

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING SPRAY METHOD ONTO INCLINED HEATED SURFACES

Teguh Wibowo¹, Dedet Hermawan², Agung Prakoso³

^{1,2} Teknik Mesin, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta

³ Aeronautic, Adisutjipto Aerospace Institute of Technology
teguhwibowo76@gmail.com¹

Abstract

Single droplet impingement onto inclined heated surface is studied experimentally. Droplet in the form of aquades is dropped from a fixed height 70 mm to the metal surface with 45° impact angle. This experiment uses 3 types of metals; Stainless Steel AISI 304, Aluminum Alloy 2024, and Copper. All material surfaces are mirror polished and assumed to have the same surface treatment condition. Surface temperatures are 110 °C, 150 °C and 210 °C to determine droplet behavior characteristics. The droplet has 3.0 mm diameter and 28.5 Weber Number (low impact category). In order to analyze droplet behavior in slow motion high velocity camera 4000 fps (frames per second) is used with image resolution 1024 x 768. Data obtained then processed using MATLAB image processing technique to analyze sequence of images visually and quantitatively to determine several parameters; spreading ratio, dimensionless height and contact time. The results showed droplets have different behavior characteristics even at the same surface temperature. Droplet contact time on the copper surface is shorter than aluminum and stainless steel. This is because droplets experienced bouncing due to film boiling regime takes place earlier. Maximum spreading ratio of stainless-steel surfaces is higher than copper because changes of boiling regime on stainless steel surfaces are slower and droplet is still experiencing spreading on the surface.

Keywords : spray cooling, droplet, image processing, spreading ratio, dimensionless height.

1. Pendahuluan

Fenomena pembasahan permukaan padat panas oleh fluida dengan temperatur permukaan yang lebih tinggi dari temperatur jenuh fluida merupakan salah satu penerapan perpindahan kalor dalam proses industri. Beberapa proses industri yang diketahui memanfaatkan fenomena ini antara lain; pendinginan permukaan logam (spray cooling), pelapisan permukaan (spray coating), injeksi bahan bakar ke ruang bakar (direct injection), pemadaman api dengan sistem water sprinkler dan pendinginan reaktor nuklir.

Ketika tetesan fluida jatuh menumbuk permukaan padat perilaku setelah tumbukan dapat dikategorikan dalam 3 perilaku utama; menyebar (spreading), memantul (bouncing) dan menyiprat (splashing). Perilaku spreading dapat dijumpai pada tetesan air yang jatuh mengenai permukaan padat atau pada permukaan basah, misalnya fluida viskos seperti madu. Perilaku bouncing dijumpai pada air yang menumbuk permukaan hidrofobik seperti permukaan daun atau bulu burung. Perilaku splashing dapat dijumpai pada air hujan yang mengenai permukaan kaca mobil. Energi tumbukan yang lebih besar dari daya tarik tegangan permukaan kaca mengakibatkan tetesan pecah menjadi banyak tetesan kecil [1].

Menurut Liu [2] perpindahan kalor dari permukaan panas ke tetesan fluida dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu; diameter tetesan, kecepatan jatuh, sudut tumbukan, suhu fluida, suhu permukaan, kekasaran permukaan, sudut kontak, gaya gravitasi, sifat antarmuka fluida dengan permukaan (pembasahan) dan sifat termofisik material.

Pengaruh konduktivitas termal terhadap perilaku tetesan sebelumnya diteliti oleh Wibowo dkk. [3]. Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh konduktivitas termal terhadap 3 jenis material (Stainless Steel AISI 304, Aluminium Alloy 2024, dan Tembaga) terhadap

dinamika tetesan berurutan (multiple droplets) yang menumbuk permukaan panas pada bidang horizontal.

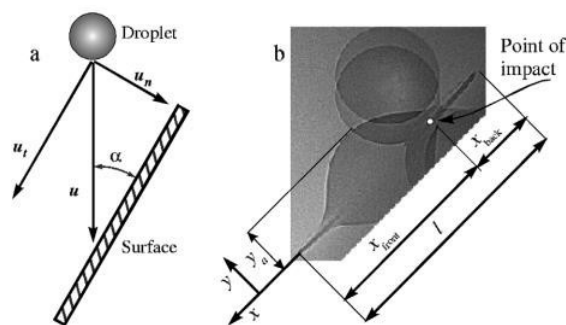
Menurut Chandra dan Avedisian [4] perilaku tetesan fluida dengan permukaan padat panas dipengaruhi oleh energi tumbukan dan suhu permukaan. Jika energi tumbukan tinggi, yang dinyatakan oleh Angka Weber yang tinggi, tetesan mengalami perubahan bentuk dan pecah menjadi tetesan kecil sedangkan jika energi tumbukan rendah tetesan akan menempel di permukaan.

Tumbukan Droplet Pada Permukaan Padat Miring, ketika tetesan fluida jatuh menumbuk permukaan padat horizontal, perilaku tumbukan yang terjadi bergantung kepada kecepatan jatuhnya. Pada kecepatan jatuh yang rendah, tetesan yang awalnya berbentuk bola mengalami perubahan bentuk menjadi bentuk cakram sedangkan pada kecepatan jatuh yang tinggi, tetesan akan menyiprat dan membentuk tetesan yang lebih kecil (sekunder).

Deendarlianto dkk. [5] telah melakukan penelitian mengenai dinamika interface droplet pada permukaan stainless steel-grade 304 (SUS 304) yang dipanaskan. Variasi sudut kemiringan yang digunakan adalah 15° , 30° dan 45° dengan diameter rata-rata droplet adalah $500\ \mu\text{m}$ dan $700\ \mu\text{m}$. Dari hasil pengujian diperoleh data visualisasi bahwa terdapat dua jenis ukuran droplet yang teridentifikasi. Pada temperatur rendah, droplet yang dilepaskan teridentifikasi karena proses evaporation yang terjadi. Namun pada temperatur tinggi yang terjadi adalah proses bouncing.

