

# *Multiple Droplets*

## **Studi Eksperimental tentang Visualisasi Pengaruh Frekuensi terhadap Fenomena *Multiple droplets* yang Menumbuk Permukaan Padat**

**Rakryan Permadi S, K<sup>1</sup>, Windy Hermawan Mitrakusuma<sup>2</sup>, Samsul Kamal<sup>1,3</sup>**  
*Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia<sup>1</sup>*  
*rakryansaka@gmail.com*  
*Pascasarjana Teknik Mesin UGM, urusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung<sup>2</sup>*  
*Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada, Sekip K-1A Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia<sup>3</sup>*

### **Abstrak**

Studi eksperimental ini dilakukan untuk mengetahui visualisasi pengaruh frekuensi terhadap fenomena yang menumbuk permukaan datar pada suhu tertentu. Material yang digunakan pada studi eksperimental ini adalah spesimen UVN. Fluida yang digunakan adalah fluida air aquades

Kata Kunci: Seminar RETII, dua fasa, *spray cooling*, *multiple droplets*, visualisasi, UVN.

### **1. Pendahuluan**

Dewasa ini fenomena tumbukan droplet banyak diaplikasikan didunia perindustrian. Salah satunya digunakan pada industri material. Pada industri ini fenomena droplet digunakan untuk proses quenching dengan metode pendinginan *spray cooling*.

Metode *spray cooling* menjadi metode pendinginan yang paling banyak digunakan karena memiliki kemampuan untuk mendistribusikan kalor (*heat transfer rate*) dalam jumlah yang lebih besar daripada metode pendinginan konvensional. Dengan besarnya nilai *heat transfer rate* ini, metode *spray cooling* dapat meminimalisi biaya produksi, memperbaiki keakurasian dan meningkatkan efisiensi *heat transfer* pada proses pembuatan metal berkualitas tinggi. Sehingga metode ini dapat meningkatkan pendapatan pada industri material (Deendarlianto dkk, 2014)

Beberapa studi sudah dilakukan untuk mengetahui fenomena tumbukan droplet, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Kandiklar (2001). Pada penelitian ini berusaha untu mempelajari hubungan bilangan Weber dan pengaruhnya terhadap tumbukan droplet pada permukaan yang panas. Hasil visualisasi percobaan ini lebih menitikberatkan pada dinamika droplet ketika mengalami levitasi dan fenomena pemisahan. Penelitian yang dilakukan Kandiklar (2001) ini menggunakan variasi

beberapa bilangan Webber, yaitu 10, 14, 19, 29, dan 58.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari visualisasi dan pengaruh frekuensi terhadap fenomena *multiple droplet* yang menumbuk permukaan datar pada suhu tertentu. Visualisasi dan pengaruh penurunan suhu yang terjadi pada permukaan spesimen UVN menjadi bahasan utama pada penelitian ini.

### **2. Metode**

Tahapan yang dilakukan dalaam penelitian kali ini adalah :

1. Pengumpulan Data
2. Analisis Data

#### **2.1 Metode Pengumpulan Data**

Metode pengujian pada penelitian menggunakan metode kuantitatif, karena bersifat menguji hipotesis dari suatu teori yang telah ada kemudian dinyatakan dalam bentuk data ilmiah dalam bentuk angka.

Adapun alat-alat yang digunakan , yaitu :

1. Water tank
2. Spesimen UVN
3. Selenoid
4. Lampu LED
5. Droplet injector
6. Droplet counter

7. Thermocouple
8. Heater
9. Listrik AC
10. High speed camera dengan spesifikasi 1200 fps (frame/second)
11. Perangkat elektronis berbasis Arduino
12. Komputer

Siapkan alat-alat pengujian sebagai langkah awal pengujian. Kemudian nyalakan heater, perangkat elektronis, serta lampu LED. Hubungkan komputer dengan perangkat elektronis berbasis Arduino, tampilan program arduino akan keluar pada layar komputer. Dengan program Arduino ini kita dapat men-setting frekuensi, jumlah tetesan, dan temperatur pada heater. Heater akan memanaskan spesimen sampai suhu set point. Setelah suhu di surface spesimen mencapai suhu set point, selanjutnya kita memberi perintah ke program arduino untuk memulai pengambilan data.

