenoid Valve
14. Spesimen



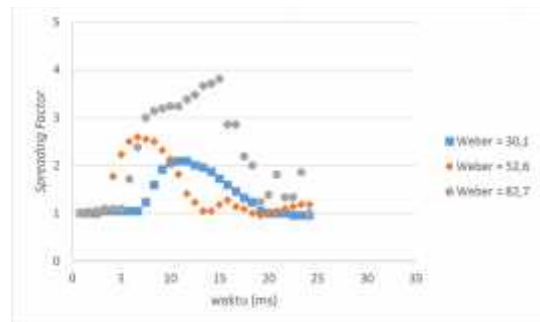
Gambar 2. Letak posisi thermocouple



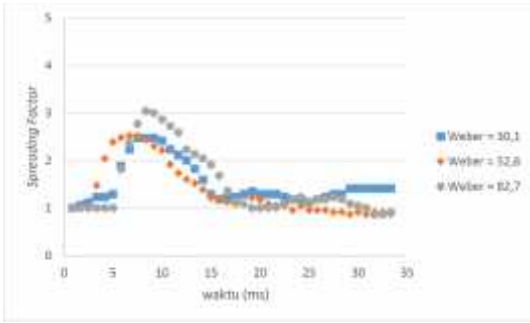
Gambar 3. Perhitungan diameter *droplet* dengan metode visualisasi



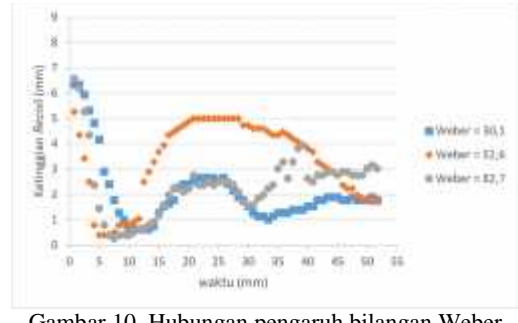
Gambar 4. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium 160°C



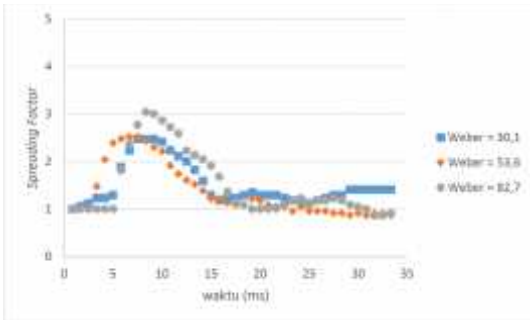
Gambar 5. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium 200°C



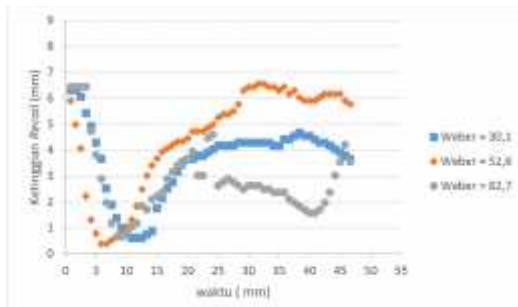
Gambar 6. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium 240°C



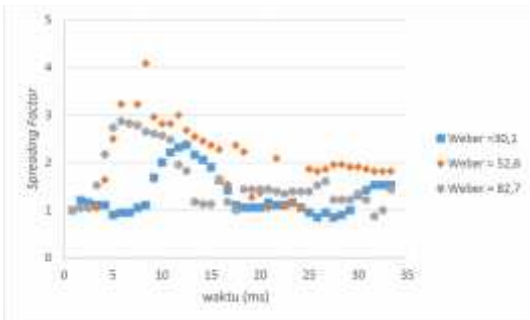
Gambar 10. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Aluminium 160°C



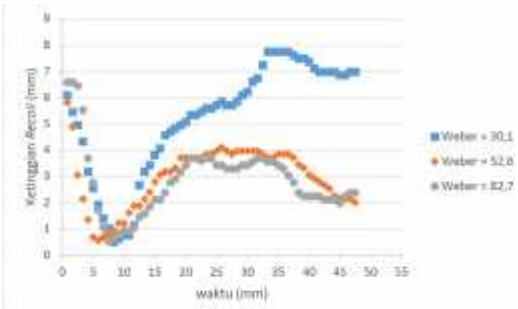
Gambar 7. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga 160°C



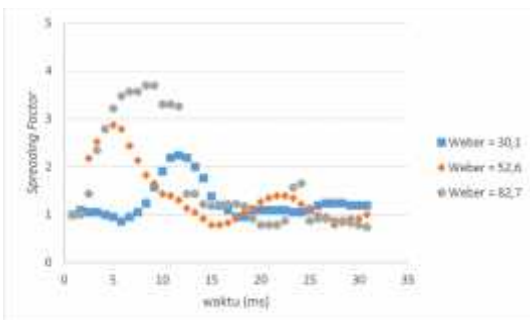
Gambar 11. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Aluminium 200°C