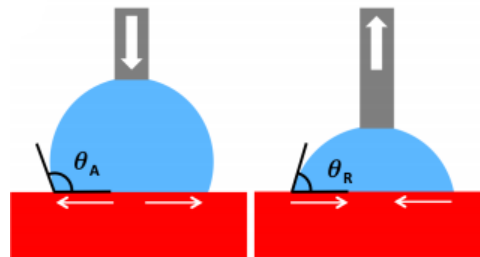
Pada permukaan miring, perbedaan kecepatan penyebaran lamela ke arah depan dan arah belakang akan meningkat seiring turunnya sudut tumbukan. Ketika penyebaran lamella arah belakang mencapai nilai maksimum, kecepatan radialnya mendekati nol. Saat itu terjadi, bagian ujung belakang permukaan kaca (yang mempunyai kebasahan tinggi) akan tetap sementara bagian ujung belakang permukaan lilin (yang mempunyai kebasahan rendah) akan meluncur ke depan. Untuk tumbukan yang tegak lurus (normal), penyebaran ini akan sama (simetris).

Geometri tumbukan pada permukaan miring ditunjukkan oleh Gambar 1a. Kecepatan jatuh tetesan (u) tersusun dari vektor kecepatan normal (u_n) dan vektor kecepatan tangensial (u_t), yang nilainya ditentukan oleh sudut tumbukan (α). Ketika tetesan menumbuk permukaan padat miring maka bentuk tetesan akan terdistorsi dan menyebar secara asimetris dari titik tumbukan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1b. Pemanjangan (*elongation*) dan asimetri bentuk belakang ke depan (x_{front} atau x_{back}) akan meningkat seiring waktu. Bagian ujung depan tetesan akan menyebar ke depan sedangkan bagian ujung belakang akan menyebar ke belakang atau ikut meluncur ke depan. Nilai x_{front} dan x_{back} didefinisikan mempunyai nilai positif sesuai sistem koordinat pada gambar yang mengacu titik tumbukan.



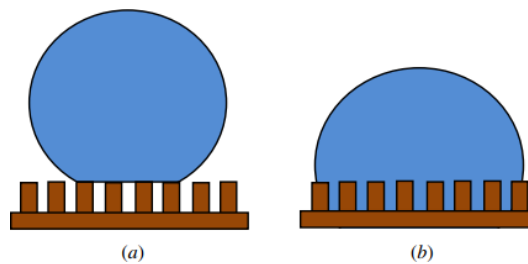
Gambar 1. a) Vektor Kecepatan Jatuh Pada Permukaan Miring; b) Tumbukan Pada Permukaan Miring [6]

Dalam kondisi aktual perubahan sudut yang terjadi dapat diukur. Sudut kontak terbesar yang dihasilkan disebut sebagai sudut kontak *advancing* (θ_{adv}) sedangkan sudut kontak terkecil yang dihasilkan disebut sebagai sudut kontak *receding* (θ_{rec}). Beda antara sudut kontak yang condong (θ_{adv}) dan sudut kontak surut (θ_{rec}), diformulasikan sebagai Sudut Kontak Histerisis, $H = \theta_{adv} - \theta_{rec}$. Untuk memperoleh sudut kontak dinamis dapat dilakukan secara sederhana dengan meniup (*inflating*) atau menghisap (*deflating*) sebuah tetesan diam (*sessile drop*).



Gambar 2. Sudut Kontak Dinamis [7]

Besar sudut kontak di permukaan selain ditentukan oleh energi permukaan juga dipengaruhi oleh tekstur permukaan. Terdapat 2 model yang digunakan sebagai pendekatan keterbasahan pada tekstur permukaan yaitu *non-wetting* (Cassie-Baxter) atau *wetting* (Wenzel), sebagaimana ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 3. Morfologi Tetesan Saat Kontak Dengan Permukaan; a) Cassie-Baxter; b) Wenzel [8]

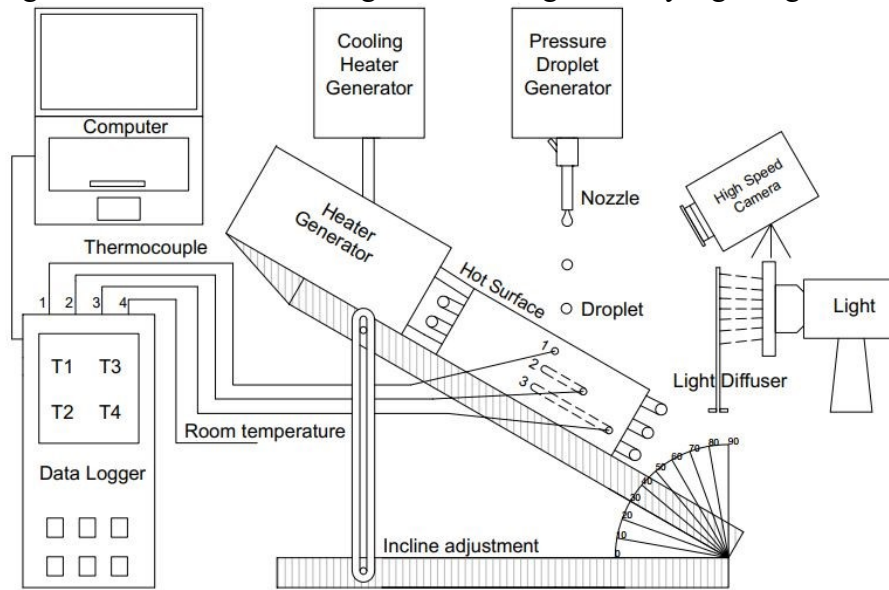
Kajian eksperimental pengaruh dinamika tumbukan single droplet pada permukaan panas yang datar telah banyak dilakukan di Indonesia. Bilangan Weber, jenis material yang digunakan, serta frekuensi droplet sangat berpengaruh terhadap pola tumbukan droplet. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian eksperimental lanjutan untuk melihat pengaruh dinamika tumbukan multiple droplets khususnya pada permukaan miring 45° aluminium, tembaga dan stainless steel yang panas.