Pada mode pengambilan data, program arduino akan memberi perintah ke solenoid untuk aktif, kemudian butiran-butiran droplet akan keluar melalui droplet injektor. Selanjutnya tekan tombol record pada high speed kamera, tepat sebelum droplet mengenai spesimen untuk merekam dinamika tumbukan droplet dengan spesimen uji. Pada mode ini juga, program Arduino dapat merekam pembacaan suhu di thermocouple kemudian hasil rekaman disimpan dalam komputer, sehingga peneliti dapat mengetahui pengaruh droplet terhadap temperatur spesimen uji

Variabel yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

1. Penelitian akan dilakukan ketika temperatur surface mencapai suhu 60<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 140<sup>0</sup>C, 180<sup>0</sup>C, dan 220<sup>0</sup>C.
2. Frekuensi yang digunakan adalah 80 tetes/menit, 100 tetes/menit, dan 120 tetes/menit
3. Bilangan Weber yang digunakan adalah 30,1; 52,6; dan 82,7 mm, dan 110 mm
4. Spesimen uji yang digunakan adalah UVN (Normal Stainless Steel UV-Non)

## 2.2 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan kombinasi antara metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif digunakan ketika peneliti melakukan analisis pada data visualisasi. Metode kuantitatif digunakan peneliti untuk menganalisa data pengaruh perubahan suhu terhadap spesimen.

Pada pengolahan data visualisasi (Metode kualitatif), pertama-tama peneliti mengubah video dari high speed camera menjadi gambar frame-frame. Dan berdasarkan spesifikasi kecepatan kamera (1200 fps) penulis dapat mengetahui besarnya waktu diperlukan setiap frame. Dengan itu penulis dapat melakukan analisa setiap frame kemudian dihubungkan dengan fungsi waktu secara visual.

Pada analisa data pengaruh frekuensi terhadap penurunan suhu pada spesimen (Metode kuantitatif) , penulis berusaha menampilkan data angka hasil pembacaan thermocouple ke dalam grafik. Lalu dengan grafik tersebut penulis dapat menganalisa dinamika suhu yang terjadi pada spesimen uji selama berlangsungnya proses pengambilan data.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut akan ditampilkan visualisasi tumbukan droplet dengan permukaan datar. Hasil visualisasi akan disajikan dalam bentuk tabel, dimana pada setiap tabel akan mewakili satu angka Weber yang berisi tiga variabel frekuensi yaitu 80 tetes/menit(sebelah kiri tabel), 100 tetes/menit(bagian tengah tabel), dan 120 tetes/ menit(bagian kanan tabel).

### 1. Visualisasi Dinamika Tumbukan Droplet dengan permukaan datar pada suhu 60<sup>0</sup>C.

Berikut adalah visualisasi tumbukan droplet terhadap permukaan datar pada suhu 60<sup>0</sup>C dengan menggunakan nilai Weber (We) 30,1 dan 82,6.

Tabel 1. Visualisasi droplet pada suhu 60°C , nilai Weber 30,1

Ms	We = 30,1				
	80 tetes/menit	ms	100 tetes/menit	ms	120 tetes/menit
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
79,2		79,2		79,2	
159,2		159,2		159,2	
199,2		199,2		199,2	
479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
728,8		576		487,2	
729,6		577,6		499,2	
730,4		582,4		503,2	
732		594,4		507,2	
736,8		598,4		515,2	
748,8		602,4		535,2	
752,8		610,4		558,4	
756,8		630,4		638,4	
764,8		653,6		678,4	
959,2		959,2		959,2	
960		960		960	
1148,8		1148,8		960,8	
1149,6		1149,6		962,4	
1458,4		1150,4		967,2	
1459,2		1152		979,2	
1460		1156,8		983,2	
1461,6		1168,8		987,2	
1466,4		1172,8		995,2	
1478,4		1176,8		1015,2	
1482,4		1184,8		1038,4	
1486,4		1204,8		1118,4	
1494,4		1228		1158,4	
1514,4		1308			
1537,6		1348			
1617,6					
1657,6					

