

ANALISA PEMBENTUKAN *FILMWISE* MENJADI *DROPWISE* PADA PENANGKAP UAP JENIS DATAR, SEGITIGA DAN SETENGAH LINGKARAN

Irfan Santosa^{1,*}, Septian Ade Maulana²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

Jalan Halmahera KM.1 Tegal

*Email: ci_ulya@yahoo.co.id

Diterima: 20 April 2021

Direvisi: 28 November 2021

Disetujui: 14 Desember 2021

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengetahui pembentukan *filmwise* menjadi *dropwise*, menghitung kalor pemanasan, menghitung massa penguapan, menghitung koefisien perpindahan kalor kondensasi dan nilai Reynold. Metode penelitian dengan memvariasikan bentuk dari penangkap uap dan melakukan pengukuran temperatur air (T_1), Temperatur uap pada pemanas air (T_2), Temperatur plat penangkap uap (T_3), Temperatur Lingkungan (T_4), pengambilan dokumentasi untuk melihat proses terbentuknya *filmwise* menjadi *dropwise*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memanaskan air membutuhkan kalor sebanyak 284.705,42 Joule. Massa penguapan 0,13 kg. Koefisien perpindahan kalor kondensasi untuk masing-masing penangkap uap adalah $h_{datar} = 1,2759 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$, $h_{segitiga} = 1,0493 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$, $h_{setengah \text{ lingkaran}} = 1,1095 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$. Bilangan Reynolds yaitu Nilai Re penangkap uap datar = 4547487,192, nilai Re penangkap uap segitiga = 4088577,645, nilai Re penangkap uap setengah lingkaran = 4323144,511. yang artinya aliran uap tersebut termasuk ke dalam aliran Turbulen.

Kata kunci: *filmwise*, *dropwise* kondensasi, penangkap uap.

ABSTRACT

This study aims to determine the formation of *filmwise* to *dropwise*, calculate heating heat, calculate the mass of evaporation, calculate the heat transfer coefficient of condensation and the Reynold value. The research method is by varying the shape of the steam catcher and measuring the water temperature (T_1), steam temperature in the water heater (T_2), steam catcher plate temperature (T_3), environmental temperature (T_4), taking documentation to see the process of forming *filmwise* to *dropwise*. The results showed that heating water required 284,705.42 Joules. Evaporation mass 0.13 kg. The condensation heat transfer coefficient for each of the vapor traps is $h_{datar} = 1.2759 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$, $h_{triangle} = 1.0493 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$, $h_{half \text{ circle}} = 1.1095 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$. The Reynolds number is the Re value of the flat steam catcher = 4547487.192, the Re value of the triangular steam catcher = 4088577.645, the Re value of the semi-circular steam catcher = 4323144.511. which means that the steam flow is included in the Turbulent flow

Keywords: *Filmwise*, *Dropwise* Condensation, *Steam Capture* Variation.

PENDAHULUAN

Pepindahan panas atau kalor adalah perpindahan energy yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. (J.P.Holman, 1997)

Panas yang diperlukan untuk menguapkan air dalam perangkat destilasi air laut dengan kemiringan kaca penutup 300 adalah $Q = 9,1872$ W, efisiensi (η) = 27,10%, kemiringan kaca 200 adalah $Q = 8,9347$ W, efisiensi (η) = 24,85% dan sudut kemiringan 500 memiliki nilai $Q = 7.1987$ W, efisiensi (η) = 23.84%. (Santosa, 2012). Kondensasi adalah perubahan keadaan fisik uap dari fasa gas ke fasa cair, yang terjadi ketika uap yang didinginkan akan berubah menjadi cair (Holman, 1997).

Kondensasi uap dimulai dengan pembentukan kelompok atom atau molekul yang lembab dalam volume udara antara fase gas dan permukaan cairan atau padat. Mengacu pada hasil kondensasi uap pada permukaan dinding filmwise dan dropwise, kasus ini terjadi ketika uap menempel pada permukaan yang tidak tersusun dari partikel (Kulkarni, 2015).