2. Metode Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pertama, semua alat dan bahan disiapkan. Rangkaian alat uji sesuai dengan skema penelitian pada Gambar 4. Permukaan aluminium diatur dengan kemiringan tertentu yaitu 45° . Selanjutnya, reservoir diisi dengan menggunakan fluida cair. Fluida yang digunakan adalah aquades. Spesimen yang akan diuji kemudian dipasang padaudukan heater sampai posisinya sejajar dengan nozzle. Lalu, ketinggian jatuhnya droplet diukur dari permukaan spesimen dengan bilangan Weber medium. Kemudian, Thermocouple dipasang di beberapa titik: 2 pada spesimen, 1 di dudukan heater dan 1 untuk temperatur ruangan. Software Lutron berfungsi sebagai display dari temperatur yang dihasilkan dari kompor induksi, sekaligus pengatur dari naik turunnya temperatur yang diinginkan. Selanjutnya, kamera Phantom yang berfungsi sebagai high speed camera dengan

kecepatan 4000 fps dipasang dan disambungkan ke komputer. Software PCC digunakan untuk mengontrol kamera Phantom agar sesuai dengan hasil yang diinginkan.



Gambar 4. Peralatan uji

- b. Adapun frekuensi tetesan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berkisar antara 3-5 tetes/detik. Waktu relay membuka atau menutup diatur dengan menggunakan kontrol Arduino agar jumlah tetesan droplet bisa diatur. Selanjutnya, eksperimen dilakukan untuk menentukan jumlah tetesan yang diinginkan dengan cara melihat tetesan droplet dengan posisi slow motion pada komputer. Lalu, kompor induksi dinyalakan untuk memanaskan material stainless steel agar sesuai dengan temperatur yang akan kita uji yaitu 110°C - 210°C .
- c. Hasil dari video diolah menjadi kumpulan Gambar kemudian diolah kembali menggunakan software image processing untuk mengetahui nilai *spreading factor* (d/d_0), *apex height* (h/d_0). Lalu, langkah-langkah di atas diulangi untuk mengganti parameter pengujian yang lainnya.

3. Hasil dan Analisis

Penelitian ini menggunakan 3 jenis logam uji yaitu; *Stainless Steel* AISI 304, *Aluminium Alloy* 2024 dan Tembaga. yang dipilih berdasarkan kenaikan angka konduktivitas termalnya. Semua material berbentuk cakram (*disc*) dengan diameter 50 mm dan tebal 12 mm. Untuk memberikan energi permukaan yang sama pada semua logam uji maka pada masing-masing material digosok halus (*mirror polished*).

Tabel 1. Propertis Termal Logam Uji (Wibowo dkk., 2018)

Material Properties	Stainless Steel AISI 304	Aluminum Alloy 2024	Pure Copper
Conductivity, K (W/m.K)	14,9	177	401
Density, ρ (kg/cm ³)	7900	2770	8933
Specific heat, C_p (J/kg.K)	477	875	385

Tetesan fluida yang digunakan adalah air murni (*aquades*). Air murni merupakan salah satu fluida Newtonian. Fluida Newtonian adalah fluida yang mempunyai kurva tegangan dan regangan yang linier. Viskositasnya tidak berubah ketika mendapat gaya luar. Viskositas hanya

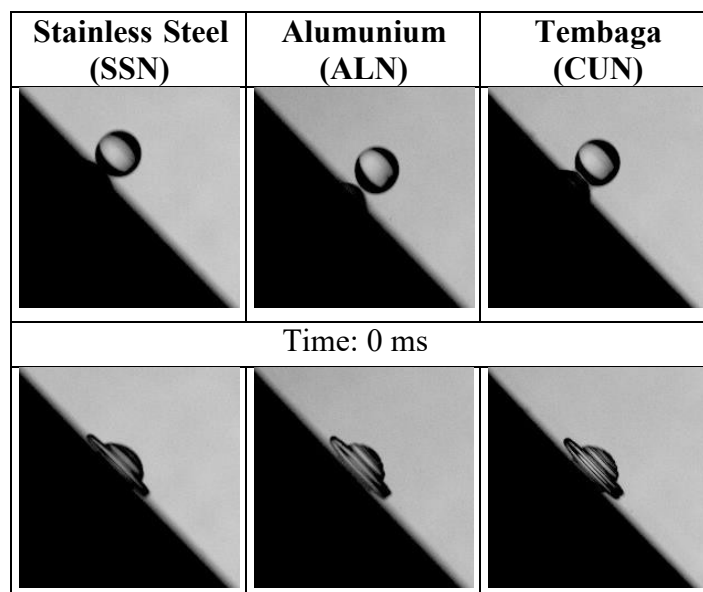
berubah jika tekanan dan temperatur fluida berubah. Pada penelitian ini tetesan fluida dan logam uji berada dalam temperatur ruangan dan diasumsikan tidak berpengaruh terhadap propertis fluida tetesan.

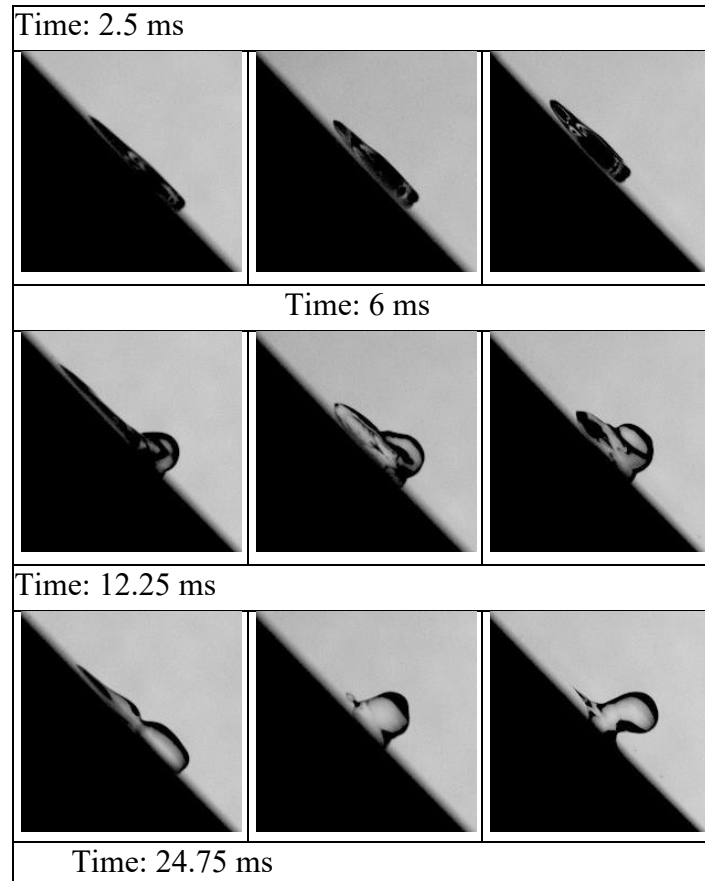
Fenomena diamati selama waktu kontak yaitu ketika tetesan masih menyentuh permukaan logam uji sebelum akhirnya mengalami bouncing. Rentang temperatur pengamatan adalah $100^{\circ}\text{C} - 210^{\circ}\text{C}$ dengan fokus pembahasan perilaku ketika terjadi perubahan rejim pendidihan pada temperatur $100^{\circ}\text{C} - 210^{\circ}\text{C}$. Untuk menyelidiki perilaku tetesan dalam gerakan lambat digunakan kamera kecepatan tinggi yang merekam 4000 fps (frame per second) dengan resolusi gambar 1024 x 768.