Berdasarkan Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai frekuensi maka perubahan fase yang terjadi akan semakin cepat. Terlihat pada detik 480 ms, frekuensi 120 tetes/menit sudah mengalami peristiwa tumbukan antara tetes pertama dengan tetes kedua, sedangkan pada frekuensi 80 tetes/menit dan 100 tetes/menit terlihat droplet sudah tidak mengalami peristiwa recoil tetapi peristiwa tumbukan dengan tetesan kedua belum terjadi. Ketika waktu 575,2 ms, terlihat droplet pada frekuensi 120 tetes/menit memiliki spreading yang lebih lebar dibandingkan sebelum terjadi tumbukan dan tumbukan kedua pada frekuensi 100 tetes/menit mulai bertumbukan, sedangkan frekuensi 80 tetes/menit tidak mengalami perubahan fasa.

Tabel 2. Visualisasi droplet pada suhu 60°C, nilai Weber 82,7

Ms	We = 82,7				
	80 tetes/menit	ms	100 tetes/menit	ms	120 tetes/menit
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
79,2		79,2		79,2	
159,2		159,2		159,2	
199,2		199,2		199,2	
479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
728,8		576		487,2	
729,6		577,6		499,2	
730,4		582,4		503,2	
732		594,4		507,2	
736,8		598,4		515,2	
748,8		602,4		535,2	
752,8		610,4		558,4	
756,8		630,4		638,4	
764,8		653,6		678,4	
959,2		959,2		959,2	
960		960		960	
1148,8		1148,8		960,8	
1149,6		1149,6		962,4	
1458,4		1150,4		967,2	
1459,2		1152		979,2	
1460		1156,8		983,2	
1461,6		1168,8		987,2	
1466,4		1172,8		995,2	
1478,4		1176,8		1015,2	
1482,4		1184,8		1038,4	
1486,4		1204,8		1118,4	
1494,4		1228		1158,4	
1514,4		1308			
1537,6		1348			
1617,6					
1657,6					

Jika kita membandingkan antara Weber 30,1(tabel 1) dengan Weber 82,7, terlihat droplet dengan Weber 82,7 memiliki luasan spreading yang lebih lebar dibanding droplet dengan Weber 30,1. Dengan meningkatnya bilangan Weber maka luasan spesimen yang dibasahi oleh droplet akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar bilang Weber maka kenaikan energi tumbukan yang dihasilkan akan semakin besar.

## 2. Visualisasi Dinamika Tumbukan Droplet dengan permukaan datar pada suhu 100°C.

Berikut adalah visualisasi tumbukan droplet terhadap permukaan datar pada suhu 100°C dengan menggunakan nilai Webber (We) 30,1 dan 82,6.

Tabel 3. Visualisasi droplet pada suhu 100°C , nilai Weber 30,1

We = 30,1					
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	ms	120 tetes/mnt
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
728,8		576		487,2	
729,6		577,6		499,2	
730,4		582,4		503,2	
732		594,4		507,2	
736,8		598,4		515,2	
748,8		602,4		535,2	
752,8		610,4		959,2	
756,8		630,4		960	
764,8		960,8		960,8	
784,8		962,4		962,4	
1148,8		1148,8		967,2	
1149,6		1149,6		979,2	
1150,4		1150,4		983,2	
1152		1152		987,2	
1458,4		1156,8		995,2	
1459,2		1168,8		1015,2	
1460		1172,8			
1461,6		1176,8			
1466,4		1184,8			
1478,4		1204,8			
1482,4					
1486,4					
1494,4					
1514,4					

Tabel 4. Visualisasi droplet pada suhu 100°C , nilai Weber 82,7

We = 82,7					
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	ms	120 tetes/mnt
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
728,8		576		487,2	
729,6		577,6		499,2	
730,4		582,4		503,2	
732		594,4		507,2	
736,8		598,4		515,2	
748,8		602,4		535,2	
752,8		610,4		959,2	
756,8		630,4		960	
764,8		960,8		960,8	
784,8		962,4		962,4	
1148,8		1148,8		967,2	
1149,6		1149,6		979,2	
1150,4		1150,4		983,2	
1152		1152		987,2	
1458,4		1156,8		995,2	
1459,2		1168,8		1015,2	
1460		1172,8			
1461,6		1176,8			
1466,4		1184,8			
1478,4		1204,8			
1482,4					
1486,4					
1494,4					
1514,4					

