

## ANALISIS SIMULASI PENGARUH VARIASI JARAK DAN MATERIAL SIRIP KONDENSOR AC SPLIT TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS

**Edi Elisa**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Pendidikan Ganesha  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
edi.elisa@undiksha.ac.id

**I Gede Wiratmaja**

Corresponding Author (Dosen)  
Universitas Pendidikan Ganesha  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
wiratmaja@undiksha.ac.id

**Ardy Prasetya Vidiantara**

Mahasiswa  
Universitas Pendidikan Ganesha  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
ardyvidiantara99@gmail.com

*According to the functions and needs, in the future Air Conditioners must be able to have good performance as an air conditioning machine. Therefore, the Air Conditioner (AC) must be designed as well as possible to meet human needs which will increase in the future in terms of air conditioning, so it is necessary to analyze several parameters in designing, in order to maximize or improve the performance of each component of the cooling machine. This study aims to determine the effect of variations in distance and fin material of the AC Split condenser on the heat transfer rate using Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation in Solidworks 2018 software. The fin distance variations that used are 0.5 mm, 1 mm (standard), and 1.5 mm. In addition, the fin material is also varied by using aluminum (standard), silver, and copper at each fin spacing. The type of research is experimental research, by using data analysis methods, called the finite element method. The results of the analyze that has been carried out, it shows that the smaller the distance between the fins, the higher the heat transfer rate, and the greater the thermal conductivity value of a material, the higher the heat transfer rate.*

**Keywords:** Computational Fluid Dynamic (CFD), Kondensor, Laju Perpindahan Panas, Solidworks 2018.

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dan penerapan sistem refrigerasi pada sebuah ruangan mengalami peningkatan yang sangat pesat [1], hal itu dapat di lihat dari fungsi dan kebutuhan pengkondisian udara saat ini telah menyentuh segala aspek kehidupan manusia mulai dari rumah tangga, industri, perkantoran, sampai di bidang biologis atau obat-obatan yang memerlukan pengkondisian udara untuk menjaga suhu lingkungannya [2].

Dengan alasan tersebut, telah banyak pula upaya-upaya yang dilakukan agar suatu sistem pendingin dapat bekerja optimal dan menghasilkan efisiensi kinerja yang tinggi [3]. Hal tersebut dapat dilihat dari berbagai penelitian-penelitian yang telah ada untuk mengupayakan sebuah sistem pendingin yang memiliki performa kinerja yang tinggi, seperti diantaranya adalah memaksimalkan fungsi peralatan yang ada, dengan cara memodifikasi peralatan standar sehingga di dapatkan pengoptimalan fungsi dari komponen itu sendiri bagi kemajuan mesin pendingin kedepannya [4],[5]. Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya penulis menemukan belum pernah dilakukannya analisis laju perpindahan panas pada heat exchanger type tubular dengan sirip khususnya pada kondensor *Air Conditioner*. Selain itu pada beberapa penelitian sebelumnya proses analisis dilakukan dengan cara eksperimental, sehingga pada penelitian kali ini penulis mengangkat sebuah penelitian analisis simulasi pengaruh variasi jarak dan material sirip kondensor AC *Split* terhadap laju perpindahan panas.

Saat ini penerapan teknologi memang mutlak dalam berbagai bidang industri sebagai alat bantu dalam upaya memenangkan persaingan dan meningkatkan produktivitas. Tidak dapat di pungkiri bahwa perkembangan teknologi yang begitu pesat saat ini mampu meningkatkan efektivitas pekerjaan di bidang manapun. Pada penelitian inipun teknologi benar-benar di manfaatkan untuk mensimulasikan suatu kondisi di kehidupan nyata kedalam bentuk simulasi dalam *software* [6]. Pemanfaatan teknologi, khususnya simulasi pada *software* ini memiliki banyak keuntungan diantaranya yaitu mengubah proses manual menjadi otomatis

sehingga dapat mengurangi biaya untuk bahan dan alat eksperimen [7]. Keunggulan selanjutnya dari proses simulasi menggunakan teknologi yaitu waktu yang diperlukan untuk mengerjakan suatu tugas pekerjaan/ analisis menjadi lebih cepat dibanding proses eksperimental, karena proses simulasi hanya dilakukan di dalam perangkat komputer. Keunggulan selanjutnya yaitu dengan metode atau simulasi di dalam *software*, hasil analisis dapat disajikan dalam bentuk warna, vektor, dan nilai yang mudah untuk dilihat. Hal itulah yang mendasari penelitian ini menggunakan simulasi pada *software*.