a. Analisa Perilaku Tumbukan Pada Temperatur Permukaan 100°C

Pengamatan terhadap permukaan logam uji dilakukan dalam 2 kondisi rentang temperatur permukaan; $100^{\circ}\text{C} < T_w < T_{Leid}$ dan $T_w \geq T_{Leid}$, dengan T_w adalah temperatur permukaan dan T_{Leid} adalah Temperatur Leidenfrost. Menurut Chandra dan Avedisian (1991), pada kondisi pertama nilai β naik hingga mencapai nilai maksimum kemudian turun ketika cairan mulai mengalami *recoil* atau mengalami evaporasi. Pada kondisi kedua, nilai β naik hingga mencapai beberapa kali nilai maksimum karena tetesan mengalami *recoil/rebound/evaporation* dari permukaan. Menurut kategori berdasarkan Angka Weber Normal (We_n 30) data hasil penelitian dikatakan mempunyai energi awal tipe menengah (*moderate impact*). Pada tetesan yang menumbuk permukaan padat dengan energi awal tipe menengah, tegangan permukaan bertindak seperti pegas, menyerap energi kinetik saat tumbukan kemudian menghasilkan gaya pengembalian yang mengakibatkan tetesan berperilaku *recoil* hingga akhirnya mengalami *bouncing*.

Pengamatan dimulai pada temperatur permukaan (T_w) 100°C yang merupakan temperatur jenuh air pada tekanan 1 atm namun masih berada di bawah Temperatur Leidenfrost ($100^{\circ}\text{C} < T_w < T_{Leid}$). Visualisasi perilaku menunjukkan selama waktu kontak tetesan mengalami perubahan bentuk sebelum akhirnya mencapai keseimbangan diameter pembasahan. Perubahan bentuk ini dimulai dari; tetesan menyentuh permukaan, menyebar (*spreading*) asimetris dari titik tumbukan hingga mencapai penyebaran maksimum dan mengalami recoil. Setelah mengalami recoil tetesan kemudian mengalami *spreading* kembali karena pengaruh gravitasi dan sebelum akhirnya pembentukan lamella di permukaan mengalami perlambatan dan mencapai diameter penyebaran konstan.