Kondensasi ini juga tergantung pada kemampuan media berpori untuk dapat menyerap dalam fase cair atau fase uap dalam keadaan cair (Travis, 2011). Mekanisme ini dapat terjadi karena kapilaritas dan infiltrasi, untuk penyerapan kapiler air hasil dari tarikan antara air dan pori-pori dan tegangan permukaan air. Sedangkan dalam infiltrasi, tekanan hidrostatis diperlukan untuk penyerap. Ada dua jenis kondensasi yang dapat dibedakan, yaitu kondensasi permukaan dan kondensasi mikro atau kondensasi kapiler. Kondensasi butiran atau kondensasi dropwise terjadi ketika cairan kondensat jatuh membasahi permukaan dan membentuk lapisan (film). Kondensat membentuk butiran di sepanjang permukaan. Kondensasi butiran adalah jenis transfer panas yang paling efisien karena laju kondensasi perpindahan panas jauh lebih besar daripada kondensasi film (Pandey, 2012). Akumulasi butiran pada permukaan dapat memicu pembentukan film cair (film cair). Sedangkan kondensasi film adalah jenis kondensasi yang umum di kebanyakan sistem. Kondensat, dalam bentuk butiran, membasahi permukaan dan

jatuh bersama untuk membentuk lapisan cairan yang melebur menjadi satu. Lapisan fluida mengalir sebagai akibat gravitasi, uap gesekan, dll. (Kamal, 1998).

Kondensasi film paling umum dalam aplikasi teknik. Aliran cair kondensat akan menyebabkan fenomena seperti aliran laminar, aliran gelombang (bergelombang), transisi laminar-turbulent, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cair. Teori Nusslet mengatakan bahwa kondensasi terjadi jika uap didinginkan di bawah suhu jenuh (tergantung pada tekanan) Panas penguapan yang dilepaskan selama kondensasi harus dihilangkan melalui transfer panas, misalnya di dinding yang didinginkan. Lapisan kondensat yang berkembang mengalir ke bawah di bawah pengaruh gravitasi. Selama proses kondensasi, ketebalan lapisan meningkat (Miljkovic, 2012).

Bentuk dan aliran kondensat yang terjadi pada permukaan kondensasi dapat dalam bentuk embun atau kondensasi dropwise atau dalam bentuk lapisan kondensat (embun) yang mengelilingi bidang kondensasi, atau kondensasi filmwise. Bentuk kondensasi dropwise memberikan tingkat konveksi yang tinggi, tetapi sulit dilakukan dalam operasi kondensor. Bentuk kondensasi filmwise memberikan tingkat konveksi yang relatif kecil, karena lapisan film akan menutupi permukaan kondensasi sehingga ketahanan panas akan lebih besar (Narasimha, 2012).

Khilmi Affandi, et al. Hubungan suhu pendingin dan volume output, laju desalinasi, kalor serap kondensor, dan efisiensi, adalah berbanding terbalik. Ketika suhu mulai naik, maka parameter-parameter tersebut menjadi menurun. Ketika suhu uap yang dihasilkan oleh panel evaporator semakin tinggi, maka jumlah kalor yang diserap oleh kondensor juga ikut meningkat. Dan ketika suhu uap yang dihasilkan rendah, maka kalor serap yang dibutuhkan juga turun. Kalor yang diserap ini berbanding lurus dengan efisiensi tertinggi pada 79% dan dengan suhu pendingin yang cukup konstan pada 33°C.

Eko Yohanes, et al, vol.5, no.1 (2014). Aliran kondensat pada *porous media* arang tempurung kelapa, yang semakin tebal

dengan pertambahan temperatur yang teramati secara visualisi. Untuk aliran panas yang terjadi akan disajikan dalam bentuk gambar grafik *Heat flux* per titik temperatur dalam ruang kondensasi. Perubahan konduktivitas termal efektif pada *porous media* terhadap waktu. Santosa, 2015 menganalisa *filmwise* dan *dropwise hybrid basin solar still* dimana hasil penelitian menunjukkan selama 9 jam pemanasan *hybrid basin solar still* menunjukkan rata-rata temperatur $IT=468,81 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$; $T_w=318,67 \text{ } ^\circ\text{K}$; $T_{sv}=315,66 \text{ } ^\circ\text{K}$; $T_g=306 \text{ } ^\circ\text{K}$; $T_a=303,22 \text{ } ^\circ\text{K}$; $P = 5,58 \text{ Pa}$; $hm= 6801,33 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$; $Re=348,27$

Ahlers, 2019 dalam artikel jurnalnya yang berjudul Apakah dropwise memungkinkan untuk diteliti? Dimana kesimpulan risetnya adalah bahwa pemahaman tentang dropwise kondensasi membutuhkan kajian yang mendalam dan inovatif sehingga kerusakan lapisan permukaan/material bisa diminimalisir.