Pada suhu 100°C terlihat fenomena tumbukan yang terjadi relatif sama ketika suhu 60°C. Dimana diantara ketiga variabel frekuensi (80 tetes/menit, 100 tetes/menit, dan 120 tetes/menit) mempunyai pola yang sama pada proses tumbukan droplet pertama dengan permukaan datar.

Saat 0,8-1,6 ms setelah bertumbukan terlihat sebagian droplet mulai bersentuhan dengan permukaan spesimen, sehingga bentuk droplet menjadi setengah lingkaran. Dan terlihat droplet mengalami persebaran luasan terbesar pada waktu 3,2 ms, kemudian lebar droplet kembali menuju titik pusat tumbukan akibat adanya surface tension pada tetesan air. Selanjutnya

droplet akan mengalami proses recoil, dimana permukaan droplet akan mengalami osilasi.

Sebelum tetesan kedua tepat akan menumbuk tetesan pertama, droplet sudah dalam kondisi yang steady atau proses recoil sudah tidak lagi terjadi. Ketika terjadi tumbukan dengan tetesan yang kedua, terlihat droplet membentuk pola tertentu droplet yang baru saja terjatuh masih mempertahankan bentuknya sehingga seluruh bagian tetesan yang kedua akan menyatu dengan tetesan yang pertama. Selanjutnya droplet akan mengalami proses recoiling. Hal ini akan berulang ketika tumbukan dengan tetesan ketiga terjadi.

### 3. Visualisasi Dinamika Tumbukan Droplet dengan permukaan datar pada suhu 140°C.

Tabel 5. Visualisasi droplet pada suhu 140°C , nilai Weber 30,1

We = 30,1					
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	ms	120 tetes/mnt
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
376		376		376	
399,2		399,2		399,2	
479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
576		576		487,2	
728,8		577,6		499,2	
729,6		582,4		503,2	
730,4		594,4		507,2	
732		598,4		515,2	
736,8		602,4		535,2	
748,8		610,4		855,2	
752,8		630,4		879,2	
959,2		959,2		959,2	
960		960		960	
960,8		960,8		960,8	
1148,8		1148,8		962,4	
1149,6		1149,6		967,2	
1150,4		1150,4		979,2	
1458,4		1152		983,2	
1459,2		1156,8		987,2	
1460		1168,8		995,2	
1461,6		1172,8		1015,2	
1466,4		1176,8		1343,2	
1478,4		1184,8			
1482,4		1204,8			
1486,4		1532,8			
1494,4		1612,8			
1514,4		1620,8			
1842,4					
1922,4					
1930,4					

479,2		479,2		479,2	
480		480		480	
574,4		574,4		480,8	
575,2		575,2		482,4	
576		576		487,2	
728,8		577,6		499,2	
729,6		582,4		503,2	
730,4		594,4		507,2	
732		598,4		515,2	
736,8		602,4		535,2	
748,8		610,4		855,2	
752,8		630,4		879,2	
959,2		959,2		959,2	
960		960		960	
960,8		960,8		960,8	
1148,8		1148,8		962,4	
1149,6		1149,6		967,2	
1150,4		1150,4		979,2	
1458,4		1152		983,2	
1459,2		1156,8		987,2	
1460		1168,8		995,2	
1461,6		1172,8		1015,2	
1466,4		1176,8		1343,2	
1478,4		1184,8			
1482,4		1204,8			
1486,4		1532,8			
1494,4		1612,8			
1514,4		1620,8			
1842,4					
1922,4					
1930,4					

Pada suhu 140<sup>0</sup>, fenomena droplet saat tepat bertumbukan dengan spesimen sampai 56 ms terlihat sama seperti pada suhu 60<sup>0</sup>C dan 100<sup>0</sup>C. Namun, ketika mencapai detik 376 ms surface tetesan air mulai membentuk gelombang-gelombang. Hal ini terjadi karena surface tension yang semakin melemah akibat perlakuan suhu tinggi.