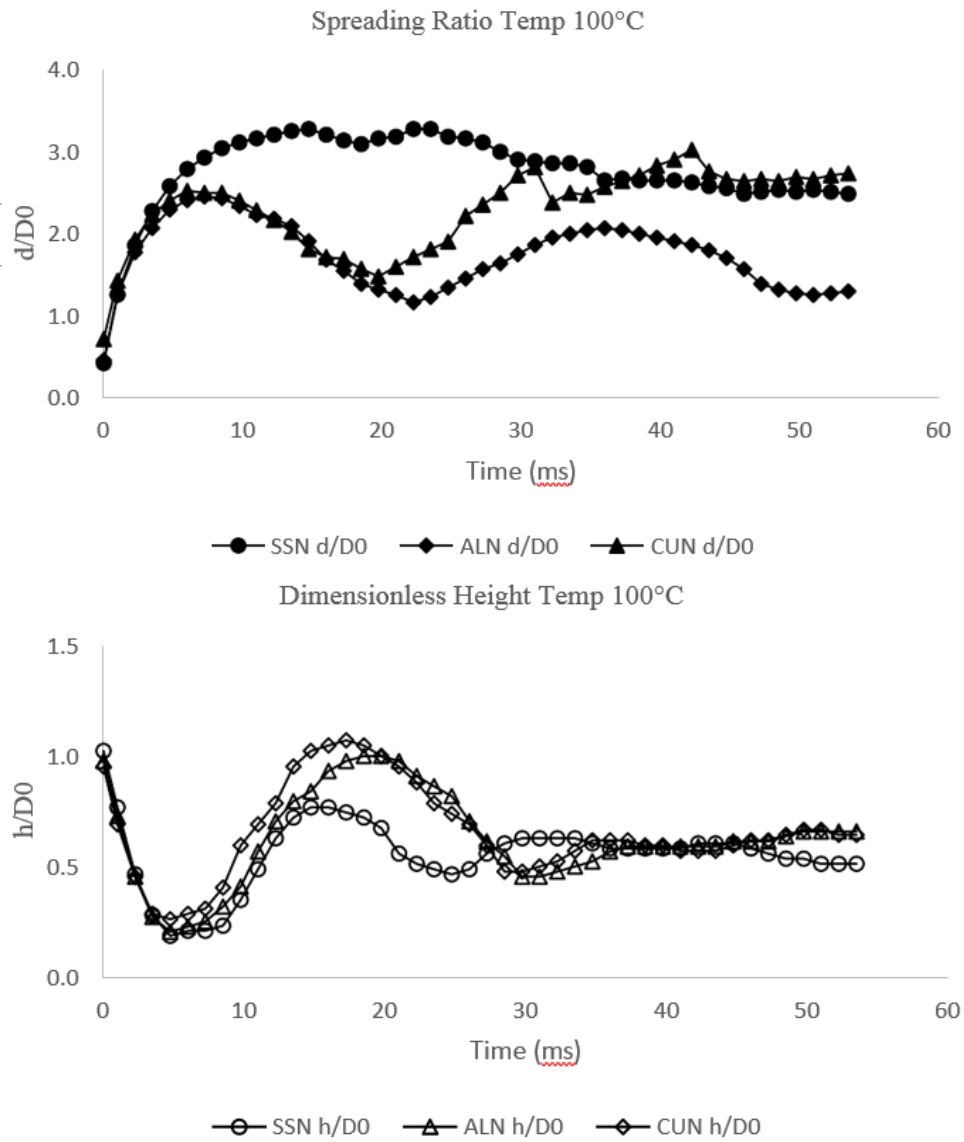


Gambar 5. Visualisasi Perilaku Tetesan ($\alpha = 45^\circ$) Temperatur Permukaan 100°C

Perilaku *dimensionless height* tetesan dijelaskan oleh Mitrakusuma [9] dalam penelitiannya mengenai perilaku tetesan saat menumbuk permukaan padat mengatakan, selain menyebar di permukaan, tinggi puncak tetesan dari permukaan (h) juga akan berubah dan mengalami osilasi. Hal ini diakibatkan oleh kesetimbangan antara gaya kohesi dan adhesi fluida dan permukaan. Perilaku ini dipengaruhi oleh Angka Weber.

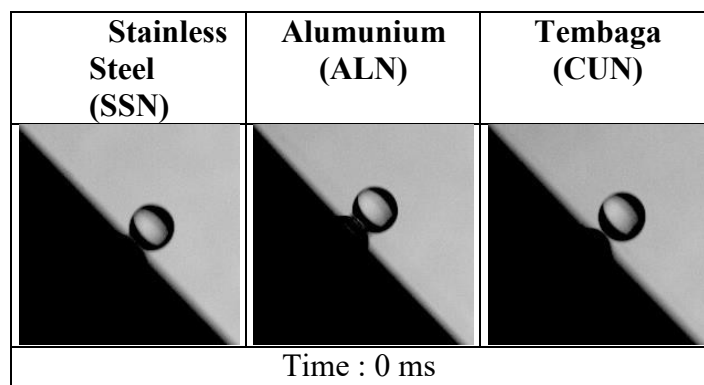
Diketahui Angka Weber merupakan fungsi dari diameter awal tetesan dan fungsi kecepatan jatuh sedangkan kecepatan jatuh sendiri merupakan fungsi dari ketinggian jatuhnya. Ketika tetesan dijatuhkan dan menumbuk permukaan padat, energi kinetik yang terkandung dalam tetesan akan diubah menjadi perubahan ketinggian tetesan di permukaan. Selama kontak dengan permukaan terjadi interaksi antara gaya kohesi, gaya adhesi dan gaya tegangan permukaan hingga akhirnya gaya-gaya tersebut mencapai keseimbangan. Selama osilasi, permukaan tembaga memiliki apex yang paling tinggi (1,05). Berdasarkan data diameter awal tembaga mempunyai diameter yang lebih besar daripada aluminium sehingga Angka Webernya juga lebih besar.

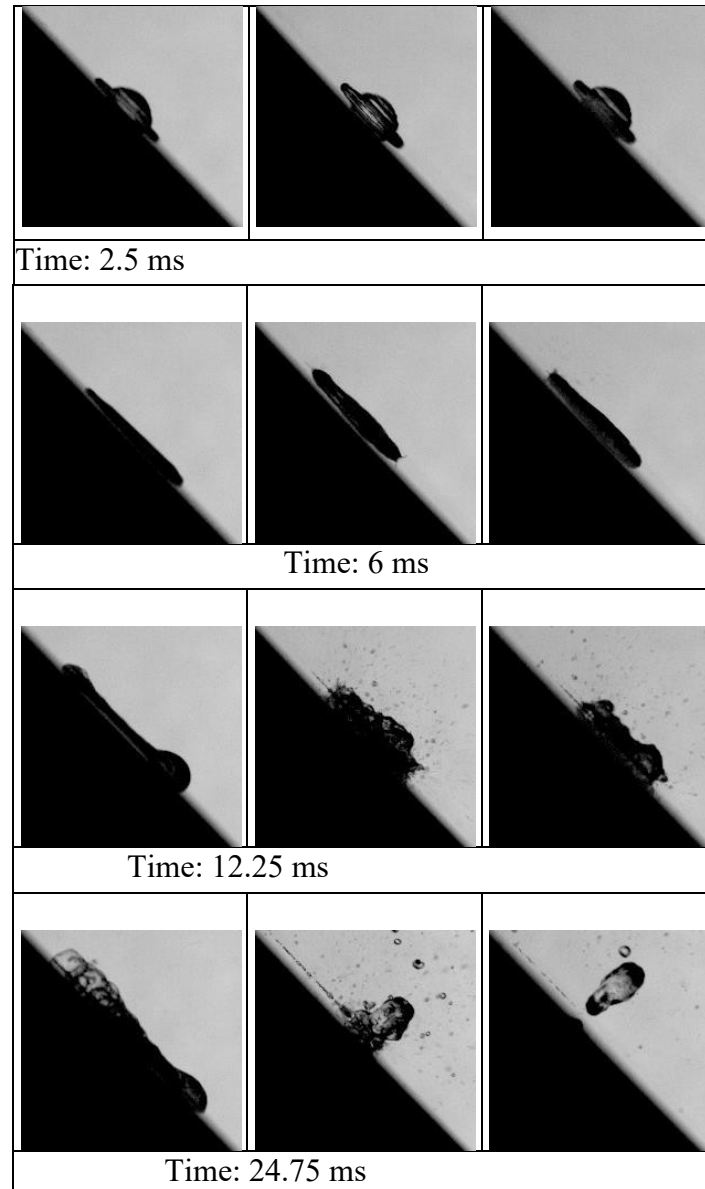
Berdasarkan hasil perhitungan secara kuantitatif yang ditampilkan dalam bentuk grafik dijumpai tetesan mengalami osilasi spreading ratio dan dimensionless height. Tetesan yang menumbuk permukaan stainless steel mempunyai spreading ratio paling tinggi (3,28) jika dibandingkan tembaga (3,02) dan aluminium (2,5). Pada stainless steel setelah mencapai spreading ratio maximum, tetesan mengalami penurunan spreading ratio hingga mencapai keseimbangan. Pada permukaan aluminium dan tembaga, tetesan mengalami fluktuasi *spreading ratio maximum* karena pengaruh gravitasi.