Dalam penelitian simulasi ini, jarak sirip dan material sirip kondensor di variasikan dari kondensor standar pada umumnya, untuk mendapatkan perbandingan laju perpindahan panasnya. Material yang divariasikan yaitu aluminium sebagai material standar, perak dan tembaga. Alasan penelitian ini mevariasikan material sirip kondensor menggunakan perak dan tembaga adalah selain karena material tersebut merupakan bahan logam yang memiliki sifat penghantar panas yang baik, konduktivitas termal bahan dari material tersebut juga yang paling tinggi di antara material logam lainnya. Pada material sirip standar yaitu aluminium nilai konduktivitas termal bahannya adalah  $207 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [8], sedangkan material perak memiliki nilai konduktivitas termal mencapai  $410 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , dan pada material tembaga nilai konduktivitas termalnya yaitu  $385 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [9],[10]. Jarak sirip juga di variasikan dari jarak standar yaitu 1 mm dengan jumlah sirip sebanyak 632. Kemudian jarak sirip di perbesar menjadi 1,5 mm sehingga jumlah sirip menjadi 422 dan juga di perkecil menjadi 0,5 mm sehingga jumlah sirip menjadi 1.264. Sebelumnya penelitian tentang perpindahan panas pada berbagai jenis *heat exchanger* sudah pernah diangkat oleh beberapa para peneliti sebelumnya [11], oleh karena itulah penulis meneliti perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe tubular dengan sirip yaitu kondensor *AC split*.

Analisis metode numerik melalui simulasi ini bertujuan untuk menganalisis jarak dan material sirip yang memiliki laju perpindahan panas yang paling baik pada kondensor sebagai sebuah *heat exchanger* [12]. Sehingga diharapkan kedepannya *heat exchanger* tipe tubular dengan sirip khususnya pada kondensor sebagai komponen *Air Conditioner*, mampu melepaskan kalor dari *refrigerant* dengan optimal sehingga dapat meningkatkan *Coefficient of Performance* sebuah mesin *Air Conditioner*.

## 2. METODE DAN BAHAN

Dalam hal ini penelitian yang dilakukan adalah penelitian Eksperimen. Menurut konsep klasik, eksperimen merupakan penelitian untuk menentukan pengaruh variabel perlakuan (*independent variable*) terhadap variabel dampak (*dependent variable*) [13]. Dalam menganalisis laju perpindahan panas pada kondensor, penelitian ini mengambil sebuah subjek penelitian yaitu *AC Split* 1 PK. Sementara, objek dari penelitian ini yaitu kondensor AC 1 PK. Pengambilan data penelitian dilakukan selama 5 bulan dimulai dari bulan November 2020 s/d Maret 2021.

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode elemen hingga. Metode ini sering diterapkan dalam bidang perpindahan panas, aliran fluida, medan magnet, dan persoalan lainnya. Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*) adalah sebuah metode menyelesaikan permasalahan teknik yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi (dikritisasi) benda yang akan di analisis ke bentuk elemen-elemen yang berhingga yang saling berkaitan satu sama lain. Metode elemen hingga ini merupakan cara numeric untuk menyelesaikan masalah dalam ilmu rekayasa dan matematika fisik. Hal ini terbukti karena metode ini menjadi solusi yang digunakan untuk memperoleh penyelesaian bagi sistem dengan geometri, beban, dan material yang kompleks [14]. Dalam penelitian simulasi ini, aplikasi metode elemen hingga dapat digolongkan menurut jarak sirip yang divariasikan di setiap materialnya. Sehingga dapat dilihat bagaimana perbandingan laju perpindahan panas disetiap variasi jarak sirip kondensor dengan material sirip yang berbeda yaitu aluminium, perak, dan tembaga.

