

OPTIMALISASI *INTEGRAL FIN TUBE* PADA SISTEM KONDENSASI LUAR  
BERDASARKAN *FLOODING ANGLE*

(OPTIMALIZATION OF *INTEGRAL FIN TUBE* IN OUTSIDE CONDENSATION  
BASED ON *FLOODING ANGLE*)

Zulfa Khalida<sup>(1)</sup>, Hadi Rahmad<sup>(2)</sup>, Kartika Candra Dewi<sup>(3)</sup>, Siti Musyarrofah<sup>(4)</sup>

<sup>(1,2,3)</sup> Departemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang PSDKU Kediri

<sup>(4)</sup> Departemen Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Email: [zulfa.khalida@polinema.ac.id](mailto:zulfa.khalida@polinema.ac.id)

**ABSTRAK**

Peningkatan transfer panas kondensasi pada fluida yang mempunyai tegangan permukaan rendah sebagian besar menggunakan area tambahan *extended area* (fin). Salah satu penambahan area atau *extended area* adalah *integral fin tube*. Desain *integral fin tube* perlu dilakukan dengan baik untuk mendapatkan kondisi optimal, salah satunya dengan mencari spasi fin yang paling tepat. Desain jarak antar fin dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan jarak antar fin memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kenaikan transfer panas. Sedangkan material pipa yang digunakan adalah tembaga dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas panas yang tinggi dibandingkan dengan material lainnya dan fluida kerja yang digunakan adalah methanol. Untuk memprediksi geometri optimal pada pipa integral maka perlu dilakukan pendekatan matematis yakni dengan membagi area kondensasi pipa menjadi dua, yaitu area pipa basah (*flooded*) dan kering (*unflooded*). Area aktif atau kering (*unflooded*) menunjukkan besarnya transfer area dan transfer panas. Pada penelitian ini didapatkan keadaan optimal pada jarak antar fin 1 mm.

Kata Kunci: *Flooded, Integral Fin Tube, Transfer Panas, Unflooded.*

**ABSTRACT**

*Increasing heat transfer in condensation for low surface tension fluid is dominated by using extended area (fin). One of the extended area on pipe is integral fin tube. Designing of integral fin tube should be conducted due to generate optimal condition such as designing fin spacing. Fin spacing has significantly impacted to heat transfer enhancement. Whereas the material of pipe is copper since has higher heat conductivity than others and fluid working is methanol. To predict optimal geometry of integral fin tube is conducted by using mathematical simulation by dividing area into flooded and unflooded. The active area or unflooded area represents the heat transfer area and enhancement. In this experiment is found that the optimum fin spacing is 1 mm.*

*Keywords: Flooded, Integral Fin Tube, Heat transfer, Unflooded.*

PENDAHULUAN

Peningkatan performa kondensasi dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti dengan menaikkan kemampuan permukaan untuk menolak kondensat (permukaan *hidrophobic*) maupun dengan menambahkan area transfer panas (*fin*). Peningkatan transfer panas pada permukaan *hidrophobic* dapat dilakukan dengan menurunkan derajat kebasahan permukaan sehingga kondensat yang terbentuk pada permukaan tidak menyebar, dalam artian sudut kontak antara kondensat dengan permukaan menjadi besar. Peningkatan transfer panas dapat dilakukan dengan menggunakan permukaan *hidrophobic* yakni mengurangi tingkat kebasahan antara permukaan dengan fluida [1]. Sebagian besar fluida yang digunakan pada teknik *hidrophobic* adalah fluida yang bertegangan permukaan tinggi, seperti menggunakan fluida air sebagai fluida kerja [2]. Sedangkan untuk fluida tekanan tinggi yang mempunyai tegangan permukaan rendah memiliki kesulitan untuk bekerja pada permukaan *hidrophobic* dikarenakan sudut kontak yang terbentuk cenderung kecil [3]. Dengan adanya kesulitan untuk peningkatan transfer panas pada fluida bertekanan tinggi pada permukaan *hidrophobic* maka sebagian besar menggunakan area tambahan (*fin*) untuk meningkatkan transfer panas [4]. Proses desain *fin* (*integral fin tube*) perlu diperhitungkan dengan baik karena berpengaruh terhadap peningkatan transfer