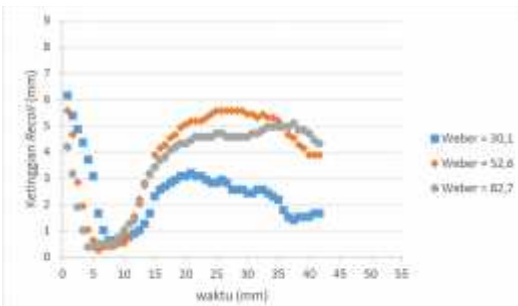
Gambar 8. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga 200°C



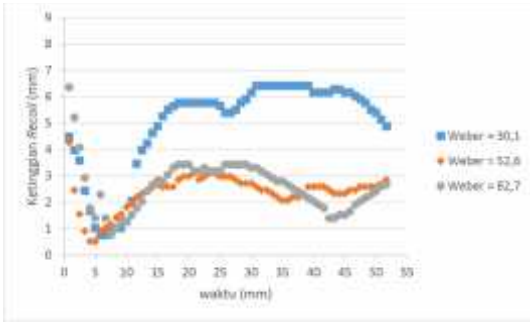
Gambar 12. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Aluminium 240°C



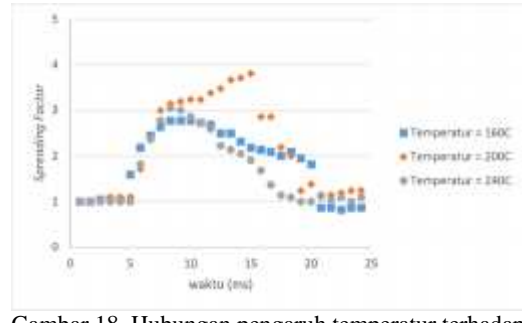
Gambar 9. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga 240°C



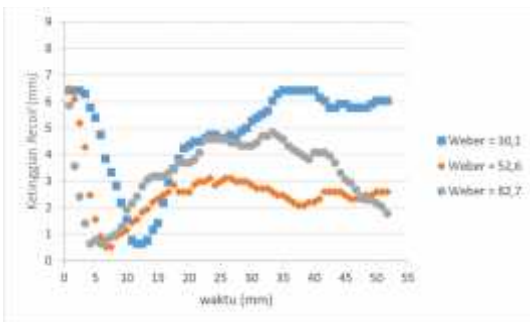
Gambar 13. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Tembaga 160°C



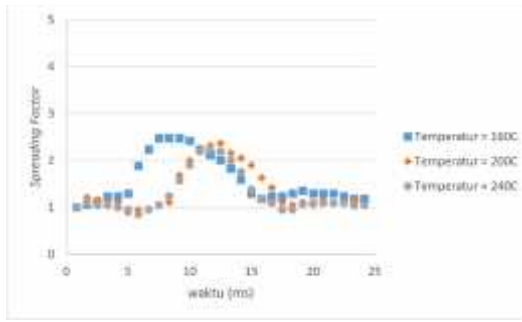
Gambar 14. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Tembaga 200°C



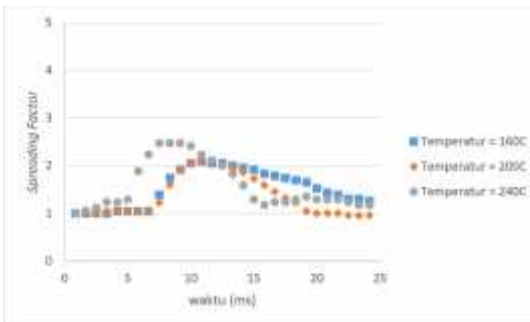
Gambar 18. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium dengan bilangan Weber 82,7



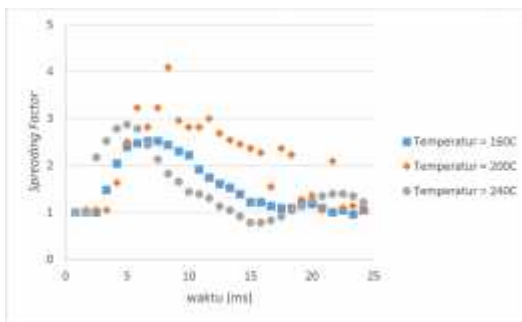
Gambar 15. Hubungan pengaruh bilangan Weber terhadap ketinggian *Recoil* pada permukaan Tembaga 240°C