Penelitian ini diawali dengan pengamatan serta pengukuran geometri kondensor AC 1 PK. Dari hasil pengamatan dan pengukuran objek penelitian tersebut, dilanjutkan dengan mendesain kondensor di dalam *software Solidworks 2018*, yang kemudian akan dilakukan proses simulasi analisis distribusi perpindahan panas di daerah sirip kondensor sesuai variasi jarak dan material sirip kondensor menggunakan *software Solidworks 2018*.

Tahapan pengujian pertama yaitu menganalisis distribusi perpindahan panas kondensor standar, dengan jarak sirip 1 mm dan menggunakan material sirip aluminium, dalam *software Solidworks 2018*, menggunakan *fitur flow simulation*. Setelah proses kalkulasi distribusi perpindahan panas selesai, dilanjutkan dengan proses perhitungan laju perpindahan panas baik secara konduksi maupun konveksi dari hasil simulasi distribusi perpindahan panas di *software Solidworks* tersebut.

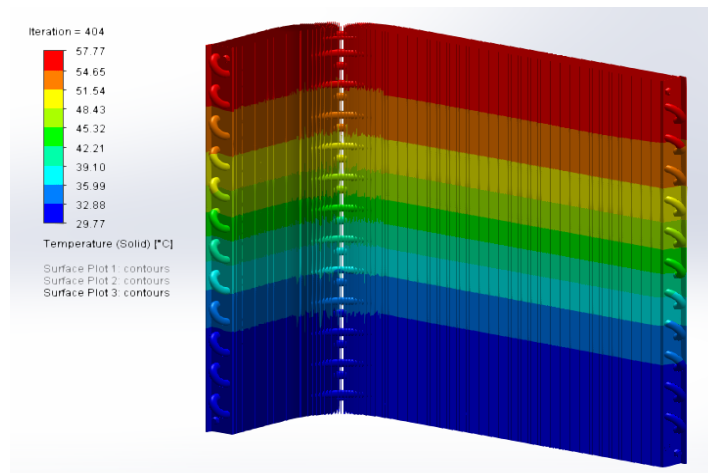
Kemudian, dilanjutkan dengan memberikan perlakuan atau variasi pada kondensor standar, yaitu pada material sirip aluminium, jarak antar sirip di variasikan yaitu 0,5 mm dan 1,5 mm. Selanjutnya, lakukan

proses analisis distribusi perpindahan panas dalam *software* Solidworks dan perhitungan laju perpindahan panasnya. Demikian juga dengan variasi material sirip perak dan tembaga, jarak antar sirip di variasikan menjadi 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm, yang kemudian di cari laju perpindahan panasnya dengan tahapan pengujian yang sama seperti yang telah dijelaskan diatas.

Setelah proses analisis dan perhitungan laju perpindahan panas seluruh variasi selesai, dengan memasukan/ mengolah data hasil analisis yang sudah didapat sesuai dengan metode analisis data yang telah ditentukan. Kemudian peneliti dapat mengGambarkan secara deskriptif hasil penelitian tersebut mengenai pengaruh variasi jarak dan material sirip kondensor terhadap laju perpindahan panas.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

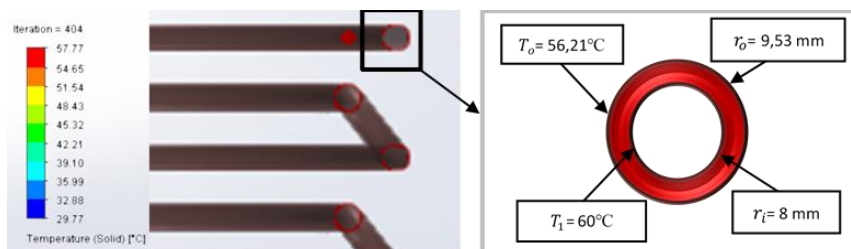
Dari hasil simulasi kondensor standar yaitu jarak sirip 1 mm menggunakan material sirip aluminium dalam *software* Solidworks yang ditunjukkan pada Gambar 1, dapat dilihat distribusi kalor pada permukaan sirip kondensor, yang kemudian dapat dilanjutkan dengan proses perhitungan laju perpindahan panasnya.