Dari permasalahan diatas bahwa tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air, menghitung massa penguapan, menghitung koefisien perpindahan kalor kondensasi, menghitung bilangan *Reynold* dan menganalisa pembentukan *filmwise* menjadi *dropwise* pada penangkap yang divariasikan.

METODE PENELITIAN

Metode analisis data yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan eksperimen dengan melakukan penelitian laboratorium melalui beberapa percobaan untuk mengetshahui fenomena terjadinya *filmwise* menjadi *dropwise* pada tiga model penangkap uap yang berbentuk datar, segitiga dan setengah lingkaran. Langkah-langkah pengujian alat ini menggunakan air sebanyak satu liter sebagai bahan yang akan dipanaskan pada pemanas air untuk menghasilkan foto dari fenomena terbentuknya *filmwise* dan *dropwise* pada penangkap uap.

Setelah itu melakukan perhitungan seperti :

1. Menghitung nilai kalor yang dibutuhkan (Q)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

2. Menentukan massa dari uap air yang dihasilkan (m)

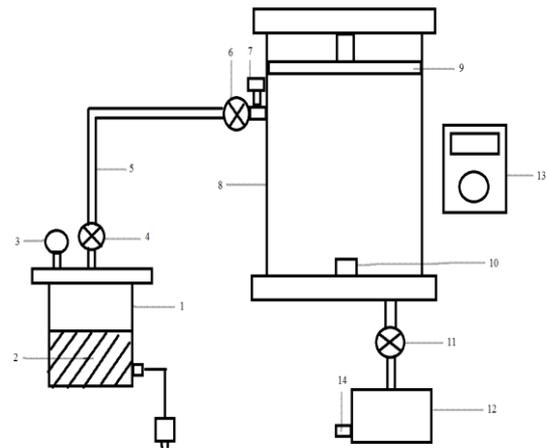
$$Q = m \cdot U \dots\dots\dots(2)$$

3. Menghitung Koefisien perpindahan kalor kondensasi (h) dari masing-masing penangkap uap.

$$h = 0,943 \left[\frac{\rho(\rho-\rho_v)g h_f g k_f^3}{L \mu_f (T_2-T_3)} \right]^{1/4} \dots(3)$$

4. Menghitung bilangan Reynolds (Re)

$$Re_f = \frac{4hL(T_2-T_3)}{h_f g \mu} \dots\dots\dots(4)$$



Gambar 1. Desain sederhana alat uji

Keterangan :

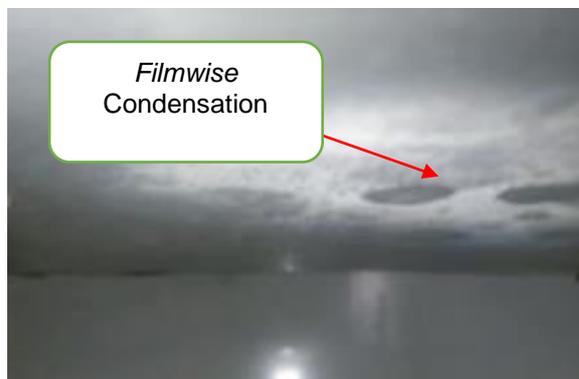
1. Pemanas air elektrik
2. Air
3. Pressure gauge
4. Katup / kran
5. Selang uap
6. Katup / kran
7. Temperatur uap
8. Tabung penangkap uap
9. Penangkap uap
10. Kamera
11. Katup / kranTempat keluarnya air
12. Temperatur Ruangan
13. Temperatur Udara/Lingkungan
14. Kran Buang air hasil penguapan/kondensasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tentang proses pembentukan *filmwise* dan *dropwise* didalam penangkap uap yang mempunyai tiga model penangkap uap yaitu model datar, segitiga dan setengah lingkaran.