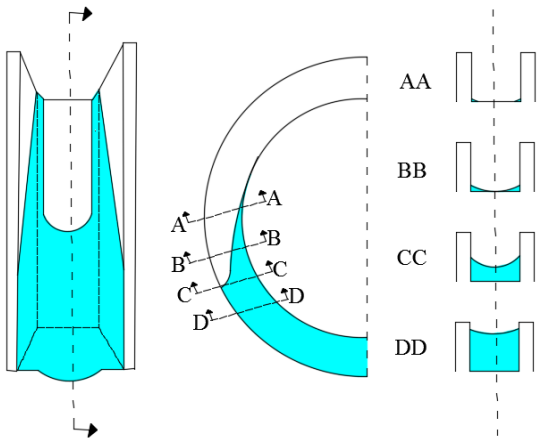
panas [5]–[7]. Pada penelitian ini desain *integral fin tube* dilakukan dengan mencari spasi *fin* yang paling tepat untuk menghasilkan transfer panas paling optimal. Desain jarak antar *fin* dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan jarak antar *fin* memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kenaikan transfer panas [8].

MATERIAL DAN METODOLOGI

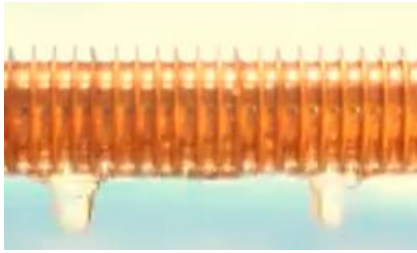
Penelitian ini dilakukan dengan mengamati jarak optimal antar *fin* pada pipa *integral* dengan metode simulasi. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan Matlab atau pemrograman yang lain. Material pipa yang digunakan adalah tembaga dikarenakan tembaga memiliki konduktivitas panas yang tinggi dibandingkan dengan material lainnya, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Konduktivitas Material

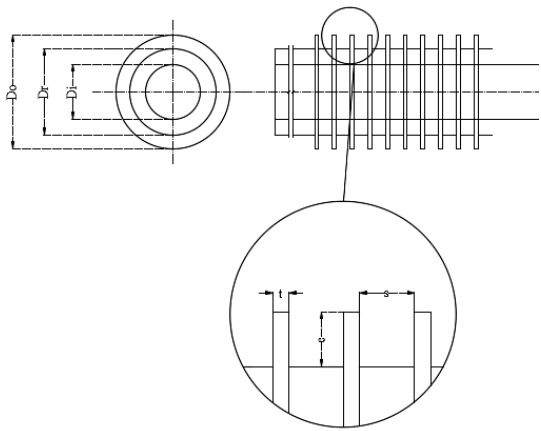
Material	Konduktivitas Panas (W/m K)
Tembaga	397
Alumunium	238
Besi	78



Gambar 1. Profile Flooding Angle



**Gambar 2.** Profile Kondensasi pada Pipa Integral



**Gambar 3.** Geometri Pipa Integral

**Tabel 2.** Simbol Geometri Pipa Integral

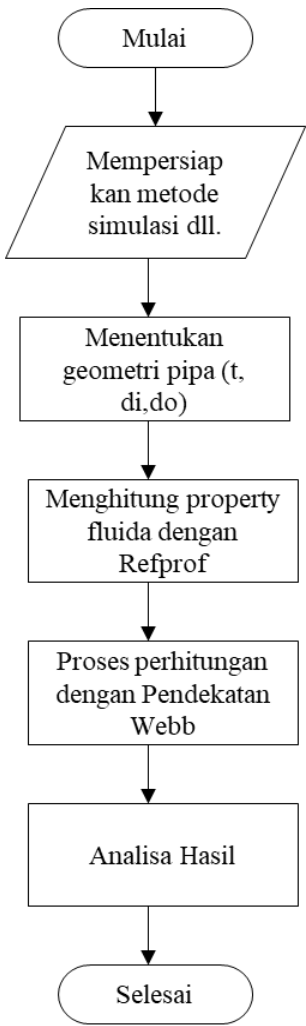
Simbol	Properti
e	Fin height
t	Fin thickness
D <sub>o</sub>	Outside diameter
D <sub>r</sub>	Root diameter
D <sub>i</sub>	Inside diameter