Gambar 1: Hasil simulasi kondensor standar

Karena temperatur pada hasil simulasi menunjukkan temperatur yang disimbolkan dengan warna berbeda-beda pada setiap tingkatan pipa dan siripnya, maka laju perpindahan panasnya harus dihitung pada setiap blok temperatur/warnanya. Berikut merupakan perhitungan laju perpindahan panas pada blok warna temperatur merah.

Perpindahan panas konduksi pada benda silinder dapat dirumuskan seperti dibawah ini:



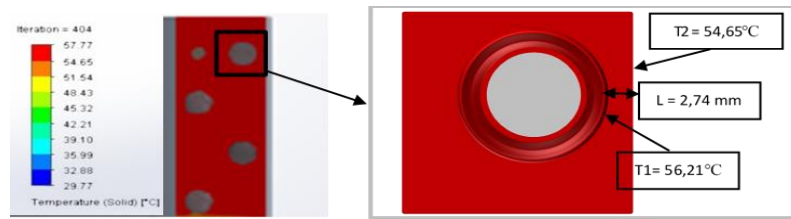
Gambar 2: Laju perpindahan panas pada permukaan pipa bagian dalam ke permukaan pipa bagian luar

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L (T_1 - T_o)}{\ln(r_o/r_i)} \tag{1}$$

$$q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 385 \text{ W/m}^\circ\text{C} \cdot 0,635 \text{ m} (60^\circ\text{C} - 56,21^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{0,00953\text{m}}{0,008\text{m}}\right)} = \frac{5818,78 \text{ W}}{0,17}$$

$$q = 34228,11 \text{ W} = 34,23 \text{ kW}$$

Perpindahan panas konduksi pada plat datar dapat dirumuskan seperti dibawah ini:



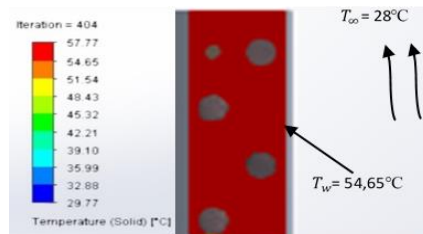
**Gambar 3:** Laju perpindahan panas pada permukaan pipa bagian luar ke ujung terluar sirip kondensor

$$q = k \cdot A \frac{T_1 - T_2}{L} \tag{2}$$

$$q = 207 \text{ W/m}^\circ\text{C} \cdot 0,01492871 \text{ m}^2 \frac{56,21 \text{ }^\circ\text{C} - 54,65 \text{ }^\circ\text{C}}{0,00274 \text{ m}} = \frac{1,56 \text{ W/m}}{0,00274 \text{ m}}$$

$$q = 1759,27 \text{ W} = 1,76 \text{ kW}$$

Untuk laju perpindahan panas konveksinya dapat dirumuskan seperti dibawah ini:



**Gambar 4:** Laju perpindahan panas di daerah sirip ke lingkungan

$$Q_{conv} = h \cdot A (T_w - T_\infty) \tag{3}$$

$$= 95498,88 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \times 0,01492871 \text{ m}^2 (54,65 \text{ }^\circ\text{C} - 28 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 37994,24 \text{ W} = 37,99 \text{ kW}$$

Dengan langkah/cara penyelesaian yang sama, perhitungan laju perpindahan panas di daerah blok warna temperatur selanjutnya dapat dihitung seperti persamaan diatas. Sehingga, laju perpindahan panas keseluruhan pada sirip kondensor standar yaitu dengan jarak sirip 1 mm dan menggunakan material sirip aluminium dapat dihitung dengan  $Q_{konduksi\ 1} + Q_{konduksi\ 2} + Q_{konveksi}$ .