Gambar 6. Spreading factor dan dimensionless height pada temperatur 100°C

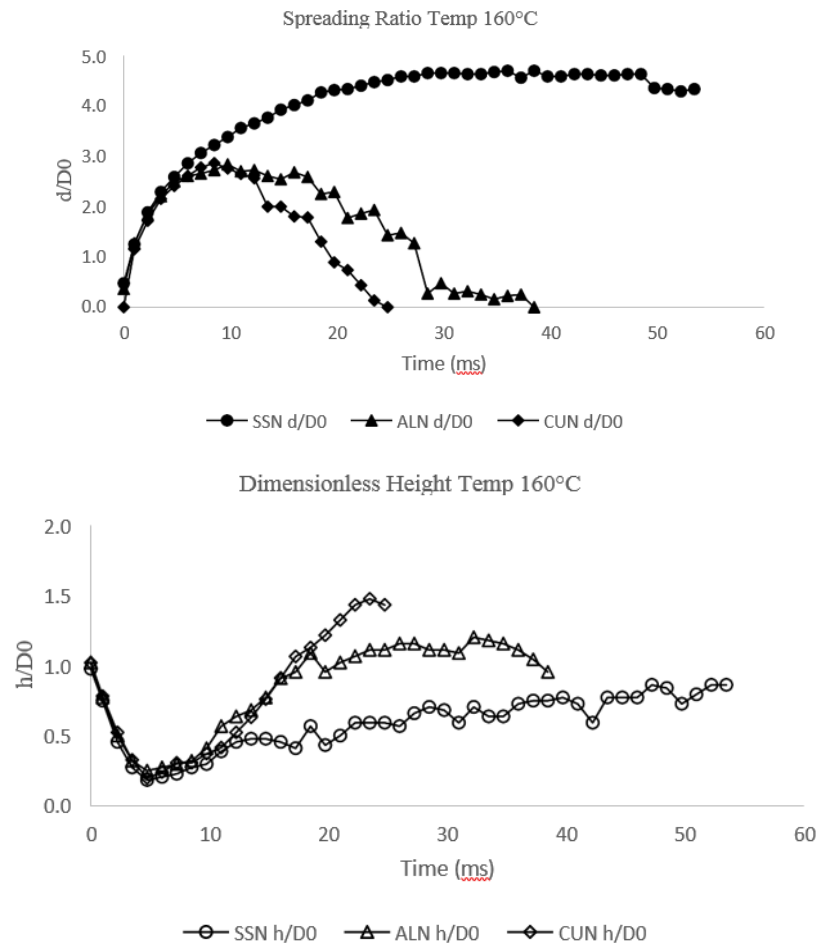
b. Analisa Perilaku Tumbukan Pada Temperatur Permukaan 160°C





Gambar 7. Visualisasi perilaku petesan ($\alpha = 45^\circ$) temperatur permukaan 160°C

Pengamatan pada temperatur permukaan 160°C menunjukkan semua rejim pendidihan (natural convection, nucleate boiling, transition boiling, film boiling) terjadi pada permukaan alumunium dan tembaga sedangkan pada permukaan stainless steel rejim pendidihan yang terjadi natural convection dan nucleate boiling. Pada stainless steel selama mengalami perubahan rejim pendidihan tetesan masih menyebar di permukaan sedangkan pada alumunium dan tembaga setelah mengalami film boiling tetesan mengalami bouncing. Pada permukaan alumunium dan tembaga dijumpai sebagian besar tetesan mengalami evaporasi. Perilaku bouncing terjadi lebih awal pada permukaan tembaga disusul oleh alumunium.



Gambar 8. *Spreading factor* dan *dimensionless height* temperatur 160°C

Berdasarkan grafik dijumpai tetesan yang menumbuk permukaan stainless steel mencapai spreading ratio paling tinggi (4,7) jika dibandingkan tembaga (2,8) dan aluminium (2,76). Pada permukaan stainless steel selama perubahan fase pendidihan tetesan mengalami kenaikan spreading ratio hingga mencapai nilai maksimum. Pada permukaan aluminium dan tembaga tetesan mengalami perubahan rejim pendidihan yang mengakibatkan penurunan spreading ratio yang signifikan. Hal ini disebabkan telah terjadi kehilangan massa tetesan karena mengalami evaporasi sehingga diameter pembasahan pada permukaan berkurang. Selain massanya berkurang pada tetesan juga terjadi bouncing. Pada pengamatan terhadap dimensionless height permukaan tembaga sebelum mengalami bouncing tetesan mencapai nilai dimensionless height maksimum (1,48).

Pengamatan terhadap sudut kontak receding menunjukkan permukaan aluminium dan tembaga selama perubahan fase pendidihan terjadi fluktuasi sudut kontak yang menunjukkan penurunan pembasahan permukaan. Sebelum mengalami bouncing terjadi kenaikan sudut kontak yang signifikan. Pembasahan pada permukaan stainless steel adalah yang paling baik karena selama perubahan fase pendidihan, tetesan masih menyebar di permukaan. Pengamatan terhadap sudut kontak advancing menunjukkan pada permukaan stainless steel tetesan mengalami fluktuasi sudut kontak selama perubahan fase pendidihan. Pada permukaan aluminium dan tembaga tetesan terjadi kenaikan sudut kontak yang drastis sebelum mengalami bouncing.