Pada frekuensi 120 tetes/menit, Tetesan kedua mulai menumbuk tetesan pertama di detik 479,2 ms. Kondisi tetesan pertama sebelum bertumbukan terlihat surface tetesan pertama semakin bergelombang, tetapi belum mempengaruhi dinamika tumbukan antar droplet. Hal ini juga terjadi pada tumbukan dengan tetesan ketiga.

Pada frekuensi 100 tetes/menit, karena waktu bertumbukan dengan tetesan kedua lebih lama dibanding frekuensi 120 tetes/menit sehingga tetesan pertama mengalami waktu pemanasan yang lebih lama. Kejadian ini tentu akan mempengaruhi dinamika droplet sebelum mengalami tumbukan dengan tetesan kedua. Terlihat gelombang yang dihasilkan surface droplet semakin besar, karena surface tension yang semakin melemah.

Pada frekuensi 80 tetes/menit, waktu pemanasan sebelum terjadinya tumbukan dengan tetesan kedua berlangsung lebih lama. Sehingga fenomena yang terjadi sedikit berbeda dengan frekuensi 100 tetes/menit dan 80 tetes/menit. Sebelum terjadi tumbukan, fenomena yang terjadi adalah sebagian dari droplet mengalami penguapan sehingga timbul gelembung-gelembung uap air. Saat kondisi sebelum terjadinya tumbukan ketiga gelembung-gelembung uap air yang dihasilkan semakin besar air, hal ini terjadi karena volume air yang menguap semakin banyak jumlahnya dibandingkan kondisi sebelum terjadinya tumbukan kedua. Kejadian ini menyebabkan kontak antara tetesan ketiga dan tetesan kedua (yang menyentuh surface) menjadi kecil karena sebagian droplet sudah menguap.

Tabel 6. Visualisasi droplet pada suhu 140°C , nilai Weber 82,7

We = 82,7					
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	ms	120 tetes/mnt
0		0		0	
0,8		0,8		0,8	
1,6		1,6		1,6	
3,2		3,2		3,2	
8		8		8	
20		20		20	
24		24		24	
28		28		28	
36		36		36	
56		56		56	
376		376		376	
399,2		399,2		399,2	

Pada Weber 82,7 (tabel 6), terlihat memiliki dinamika yang kurang lebih hampir sama dengan Weber 30,1. Tetapi akibat dari energi tumbukan yang lebih besar dibandingkan Weber 30,1, spreading yang dihasilkan lebih lebar. Dan ditemukan pada fase akhir setelah tetesan ketiga bertumbukan, bentuk droplet yang lebih besar dibandingkan kondisi droplet pada Weber 30,1. Peneliti memprediksi bahwa kejadian ini terjadi karena spreading yang lebih lebar sehingga kalor yang dipindahkan semakin banyak. Maka uap air yang dihasilkan akan lebih banyak dibandingkan kondisi fase akhir setelah droplet ketiga bertumbukan pada Weber 30,1.

#### 4. Visualisasi Dinamika Tumbukan Droplet dengan permukaan datar pada suhu 180°C.

Tabel 7. Visualisasi droplet pada suhu 180°C, nilai Weber 30,1

We = 30,1				
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	120 tetes/mnt
0		0		
0,8		0,8		
1,6		1,6		
3,2		3,2		
8		8		
20		20		
24		24		
28		28		
36		36		
56		56		
79,2		79,2		
159,2		159,2		
199,2		199,2		
479,2		479,2		
480		480		
480,8		480,8		
574,4		574,4		
575,2		575,2		
728,8		728,8		
729,6		729,6		
730,4		730,4		
732		732		
736,8		736,8		
748,8		748,8		
752,8		752,8		
756,8		756,8		
959,2		959,2		
960		960		
960,8		960,8		
962,4		962,4		
1148,8		1148,8		
1149,6		1149,6		
1458,4		1458,4		
1459,2		1459,2		
1460		1460		
1461,6		1461,6		
1466,4		1466,4		
1478,4		1478,4		
1482,4		1482,4		
1486,4		1486,4		
1494,4		1494,4		
1514,4		1514,4		
1537,6		1537,6		
1617,6		1617,6		
1657,6		1657,6		

Tabel 8. Visualisasi droplet pada suhu 180°C, nilai Weber 82,7.