### 3.1 Data Hasil Penelitian Laju Perpindahan Panas Dengan Variasi Jarak dan Material Sirip Kondensor

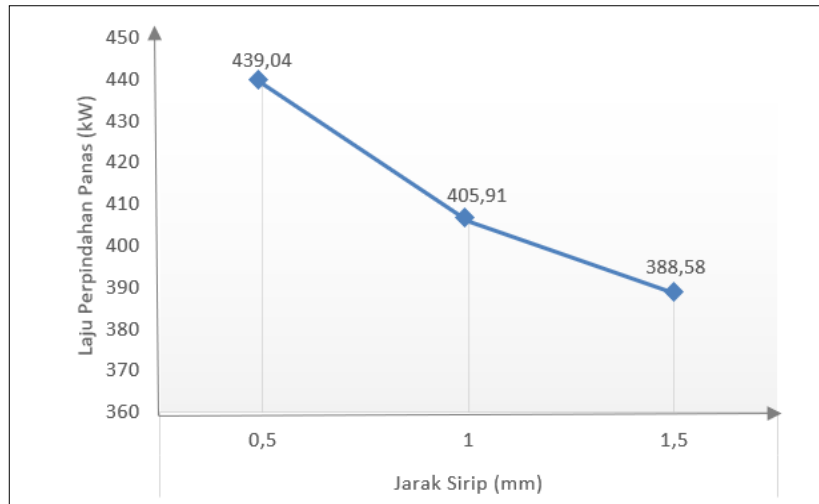
Setelah seluruh variasi jarak dan material sirip kondensor dihitung laju perpindahan panasnya, didapatkan data hasil penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1:** Data hasil penelitian

JARAK SIRIP KONDENSOR (mm)	LAJU PERPINDAHAN PANAS (kW)		
	MATERIAL ALUMINIUM	MATERIAL PERAK	MATERIAL TEMBAGA
0,5	439,04	701,9	605,44
1	405,91	691,01	597,31
1,5	388,58	632,49	558,43

### 3.2 Analisis Laju Perpindahan Panas Pada Kondensor Dengan Variasi Jarak dan Material Sirip

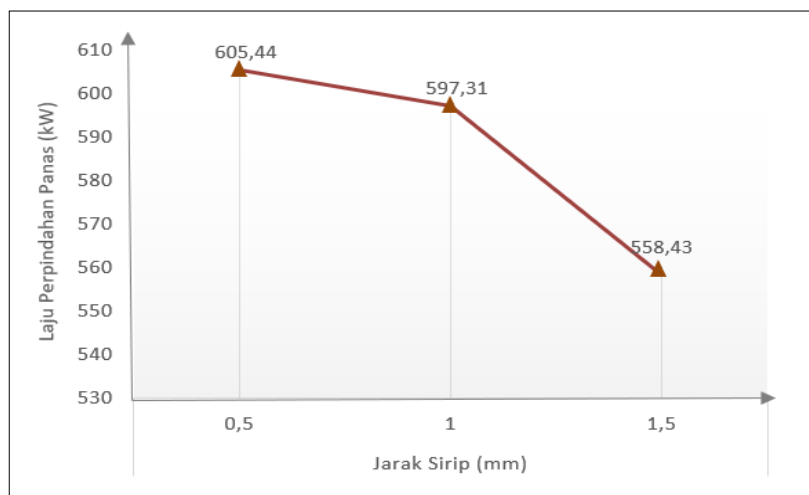
Perbandingan laju perpindahan panas pada kondensor variasi material sirip aluminium dengan variasi jarak sirip, dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5:** Perbandingan laju perpindahan panas variasi material sirip aluminium dengan variasi jarak sirip kondensor

Dari Gambar 5 telah diketahui laju perpindahan panas pada kondensor standar yaitu dengan jarak sirip 1 mm, menggunakan material sirip aluminium. Ketika kondensor standar di modifikasi dengan memperkecil jarak antar sirip menjadi 0,5 mm, terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 8% dibandingkan dengan laju perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar. Sedangkan, ketika kondensor standar dimodifikasi atau di variasikan dengan memperbesar jarak antar siripnya sebesar 1,5 mm, terjadi penurunan laju perpindahan panas sebesar 4% dibandingkan laju perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar.