Fluida kerja yang digunakan adalah methanol yang merupakan fluida kerja bertekanan rendah dan memiliki tegangan permukaan yang rendah. Hal tersebut terlihat seperti pada Tabel 3 di bawah ini dimana methanol mempunyai tekanan cukup rendah apabila suhu rendah. Hal ini jauh berbeda apabila menggunakan fluida

bertekanan tinggi dimana fluida memiliki tekanan yang tinggi meskipun suhu rendah.

**Tabel 3.** Tegangan Permukaan Methanol [9]

Temperatur (°C)	Tekanan (kPa <sub>g</sub> )	Tegangan Permukaan (mN/m)
90	154.4	16.6
100	252.41	15.719
110	378.88	14.746
120	539.49	13.740
130	740.50	12.699
140	988.83	11.620
150	1292.0	10.506



**Gambar 4.** Geometri Pipa Integral

Gambar 4 di atas menunjukkan alur dari perhitungan optimalisasi geometri. Langkah awal yang harus dilakukan adalah dengan menentukan beberapa kondisi terlebih dahulu seperti diameter dalam dan luar pipa, ketebalan dan ketinggian fin, dan fluida kerja.

Beberapa geometri fin seperti ketebalan dan ketinggian ditentukan dan jarak antar fin dihitung menggunakan pendekatan Webb. Hal tersebut dikarenakan jarak antar fin memberikan pengaruh paling besar karena menentukan kondisi kondensat yang menggantung pada fin bagian bawah.

**Pendekatan Matematis Webb**

Untuk memprediksi geometri optimal pada pipa integral maka perlu dilakukan pendekatan matematis yakni dengan membagi area kondensasi pipa menjadi dua, yaitu pipa basah (*flooded*) dan kering (*unflooded*).

$$h_{\eta} = h_h \frac{A_r}{A} + h_f \eta_f \frac{A_f}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Pada Persamaan (1) menunjukkan koefisien transfer panas keseluruhan yaitu koefisien transfer panas pada pipa dan ditambahkan koefisien transfer panas pada fin. Sedangkan untuk Persamaan (2) menunjukkan pembagian area, yakni prosentase antara daerah basah dan daerah kering.

$$h_{\eta} = (1 - c_b) \left( h_h \frac{A_r}{A} + h_f \eta_f \frac{A_f}{A} \right) + c_b h_b \dots\dots\dots (2)$$

Perhitungan daerah basah dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa sifat

property fluida seperti densitas dan tegangan permukaan fluida seperti yang tercantum pada Persamaan (3) [10].

$$c_b = \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[ 1 - \frac{2\sigma (P - t_b)}{\rho g D_o (p_f e - A_p)} \right] \dots\dots\dots (3)$$

Setelah dilakukan perhitungan matematis maka akan didapatkan nilai prediksi transfer panas dengan spasi fin yang berbeda.

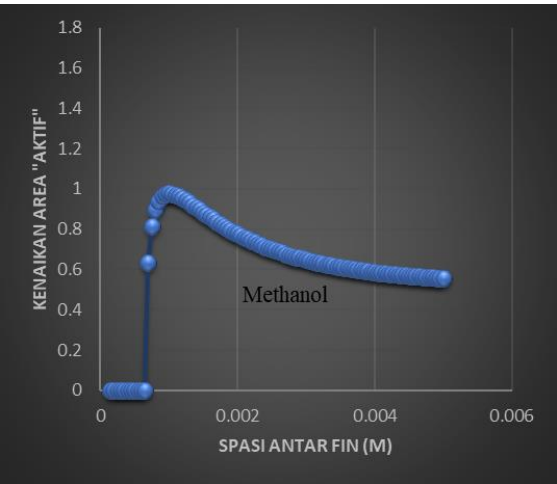
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi dua sub bagian yaitu analisa transfer panas berdasarkan kenaikan area transfer panas dan profil kondensasi pada jarak fin yang berbeda.