We = 82,7				
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	120 tetes/mnt
0		0		
0,8		0,8		
1,6		1,6		
3,2		3,2		
8		8		
20		20		
24		24		
28		28		
36		36		
56		56		
79,2		79,2		
159,2		159,2		
479,2		479,2		
480		480		
574,4		574,4		
575,2		575,2		
728,8		728,8		
729,6		729,6		
730,4		730,4		
732		732		
736,8		736,8		
748,8		748,8		
752,8		752,8		
756,8		756,8		
959,2		959,2		
960		960		
1148,8		1148,8		
1149,6		1149,6		
1458,4		1458,4		
1459,2		1459,2		
1460		1460		
1461,6		1461,6		
1466,4		1466,4		
1478,4		1478,4		
1482,4		1482,4		
1486,4		1486,4		
1494,4		1494,4		
1514,4		1514,4		
1537,6		1537,6		
1617,6		1617,6		
1657,6		1657,6		

Jika kita mengamati tabel 5, ketika suhu 180°C droplet memiliki fenomena yang berbeda dengan fenomena pada suhu 60°C, 100°C, dan 140°C. Setelah mengalami recoil akibat tumbukan, ketika mencapai 56 ms terlihat terjadi fenomena perepecahan (splash) pada droplet. Fenomena ini terjadi karena surface tension mulai mencapai batas jenuhnya sehingga tidak mampu untuk mempertahankan keutuhan bentuk droplet.

Pada saat sebelum terjadinya tumbukan kedua, terlihat droplet sudah menguap seluruhnya sehingga tetesan kedua tidak akan bertumbukan dengan tetesan yang pertama, melainkan langsung bertumbukan dengan spesimen uji. Namun ketika kondisi sebelum terjadi tumbukan dengan tetesan ketiga, pada frekuensi 120 tetes/menit dan 100 tetes/menit terlihat adanya sisa-sisa droplet yang belum menguap. Peneliti menduga hal ini terjadi karena adanya penurunan suhu pada spesimen uji yang disebabkan oleh tetesan pertama. Akibat penurunan suhu ini memungkinkan droplet tidak menguap seluruhnya.

Pada Weber 82,7 (tabel 8), terlihat secara konstan droplet mengalami penguapan seluruhnya ketika sebelum terjadi tumbukan kedua dan ketiga.

### 5. Visualisasi Dinamika Tumbukan Droplet dengan permukaan datar pada suhu 220°C.

Tabel 9. Visualisasi droplet pada suhu 220°C, nilai Weber 30,1

We = 30,1				
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	120 tetes/mnt
0		0		
0,8		0,8		
1,6		1,6		
3,2		3,2		
8		8		
20		20		
24		24		
28		28		
36		36		
56		56		
79,2		79,2		
159,2		159,2		
479,2		479,2		
480		480		
574,4		574,4		
575,2		575,2		
728,8		576		
729,6		577,6		
730,4		582,4		
732		594,4		
736,8		598,4		
748,8		602,4		
752,8		610,4		
756,8		630,4		
959,2		959,2		
960		960		
1148,8		1148,8		
1149,6		1149,6		
1458,4		1150,4		
1459,2		1152		
1460		1156,8		
1461,6		1168,8		
1466,4		1172,8		
1478,4		1176,8		
1482,4		1184,8		
1486,4		1204,8		
1494,4		1228		
1514,4		1308		
1537,6		1348		
1617,6				

Tabel 10. Visualisasi droplet pada suhu 220°C, nilai Weber 82,7.