Perbandingan laju perpindahan panas pada kondensor variasi material sirip perak dengan variasi jarak sirip, dapat dilihat pada Gambar 6.

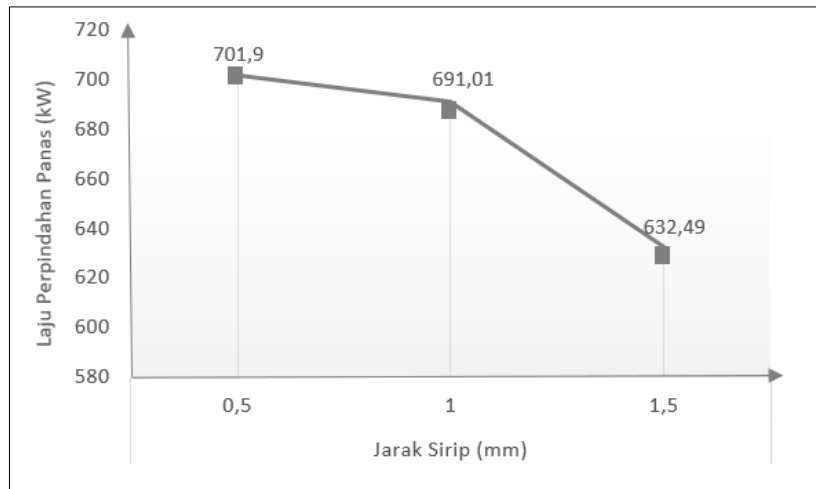


**Gambar 6:** Perbandingan laju perpindahan panas variasi material sirip perak dengan variasi jarak sirip kondensor

Dari Gambar 6 telah diketahui laju perpindahan panas pada kondensor dengan jarak sirip standar yaitu 1 mm, menggunakan variasi material sirip perak. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa ketika jarak sirip kondensor standar dimodifikasi, dengan memperkecil jarak antar sirip menjadi 0,5 mm, terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 2% dibandingkan dengan laju perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar. Sedangkan, ketika jarak sirip kondensor standar dimodifikasi atau di variasikan dengan memperbesar jarak antar siripnya sebesar 1,5 mm, terjadi penurunan laju perpindahan panas sebesar 8% dibandingkan laju

perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar.

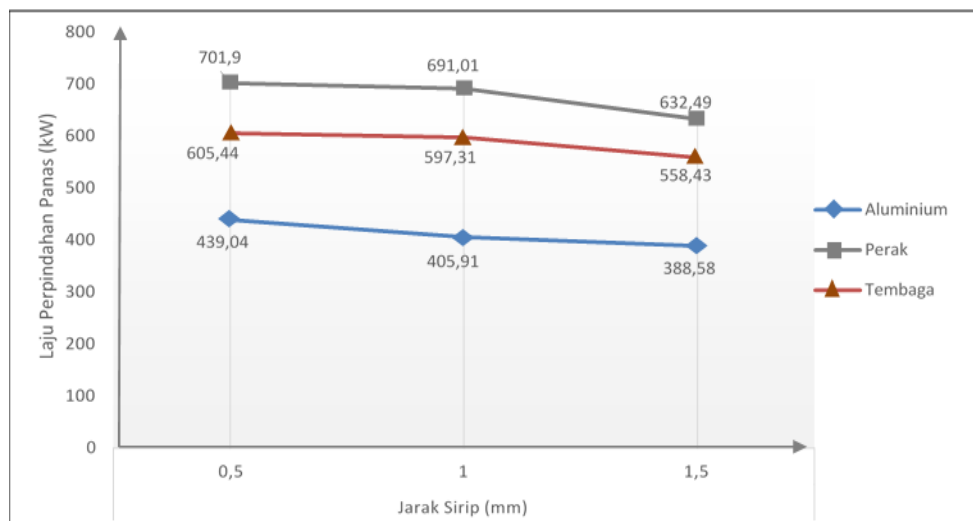
Kemudian perbandingan laju perpindahan panas pada kondensor variasi material sirip tembaga dengan variasi jarak sirip, dapat dilihat pada Gambar 7:



**Gambar 7:** Perbandingan laju perpindahan panas variasi material sirip tembaga dengan variasi jarak sirip kondensor

Dari Gambar 7 telah diketahui laju perpindahan panas pada kondensor dengan jarak sirip standar yaitu 1 mm, menggunakan variasi material sirip tembaga. Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa ketika jarak sirip kondensor standar dimodifikasi, dengan memperkecil jarak antar sirip menjadi 0,5 mm, terjadi peningkatan laju perpindahan panas sebesar 1% dibandingkan dengan laju perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar. Sedangkan, ketika jarak sirip kondensor standar dimodifikasi atau di variasikan dengan memperbesar jarak antar siripnya sebesar 1,5 mm, terjadi penurunan laju perpindahan panas sebesar 7% dibandingkan laju perpindahan panas pada jarak sirip kondensor standar.

Untuk grafik perbandingan laju perpindahan panas seluruhnya dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8:** Perbandingan laju perpindahan panas variasi material sirip dan variasi jarak sirip kondensor

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa, terdapat pengaruh jarak sirip terhadap laju perpindahan panas pada kondensor. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya peningkatan laju perpindahan panas ketika jarak sirip kondensor diperkecil dari jarak sirip kondensor standar. Sedangkan, ketika jarak sirip di perbesar, terjadi penurunan laju perpindahan panas dibandingkan dengan jarak sirip kondensor standar. Hal itu dikarenakan, saat jarak antar sirip kondensor diperkecil, maka jumlah sirip yang digunakan juga akan semakin banyak. Sehingga, dengan bertambahnya jumlah sirip tersebut, terjadi penambahan luasan permukaan perpindahan panas di bagian kondensor, yang menyebabkan beda suhu antara permukaan sirip dengan suhu udara lingkungan juga semakin besar, sehingga panas yang dilepas secara konveksi ke lingkungan juga bertambah.

Demikian sebaliknya, jika jarak sirip diperbesar dari jarak sirip kondensor standar, maka jumlah sirip akan semakin berkurang, sehingga luasan permukaan perpindahan panas juga akan mengecil, yang menyebabkan beda suhu permukaan sirip dengan suhu udara lingkungan semakin kecil, sehingga panas yang dilepas secara konveksi ke lingkungan juga berkurang.

Selain itu, pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa, laju perpindahan panas tertinggi dalam setiap variasi jarak sirip, diperoleh pada kondensor yang menggunakan material sirip perak, kemudian diikuti dengan kondensor material sirip tembaga, dan yang terendah adalah kondensor yang menggunakan material sirip aluminium. Hal tersebut menunjukkan, konduktivitas termal material sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan panas, mengingat bahwa material perak memiliki nilai konduktivitas termal material tertinggi, kemudian material tembaga, dan yang selanjutnya adalah material aluminium. Dari hal ini dapat dilihat bahwa berbagai jenis material pada sirip *tube* kondensor akan sangat mempengaruhi proses perpindahan panas yang terjadi[15].

Dari hasil analisis tersebut, dapat dikatakan bahwa penelitian ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Muhammad Awwaluddin pada tahun 2007 yang menyatakan bahwa pengaruh variasi jarak dan jumlah sirip dapat meningkatkan koefisien perpindahan kalor [4]. Serta, penelitian yang dilakukan oleh I Made Arsana pada tahun 2017, yang dalam hasil penelitiannya mengatakan bahwa efisiensi sirip tergantung pada bahan sirip dan geometri sirip [11]. Hal tersebut sesuai dengan penelitian ini, yang memodifikasi atau memberi perlakuan pada kondensor standar berupa variasi jarak sirip dan material sirip kondensor, yang pada hasil penelitian ini, dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh variasi jarak dan material sirip kondensor terhadap laju perpindahan panas.