a. Pembentukan *filmwise*

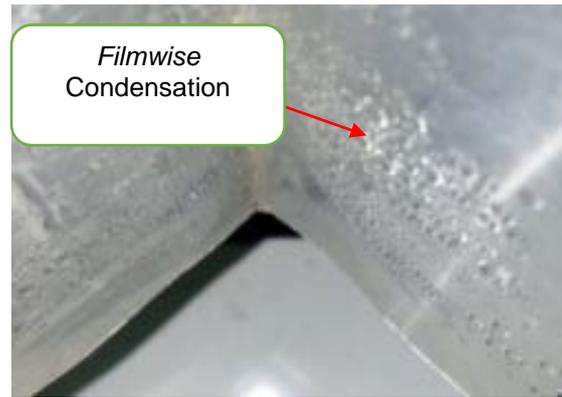
Pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model datar terjadi pada menit ke 15 ketika $T_1 = 99,9^\circ\text{C}$, $T_2=91,5^\circ\text{C}$, $T_3=28,2^\circ\text{C}$, $T_4=27,2^\circ\text{C}$. Lalu pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model segitiga terjadi pada menit ke 17 ketika $T_1=100,1^\circ\text{C}$, $T_2=98,5^\circ\text{C}$, $T_3=28,9^\circ\text{C}$, $T_4=28,2^\circ\text{C}$. kemudian pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model setengah lingkaran terjadi pada menit ke 17 ketika $T_1=100,1^\circ\text{C}$, $T_2=98,5^\circ\text{C}$, $T_3=28,9^\circ\text{C}$, $T_4=28,2^\circ\text{C}$. Berikut adalah foto pembentukan *filmwise* pada tiga jenis model penangkap uap:



Gambar 2. Pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model datar



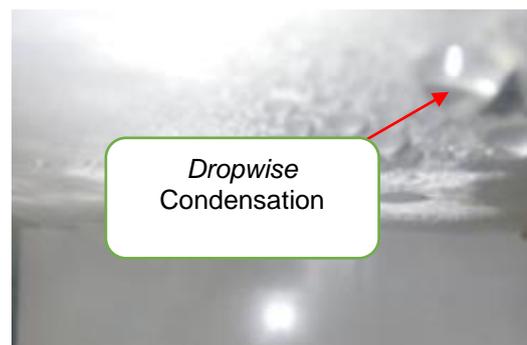
Gambar 3. Pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model segitiga



Gambar 4. Pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model setengah lingkaran

b. Pembentukan *dropwise*

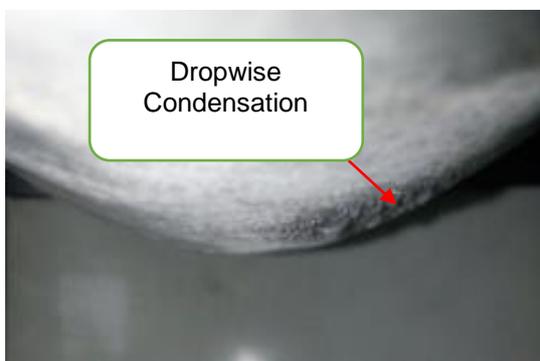
Pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model datar terjadi di menit ke 17 ketika $T_1 = 100,6^\circ\text{C}$, $T_2 = 100,6^\circ\text{C}$, $T_3 = 28,1^\circ\text{C}$, $T_4 = 26,9^\circ\text{C}$. Lalu pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model segitiga termenit ke 19 ketika $T_1 = 100,3^\circ\text{C}$, $T_2 = 100,5^\circ\text{C}$, $T_3 = 37,9^\circ\text{C}$, $T_4 = 28,9^\circ\text{C}$. Pada penangkap uap model setengah lingkaran terjadi pada menit ke 18 ketika $T_1 = 100,4^\circ\text{C}$, $T_2 = 100,6^\circ\text{C}$, $T_3 = 37,2^\circ\text{C}$, $T_4 = 28,2^\circ\text{C}$. Berikut adalah foto pembentukan *dropwise* pada tiga jenis model penangkap uap:



Gambar 5. Pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model datar



Gambar 6. Pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model segitiga



Gambar 7. Pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model setengah lingkaran

- c. Menghitung nilai kalor yang dibutuhkan (Q)

Untuk mengetahui seberapa besar kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dari suhu awal sampai pada titik didihnya perlu dilakukan perhitungan melalui persamaan :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q = Kalor yang dibutuhkan (J)

m = massa air (kg)

c = Kalor jenis air (4200 J/kg°C)

ΔT = Perubahan suhu air (°C)

Telah diketahui bahwa air yang akan dipanaskan sejumlah satu liter, temperatur awal air adalah 29°C, sehingga perubahan suhu air sampai mencapai titik didihnya dapat diketahui yaitu 71°C. Kemudian menurut Sularso, 1987 : 24 massa jenis air pada suhu 100°C adalah 0,9851 kg/liter. Sedangkan

kalor jenis air menurut Sterheim,1997. Kalor jenis dari air adalah 4.200 J/kg°C. Setelah mengetahui semua data yang diperlukan, maka akan dilakukan perhitungan kalor :

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 0,9581 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot 71^\circ\text{C} \\ &= 4024,02 \cdot 71 \\ &= 285.705,42 \text{ Joule} \end{aligned}$$

- d. Menentukan massa dari uap yang dihasilkan, $m = Q / U$, dimana nilai $U = 2.256 \times 10^3 = 2.256.000 \text{ Joule/kg}$ (Tabel propertis sifat uap). maka :

$$m = 285.705,42 \text{ J} / 2.256.000 \text{ J/kg}$$

$$m = 0,13 \text{ kg}$$

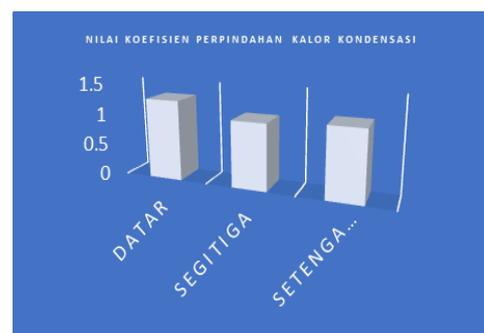
- e. Menghitung Koefisien perpindahan kalor kondensasi (h) dari masing-masing penangkap uap.

Untuk h penangkap uap datar di dapatkan nilai, $h_{datar} = 1,2759 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$.

Untuk h penangkap uap segitiga di dapatkan nilai, $h_{segitiga} = 1,0493 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$.

Untuk h penangkap uap setengah lingkaran di dapatkan nilai, $h_{setengah \text{ lingkaran}} = 1,1095 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$.

Adapun grafik nilai koefisien perpindahan panas dari masing-masing penangkap uap bisa dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 8. Nilai Koefisien h masing-masing penangkap uap

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai koefisien perpindahan panas kondensasi dari masing-masing penangkap uap nilainya selisih tidak terlalu jauh yang mengindikasikan bahwa proses

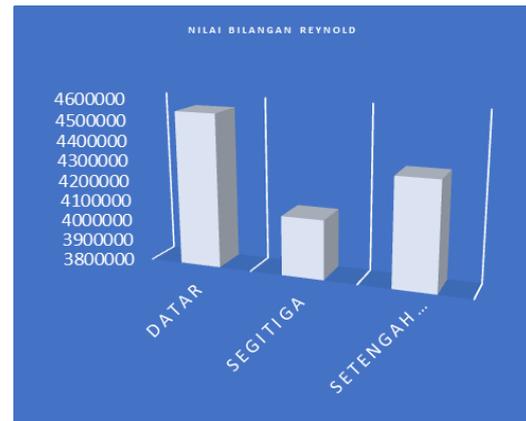
panas kondensasi dari uap menjadi filmwise ke dropwise tidak membutuhkan nilai koefisien yang tinggi.

f. Menghitung bilangan Reynolds (Re).