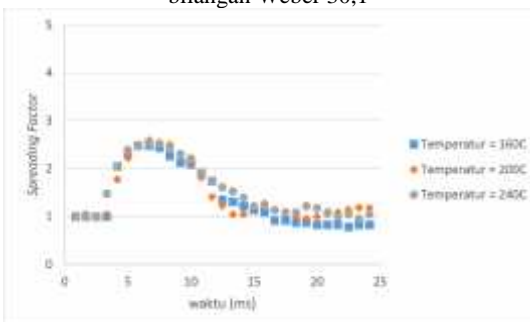
Gambar 19. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga dengan bilangan Weber 30,1



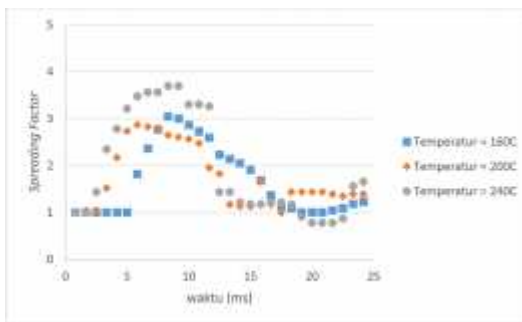
Gambar 16. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium dengan bilangan Weber 30,1



Gambar 20. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga dengan bilangan Weber 52,6



Gambar 17. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Aluminium dengan bilangan Weber 52,6



Gambar 21. Hubungan pengaruh temperatur terhadap *Spreading factor* pada permukaan Tembaga dengan bilangan Weber 82,7

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, penulis dapat mengambil kesimpulan :

- Semakin tinggi nilai bilangan Weber pada Aluminium dan Tembaga maka dinamika *spreading* akan semakin besar, sehingga menghasilkan nilai *spreading factor* yang besar pula.
- Semakin tinggi temperatur proses *spreading* dan *recoil droplet* pada Aluminium dan Tembaga akan berlangsung semakin cepat.
- Semakin rendah nilai bilangan Weber pada Aluminium dan Tembaga pada temperatur yang tinggi maka nilai ketinggian *recoil* akan semakin tinggi.
- Semakin tinggi temperatur permukaan pada Tembaga, menyebabkan ketinggian *recoil* yang lebih tinggi, sedangkan untuk Aluminium ketinggian *recoil* cukup fluktuatif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah yang Maha Esa yang telah memberikan kekuatan, berkat, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini.

Kedua, penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua penulis yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga makalah ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ketiga, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan S3 dan S1 yang telah berkontribusi pada penelitian *droplet* ini.

Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada penyelenggara acara ini dan semoga acara ini dapat berlangsung dengan baik dan terus bermanfaat.

Daftar Pustaka

- Bernardin, J. D., and I. Mudawar. 1999. "The Leidenfrost Point: Experimental Study and Assessment of Existing Models." *Journal of Heat Transfer* 121(4): 894.
- Bernardin, John D., and Issam Mudawar. 2004. "A Leidenfrost Point Model for Impinging Droplets and Sprays." *Journal of Heat Transfer* 126(2): 272.
- Bernardin, John D., Clinton J. Stebbins, and Issam Mudawar. 1997. "Mapping of Impact and Heat Transfer Regimes of Water Drops Impinging on a Polished Surface." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40(2): 247–67.
- "CA7-Deendarlianto-The Effect of Contact Angle on Evaporation of Water Droplet-1.pdf."
- "CA-Kandlikar-Contact Angle of Droplets During Spread and Recoil After Impinging on a Heated Surface.pdf."
- Chandra, S., and C. T. Avedisian. 1991. "On the Collision of a Droplet with a Solid Surface." *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 432(1884): 13–41.
- Chaves, Humberto, Artur Michael Kubitzek, and Frank Obermeier. 1999. "Dynamic Processes Occurring during the Spreading of Thin Liquid Films Produced by Drop Impact on Hot Walls." *International Journal of Heat and Fluid Flow* 20(5): 470–76.
- Gottfried, B.S., C.J. Lee, and K.J. Bell. 1966. "The Leidenfrost Phenomenon: Film Boiling of Liquid Droplets on a Flat Plate." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 9(11): 1167–88.
- Hidaka, Sumitomo, Akimitsu Yamashita, and Yasuyuki Takata. 2006. "Effect of Contact Angle on Wetting Limit Temperature." *Heat Transfer - Asian Research* 35(7): 513–26.
- Kandlikar, Satish G, Mark E Steinke, and Ashish Singh. 2001. "Effects of Weber Number and Surface Temperature on the Boiling and." *35th National Heat Transfer Conference*: 1–10.
- Šikalo, Š, and E. N. Gani . 2006. "Phenomena of Droplet-Surface Interactions." *Experimental Thermal and Fluid Science* 31(2): 97–110.
- Xie, Heng, and Zhiwei Zhou. 2007. "A Model for Droplet Evaporation near Leidenfrost Point." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50(25-26): 5328–33.