#### 4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat penulis berikan dalam penelitian ini yaitu dari hasil analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin kecil jarak antar sirip pada kondensor menyebabkan semakin tinggi laju perpindahan panasnya. Begitu juga dengan semakin besar nilai konduktivitas termal dari suatu material, maka akan semakin tinggi pula laju perpindahan panasnya.

#### 5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada I Gede Wiratmaja, S.T., M.T. dan Ardy Prasetya Vidiantara yang telah dengan penuh kesabaran membantu penulis merampungkan artikel ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. SUPRIYANTO AND M. EFFENDY, “Simulasi distribusi temperatur ruangan ber ac pada berbagai variasi temperatur disekitar evaporator,” *Comput. Fluids*, p. 26, 2017.
- [2] N. SUARNADWIPA, “Pedoman Praktikum Refrigerasi,” Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Nov. 2016.
- [3] F. H. NAPITUPULU, FELLIX, AND H. V. SIHOMBING, “Design and analysis of heat exchanger (evaporator) type of staggered tube cross-flow as modified evaporator AC-Split,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1542, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1542/1/012007.
- [4] M. AWWALUDDIN, “Analisa Perpindahan Kalor Pada Heat exchanger Pipa Ganda Dengan Sirip Berbnetuk Delta Wing,” Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, 2007.
- [5] A. BUDIMAN AND S. P. SARI, “Pengaruh Pemilihan Jenis Material Terhadap Nilai Koefisien Perpindahan Panas Pada Perancangan Heat Exchanger Shell - Tube Dengan Solidworks,” vol. 73, no. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, pp. 7–8, 2015.
- [6] H. ALKINDI, Y. PURWANTO, AND D. WULANDANI, “Analisis CFD Aliran Udara Panas Pada Pengering Tipe Rak Dengan Sumber Energi Gas Buang,” *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2015.
- [7] A. S. WITJAKSONO, “Pemodelan Perpindahan Panas Pada Sirip Dalam (Internal Fin) Pada Pembangkit Uap Superheat,” p. 57, 2017.
- [8] R. IRAWAN, “Pengaruh Temperatur Tuang Terhadap Distribusi Serbuk Fly ASH Pada Komposit Al-Cu Diperkuat Serbuk Fly ASH,” Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, 2013.
- [9] K. S. GINTING, “Efisiensi Dan Efektivitas Sirip Berpenampang Belah Ketupat Dengan Luas Penampang Fungsi Posisi Dan Konduktivitas Termal Bahan Fungsi Suhu Kasus Satu Dimensi Keadaan Tak Tunak,” Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, 2018.

- [10] P. H. KURNIAWAN, “Material Teknik (Logam, Keramik, Polimer, dan Komposit),” Makassar, 2020.
- [11] I. M. ARSANA, “Pengaruh Jarak Antar Kawat Terhadap Efisiensi Penukar Panas Jenis Pembuluh Dan Kawat Konveksi Bebas,” *J. Penelit. Saintek*, vol. 21, no. 2, pp. 142–153, 2017.
- [12] A. Y. ADAM, A. N. OUMER, G. NAJAFI, M. ISHAK, M. FIRDAUS, AND T. B. Aklilu, *State of the art on flow and heat transfer performance of compact fin-and-tube heat exchangers*, vol. 139, no. 4. Springer International Publishing, 2020.
- [13] A. JAEDUN, “Metodelogi Penelitian Eksperimen,” Fakultas Teknik, UNY, 2011.
- [14] K. BASUKI, “Metodelogi Penelitian,” *J. Online Int. Nas. Vol. 7 No.1, Januari – Juni 2019 Univ. 17 Agustus 1945 Jakarta*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [15] T. KALOKA, R. N. ISMAIL, AND A. SUYANTO, “Pengaruh Perbandingan Tanpa Sirip Dengan Sirip Inner Tube Dengan Aliran Air Berlawanan Terhadap Efisiensi Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger,” vol. 23, no. 2, pp. 54–59, 2015.