Untuk nilai Re penangkap uap datar di dapatkan nilai, $Re = 4547487,192$.

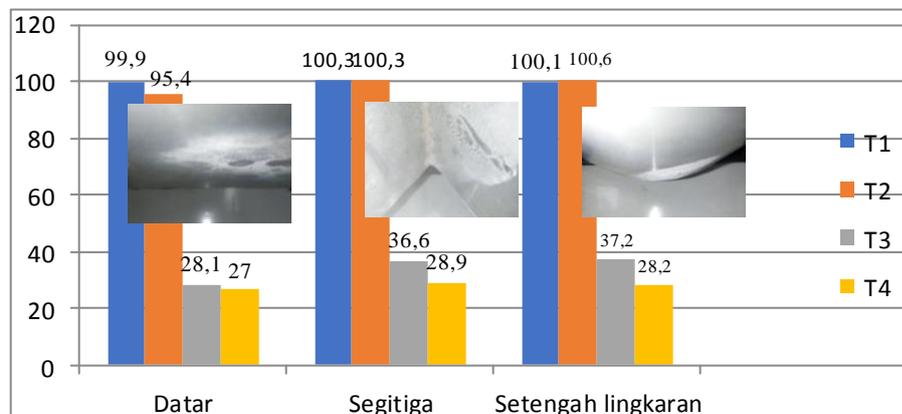
Untuk nilai Re penangkap uap segitiga di dapatkan nilai, $Re = 4088577,645$.

Untuk nilai Re penangkap uap setengah lingkaran di dapatkan nilai, $Re = 4323144,511$.

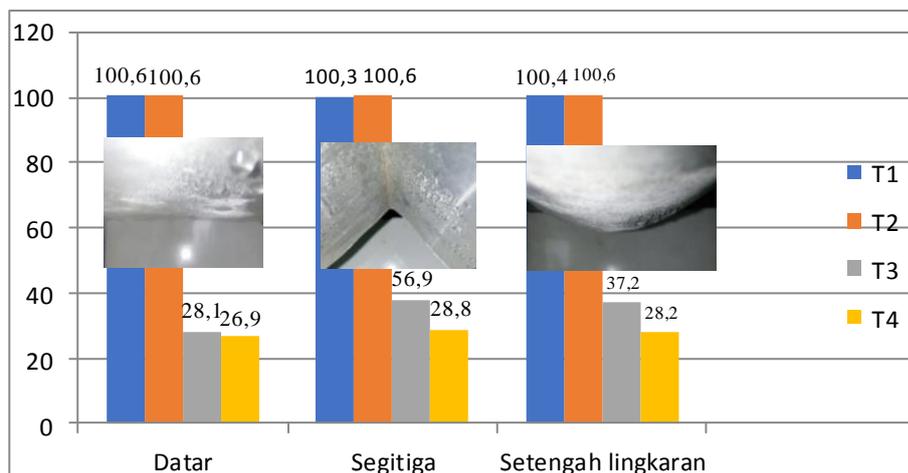


Gambar 9. Nilai Re penangkap uap

g. Grafik perbandingan temperatur



Gambar 10. Pembentukan *filmwise* pada 3 model penangkap uap dari $t = 0$ s/d 15 menit



Gambar 11. Pembentukan *dropwise* pada 3 model penangkap uap

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa ketiga model penangkap uap dirangkaian alat pemanas air dengan penangkap uap

berbentuk datar, segitiga dan setengah lingkaran diperoleh hasil rata-rata waktu dari diaktifkannya pemanas air sampai air mencapai titik didihnya yaitu 100°C. Membutuhkan waktu rata-rata di menit ke