**Kenaikan Area Transfer Panas**

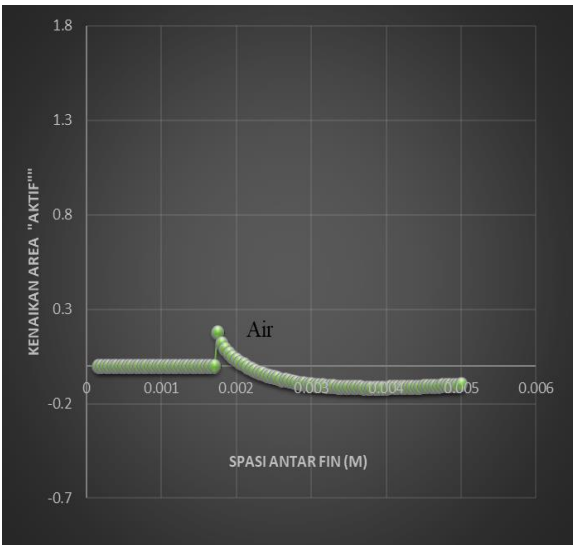
Prediksi kenaikan transfer panas dapat dilihat berdasarkan kenaikan area transfer panas yang aktif yaitu area yang tidak terkena kondensat.

Gambar 5 menunjukkan kenaikan transfer panas berdasarkan kenaikan area aktif pada jarak fin yang berbeda dengan menggunakan Methanol. Pada gambar tersebut terlihat semakin kecil jarak antar fin maka kenaikan area aktif akan semakin besar dan mencapai keadaan optimal pada jarak antar fin 1 mm.



**Gambar 5.** Performa Pipa Integral pada Spasi yang berbeda dengan Fluida Kerja Methanol

Kenaikan “area aktif” meningkat seiring menurunnya jarak antar fin dikarenakan adanya kenaikan transfer area akibat meningkatnya kerapatan fin. Semakin kecil jarak antar fin maka densitas atau kerapatan fin semakin meningkat. Pada gambar 5 menunjukkan jarak antar fin optimal pada 1 mm dan untuk jarak fin yang lebih kecil terjadi penurunan yang signifikan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya kondensat yang sulit untuk jatuh dan masih menempel pada permukaan pipa akibat jarak fin yang terlalu dekat. Hal tersebut menyebabkan siklus kondensasi yang lebih lama sehingga kondensat tersebut berperan sebagai resisten panas.

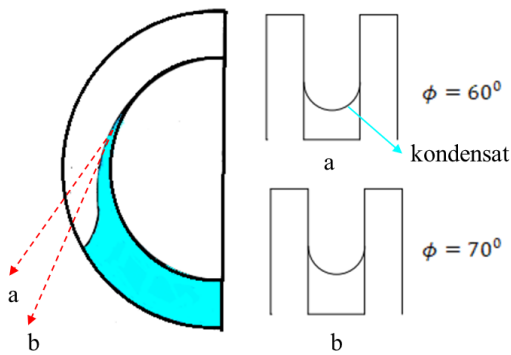


**Gambar 6.** Performa Pipa Integral pada Spasi yang berbeda dengan Fluida Kerja Air

Sedangkan untuk fluida kerja yang menggunakan air, pipa integral tidak direkomendasikan. Hal tersebut terlihat berdasarkan Gambar 6 dimana spasi optimal adalah 1.5 mm dengan menghasilkan “area aktif” sekitar 0.3. Sedangkan untuk spasi fin yang lebih besar terjadi penurunan performa secara drastis dikarenakan air memiliki tegangan permukaan tinggi sehingga tidak dapat lepas dari permukaan pipa dan menghambat transfer panas.

**Profil Kondensasi**

Profil kondensasi pada pipa integral dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini. Sudut kebasahan disimbolkan  $\phi$  yang mendiskripsikan posisi kebasahan dari posisi tengah bagian atas.