We = 82,7				
Ms	80 tetes/mnt	ms	100 tetes/mnt	120 tetes/mnt
0		0		
0,8		0,8		
1,6		1,6		
3,2		3,2		
8		8		
20		20		
24		24		
28		28		
36		36		
56		56		
79,2		79,2		
159,2		159,2		
479,2		479,2		
480		480		
574,4		574,4		
575,2		575,2		
728,8		576		
729,6		577,6		
730,4		582,4		
732		594,4		
736,8		598,4		
748,8		602,4		
752,8		610,4		
756,8		630,4		
959,2		959,2		
960		960		
1148,8		1148,8		
1149,6		1149,6		
1458,4		1150,4		
1459,2		1152		
1460		1156,8		
1461,6		1168,8		
1466,4		1172,8		
1478,4		1176,8		
1482,4		1184,8		
1486,4		1204,8		
1494,4		1228		
1514,4		1308		
1537,6				
1617,6				

Pada suhu 220°C, dinamika tumbukan droplet memiliki pola yang sama dengan suhu 180°C. Namun, pada suhu ini droplet hampir tidak mengalami fase recoil, karena suhu spesimen yang tinggi menyebabkan droplet menguap lebih cepat dan hanya terjadi 8 ms setelah tumbukan.

Fenomena perpecahan (splash) terjadi dalam jumlah yang lebih banyak pada suhu ini, karena transfer kalor yang terjadi lebih besar.

Pada Weber 82,9 pola dinamikanya menyerupai pada Weber 30,1. Namun, terjadi fenomena menarik, yaitu adanya secondary droplet yang terbentuk setelah tumbukan pertama antara droplet dengan spesimen. Fenomena ini terjadinya karena kesetabilan lapisan film uap yang terbentuk di spesimen pada Weber 82,7 kurang stabil dibandingkan dengan kondisi Weber 30,1 (Arvin, 2008).

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah :

1. Semakin besar frekuensinya maka perubahan fase yang terjadi setiap tetesnya akan semakin cepat
2. Pada suhu tinggi, angka frekuensi yang lebih kecil mengalami waktu penguapan yang lebih lama sebelum terjadi tumbukan selanjutnya
3. Semakin tinggi bilangan Webernya maka luasan spreading yang menumbuk akan semakin lebar
4. Pada spesimen UVN ketika suhu  $180^{\circ}\text{C}$  terjadi fenomena perpecahan (splash) pada droplet yang bertumbukan
5. Pada spesimen UVN ketika suhu  $220^{\circ}\text{C}$  dengan Weber 82,7, terjadi fenomena secondary droplet

Penelitian kali ini mempunyai kelebihan yaitu membahas penelitian yang jarang dilakukan sebelumnya. Adapun kekurangan pada penelitian kali adalah peneliti belum membahas pengaruh frekuensi terhadap spreading ratio dan penurunan suhu pada spesimen.

Diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa membahas tentang pengaruh frekuensi terhadap perubahan spreading ratio dan penurunan suhu pada spesimen.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih pertama kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan makalah ini.

Kedua, Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Johny Sawardo dan Ibu Sya Indradewi selaku orang tua yang telah memberi dukungan dan doa restu sehingga penelitian dan makalah ini dapat diselesaikan dengan baik.

ketiga, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada para pengurus jurusan teknik mesin dan industri, Universitas Gadjah Mada yang telah memberi izin kepada penulis untuk menggunakan laboratorium fluida dan perpindahan kalor dan massa UGM.

keempat, Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa S3 dan S1 yang telah berkontribusi membantu penelitian tentang *multiple droplets* ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih telah menyelenggarakan acara ini dan semoga acara ini dapat berlangsung terus dengan baik dan penuh manfaat.

## Daftar Pustaka

- Deendarlianto, Yasuki, T., Sumitorno, H., Indarto, dkk., 2014, Effect of Static Contact Angle on The Droplet Dynamics During The Evaporation of a Water Droplet on The Hot Walls, *International Jurnal of Heat and Mass Transfer*, 71, pp.691-705.
- Kandlikar, S. G., Steinke, M. E., & Singh, A. (2001). Effects of Weber Number and Surface Temperature on the Boiling and. *35th National Heat Transfer Conference*