17 untuk memanaskan air dari suhu 29°C sampai dengan 100°C. Kemudian untuk memanaskan air sebanyak satu liter dari suhu 29°C sampai dengan 100°C menggunakan pemanas air elektrik membutuhkan kalor sebanyak 285.705,42 Joule. Massa penguapan 0,13 kg. Koefisien perpindahan kalor masing-masing $h_{\text{datar}} = 1,2759 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$, $h_{\text{segitiga}} = 1,0493 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$, $h_{\text{setengah lingkaran}} = 1,1095 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$. Nilai Re penangkap uap datar = 4547487,192, nilai Re penangkap uap segitiga = 4088577,645, nilai Re penangkap uap setengah lingkaran = 4323144,511. Pembentukan *filmwise* pada penangkap uap model datar terjadi pada menit ke 15 ketika $T_1 = 99,9^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 91,5^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 28,2^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 27,2^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada penangkap uap model segitiga terjadi pada menit ke 17 ketika $T_1 = 100,3^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 100,3^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 36,6^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 28,9^{\circ}\text{C}$. Pada penangkap uap model setengah lingkaran terjadi pada menit ke 17 ketika $T_1 = 100,1^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 98,5^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 28,9^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 28,2^{\circ}\text{C}$. Pembentukan *dropwise* pada penangkap uap model datar terjadi pada menit ke 17 ketika $T_1 = 100,6^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 100,6^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 28,1^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 26,9^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada penangkap uap model segitiga pada menit ke 18 ketika $T_1 = 100,3^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 100,5^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 37,9^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 28,9^{\circ}\text{C}$. Pada penangkap uap model setengah lingkaran terjadi pada menit ke 18 ketika $T_1 = 100,4^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 100,6^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 37,2^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 28,2^{\circ}\text{C}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Eko Yohanes, Sudjito Soeparman, Eko Siswanto. 2014. *Heat Flux Kondensasi pada Media Arang Tempurung Kelapa (Cocos Nurifera)*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- J.P. Holman. 1997. *Perpindahan Kalor*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kamal, Samsul. 1998. *Studi Karakteristik Angka Perpindahan Kalor Permukaan Plat Gelombang Untuk Pengembunan Filmwise*. Jurnal Media Teknik No 4 Tahun XX November ISSN : 0216-3012.
- Khilmi Afandi. 2014. *Studi Experimental Sistem Kondensasi Uap Hasil Evaporasi Pada Sistem Desalinasi Tenaga Matahari*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Surabaya. <https://docplayer.info/38650405-Studi-eksperimental-sistem-kondensasi-uap-hasil-evaporasi-pada-sistem-desalinasi-tenaga-matahari.html>
- M.D.Kulkarni, P .L. Puthani, A.T. Patil. 2015. *Study of Dropwise Condensation on Teflon Coated Surface*. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology Vol 2 Issues 9 ISSN : 2393-8021.
- Marieke Ahlers. Alexander Buck Emden. Hans Jorg-Bath, 2019. *Is dropwise condensation feasible? A review on surface modifications for continuous dropwise condensation and a profitability analysis*. Journal of Advanced Research 16 page 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.11.004>.
- M. Herry, Travis. 2011. *Heat Transfer Rates for Filmwise Dropwise and Superhydrophobic Condensation on Silicon Substrates*. Massachusetts Institute of Technology.
- Miljkovic, N.; Enright, R.; Wang, E. N. 2012. *Effect of Droplet Morphology on Growth Dynamics and Heat Transfer During Condensation on Superhydrophobic anostructured Surfaces*. ACS Nano, 6, 1776-1785.
- Pandey, Saurabh. 2012. *Dropwise and Filmwise Condensation*. International Journal of Scientific & Engineering Research Vol 3 Issues 4 ISSN 2229-5518.
- Reddy, M. Rama Narasimha, M.Yohan, K.Harshavardhan Reddy. 2012. *Heat Transfer Co-Efficient Through Dropwise Condensation and Filmwise Condensation Apparatus*. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2 Issues 2 ISBN : 2250-3153, page 1 s/d 4.

- Santosa, Irfan. 2012. *Sistem Perpindahan Panas Single Basin Solar Still Dengan Memvariasi Sudut Kemiringan Kaca Penutup*. Jurnal Engineering Volume 4, No.1 e-ISSN : 2549-8614, p-ISSN : 2087-3859.
- Santosa, Irfan & Mustaqim. 2015. *Analisa Filmwise dan Dropwise Hybrid Basin Solar Still*. Proseding Seminar Nasional Pangan, Energi dan Lingkungan Universitas Pekalongan. ISBN : 978-602-72221-0-6.