Kecepatan luncur pada posisi *rear* menunjukkan fluktuasi yang signifikan pada permukaan aluminium dan tembaga karena sebagian besar massa tetesan mengalami evaporasi sehingga titik kontakanya bergeser. Perubahan kecepatan luncur pada permukaan *stainless steel*

sangat kecil sehingga dikatakan tidak bergerak. Pengamatan terhadap kecepatan luncur pada posisi *front* menunjukkan pada semua logam uji mengalami fluktuasi naik-turun yang kontras karena mengalami *recoil* dan *bouncing*. Kecepatan luncur negatif diartikan titik kontak bergeser menjauhi arah jatuh tetesan.

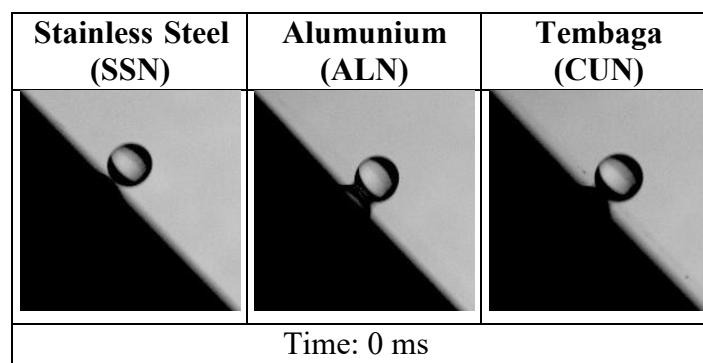
c. Analisa Perilaku Tumbukan Pada Temperatur Permukaan 210°C

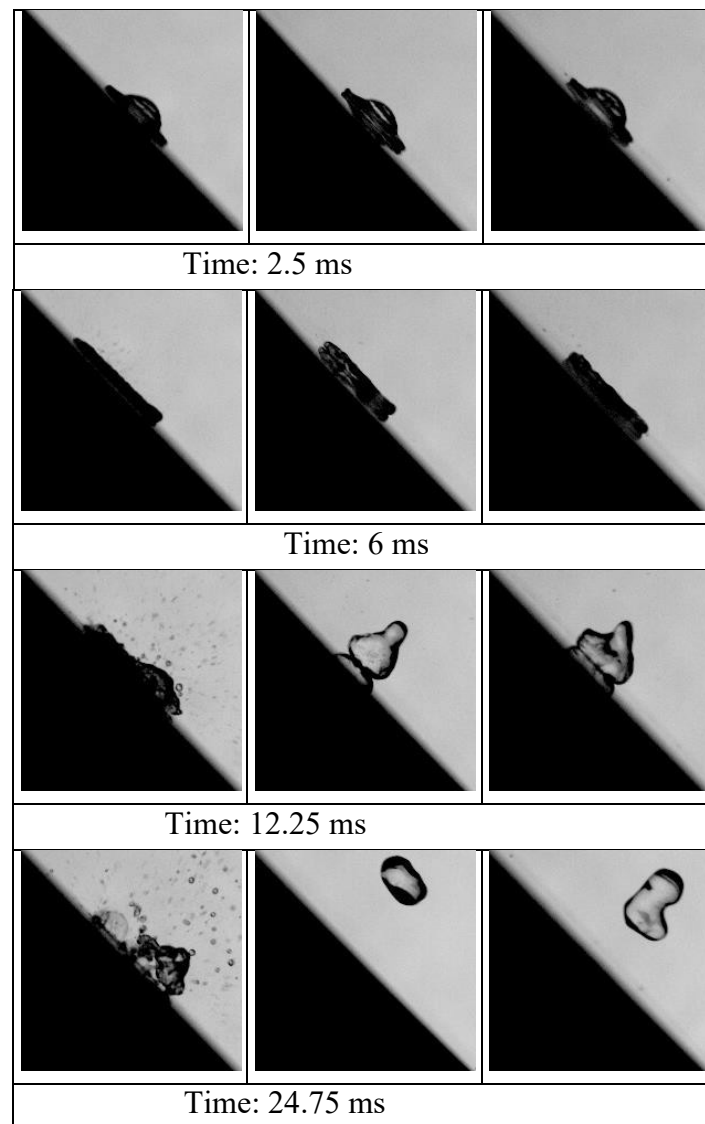
Pengamatan pada temperatur permukaan 210°C menunjukkan bahwa pada semua logam uji terjadi rejim pendidihan natural convection, nucleate boiling, transition boiling dan film boiling. Pada semua permukaan ditemukan tetesan mengalami *bouncing*. Berdasarkan perilakunya tampak bahwa temperatur permukaan sudah berada di atas Temperatur Leidenfrost ($T_w \geq T_{Leid}$, dengan T_w adalah temperatur permukaan dan T_{Leid} adalah Temperatur Leidenfrost). Perilaku utama yang dikenali pada temperatur tersebut adalah nilai β naik hingga mencapai beberapa kali nilai maksimum karena tetesan mengalami rebound dari permukaan.

Berdasarkan gambar dijumpai tetesan yang menumbuk permukaan stainless steel mencapai spreading ratio paling tinggi (2,88) jika dibandingkan tembaga (2,23) dan alumunium (2,17). Pada permukaan stainless steel setelah mencapai nilai spreading ratio maksimum tetesan mengalami penurunan spreading ratio hingga akhirnya mengalami *bouncing*. Pada permukaan alumunium dan tembaga juga dijumpai tren yang sama yaitu setelah mencapai nilai spreading ratio maksimum tetesan penurunan spreading ratio hingga akhirnya mengalami *bouncing*. Pengamatan terhadap dimensionless height menunjukkan pada permukaan alumunium sebelum mengalami *bouncing* tetesan mencapai nilai dimensionless height maksimum (1,87).