**Gambar 7.** Profil Kondensat antar *Fin*

Pada posisi  $\phi = 60^\circ$ , profil kondensat antar fin terlihat pada gambar a sedangkan posisi  $\phi = 70^\circ$ , profil kondensat antar fin terlihat pada gambar b.

**Tabel 4.** Simbol Geometri Pipa Integral

Sudut Kebasahan	Jarak antar fin 0.45 mm	Jarak antar fin 1.00 mm
$\phi = 50^\circ$		
$\phi = 60^\circ$		
$\phi = 70^\circ$		

Tabel 4 di atas menunjukkan profil kondensat pada jarak antar fin yang berbeda dan pada sudut kebasahan yang berbeda. Semakin kecil jarak antar fin menunjukkan semakin besar area yang ditempati oleh kondensat. Sedangkan untuk jarak yang semakin panjang, area yang ditempati kondensat semakin sedikit.

Dari kedua hal tersebut menunjukkan bahwa semakin rapat fin tidak akan menjamin semakin besarnya area aktif untuk proses kondensasi. Sehingga diperlukan perhitungan untuk menentukan jarak optimal antar fin sehingga didapatkan area aktif untuk proses kondensasi yang paling besar.

## KESIMPULAN

Beberapa geometri fin seperti ketebalan dan ketinggian ditentukan dan jarak antar fin dihitung menggunakan pendekatan Webb. Kenaikan area aktif meningkat seiring menurunnya jarak antar fin dikarenakan adanya kenaikan transfer area akibat meningkatnya kerapatan fin. semakin rapat fin tidak akan menjamin semakin besarnya area aktif untuk proses kondensasi. Sehingga diperlukan perhitungan untuk menentukan jarak optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Khalida, D. R. Hendarti, and H. Rahmad, “Analysis of surface wettability on condensation,” in *AIP Conference Proceedings*, Jul. 2020, vol. 2248, doi: 10.1063/5.0013167.
- [2] D. J. Preston, “Electrostatic Charging of Jumping Droplets on Superhydrophobic Nanostructured Surfaces: Fundamental Study and Applications,” p. 76, 2014.
- [3] K. Rykaczewski *et al.*, “Dropwise condensation of low surface tension fluids on omniphobic surfaces,” *Sci. Rep.*, vol. 4, no. Copyright (C) 2014 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved., pp. 4158/1-4158/8, 2014.
- [4] Z. Khalida, H. Hsieh, and C. Yang, “ACTS-P00143 Effect of Fin Spacing of Condensation on

- Horizontal Integral Fin-Tubes With Graphene Coating Surface,” *Proc. Asian Conf. Therm. Sci.*, vol. 1, no. ACTS-P00143, pp. 1–5, 2017.
- [5] P. Wais, “Fin-Tube Heat Exchanger Optimization,” *Fin-tube heat Exch. Optim. heat Exch. - basics Des. Appl.*, 2012, doi: 10.5772/1997.
- [6] W.-T. Ji, S.-F. Mao, G.-H. Chong, C.-Y. Zhao, H. Zhang, and W.-Q. Tao, “Effect of Fin Structure on the Condensation of R-134a, R-1234ze(E), and R-1233zd(E) Outside the Titanium Tubes,” *J. Heat Transfer*, vol. 142, no. 1, Nov. 2019, doi: 10.1115/1.4045139.
- [7] S. K. Sajjan, R. Kumar, and A. Gupta, “Experimental investigation during condensation of R-600a vapor over single horizontal integral-fin tubes,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 88, pp. 247–255, 2015.
- [8] A. Briggs and J. W. Rose, “Effect of fin efficiency on a model for condensation heat transfer on a horizontal, integral-fin tube,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. SUPPL. 1, pp. 457–463, 1994.
- [9] M. O. Lemmon WE, Huber LM, “NIST reference fluid thermodynamic and transport properties,” *RFFPROP, version 9.0 user’s Guid. Boulder, Color. Thermophys. Prop. Div. Natl. Inst. Stand. Technol.*, p. 2010, 2010, doi: REFPROP.
- [10] T. Adamek and R. L. Webb, “Prediction of film condensation on horizontal integral fin tubes,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 33, no. 8, pp. 1721–1735, 1990.