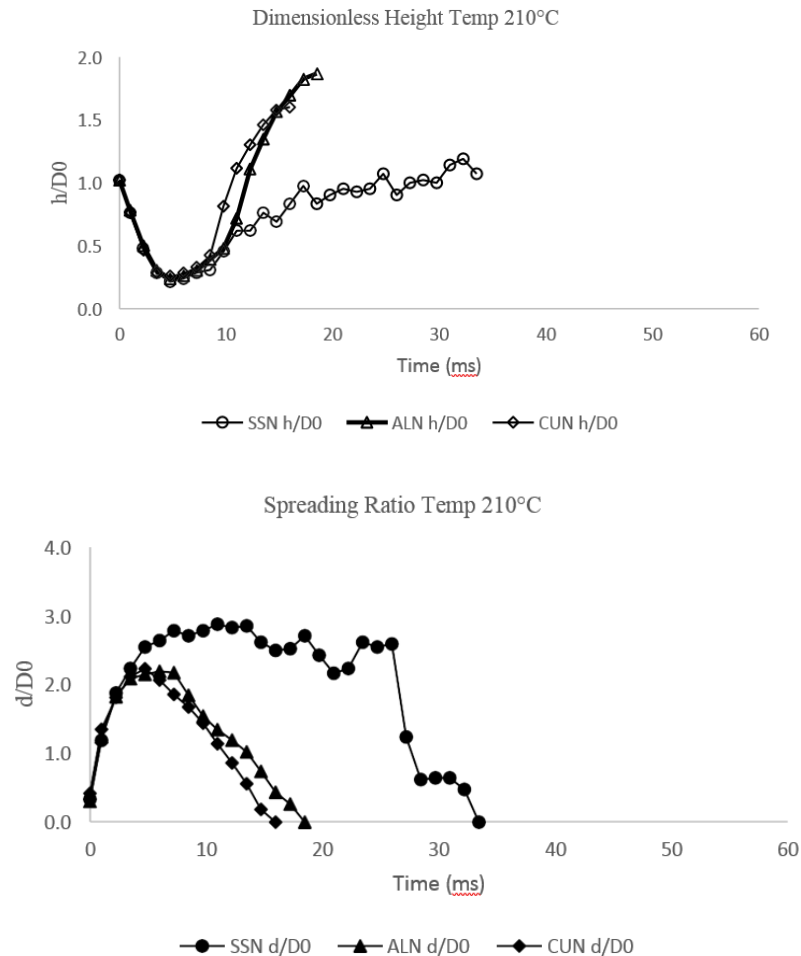
Pengamatan terhadap perilaku tetesan berdasarkan sudut kontak receding menunjukkan perilaku hidrofobik pada semua permukaan. Sebelum *bouncing* tetesan mengalami kenaikan sudut kontak yang drastis. Pengamatan terhadap sudut kontak advancing menunjukkan perilaku tetesan pada semua permukaan tetesan terjadi kenaikan sudut kontak yang drastis (hidrofobik) sebelum *bouncing*.

Pengamatan terhadap kecepatan luncur pada posisi rear menunjukkan fluktuasi yang signifikan pada permukaan stainless steel karena sebagian besar tetesan mengalami evaporasi. Selain fluktuasi tersebut kecepatan luncur pada permukaan stainless steel sangat kecil mendekati nol. Pengamatan terhadap kecepatan luncur pada posisi front menunjukkan pada permukaan alumunium dan tembaga tetesan mengalami fluktuasi kecepatan luncur sebelum *bouncing*.





Gambar 9. Visualisasi perilaku tetesan ($\alpha = 45^\circ$) pada temperatur 210°C



Gambar 10. *Spreading Factor* dan *Dimensionless Height* temperatur 210°C

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisa data, maka dapat disimpulkan Penelitian mengenai variasi material terhadap perilaku tetesan pada permukaan padat miring dengan sudut tumbukan 45° dengan temperatur 100°C - 210°C dapat disimpulkan:

- Faktor penyebaran maksimum droplet pada permukaan logam uji tembaga dan alumunium terjadi pada temperatur 130°C. Pada material *stainless steel* faktor penyebaran maksimum terjadi pada temperatur 150°C..
- Pada permukaan *stainless steel* tetesan fluida terlibat kontak dengan permukaan paling lama jika dibandingkan alumunium dan tembaga. Waktu kontak tetesan fluida pada permukaan tembaga adalah yang paling singkat dari semua logam uji.
- Pada permukaan *stainless steel*, regim pendidihan *nucleate boiling* mulai muncul pada temperatur 130°C yang ditandai munculnya gelembung kecil di dalam tetesan sedangkan regim pendidihan *film boiling* baru muncul pada temperatur permukaan 210°C.
- Pada permukaan alumunium regim pendidihan *nucleate boiling* mulai muncul pada temperatur 120°C sedangkan *film boiling* muncul lebih awal pada temperatur permukaan 160°C. Pada permukaan tembaga regim pendidihan *nucleate boiling* mulai muncul pada temperatur 120°C sedangkan *film boiling* muncul paling awal jika dibandingkan logam uji lainnya yaitu temperatur permukaan 150°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Durickovic, Bojan and Varland, Kathleen, 2005, *Between Bouncing and Splashing: Water Drops on a Solid Surface*, Technical Report, University of Arizona
- [2] Liu, H., 1999, *Science and Engineering of Droplets*, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- [3] Wibowo, T., Widyatama, A., Kamal, S., Deendarlianto, Indarto, 2018, *The Effects of The Material Conductivity on The Dynamics Behavior of The Multiple Droplets Impacting onto Hot Surface*, AIP Conference Proceedings
- [4] Chandra, S., Avedisian, C.T., 1991, *On the Collision of a Droplet with a Solid Surface*, *Proc. Math. Phys. Sci*, Vol.432, pp.13-41.
- [5] Deendarlianto, Takata, Y., Kohno, M., Hidaka, S., Wakui, T., Majid, A.I., Kuntoro, H.Y., Indarto, Widyapharaga, A., 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*, Vol.101, pp.1217–1226.
- [6] Sikalo, S. Tropea, C., Ganic, E.N., 2005, *Impact of Droplets onto Inclined Surfaces*, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.286, pp.661–669.
- [7] Varagnolo, Silvia, 2016, *Study and Control of Drop Motion on Inclined Surface*, Dissertation, University Degli Studi Di Padova
- [8] Dash, S., Kumari, N., Garimella, S.V., 2011, *Characterization of Ultrahydrophobic Hierarchical Surfaces Fabricated Using Single-Step Fabrication Methodology*, *J. Micromech. Microeng.* 21 (2011) 105012 (12pp).
- [9] Mitrakusuma, W.H., et al., 2017, *The dynamics of the water droplet impacting onto hot solid surfaces at medium Weber numbers*, *Heat Mass Transfer* 53, 3085–3097