

SIMULASI ALIRAN FLUIDA MELINTASI SUSUNAN PIPA KONDENSOR DENGAN VARIASI BILANGAN REYNOLDS

Lohdy Diana¹⁾, Arrad Ghani Safitra²⁾, dan Mishbaakhus Prana Zinedine³⁾

Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jalan Raya ITS, Surabaya, 60111
E-mail: lohdydiana@pens.ac.id

Abstract

The condenser is a device used to condense steam from the gas phase to the liquid phase. In cooling system, steam passes through a row of pipes containing cooling water in the condenser so that the steam will condense. The performance of the condenser must be considered because it is one of the benchmarks for the performance of a power plant. This performance can be achieved if the steam condensing process occurs when good heat transfer occurs. The best heat transfer occurs when the steam flow around the pipe has an increasingly turbulent flow. The heat transfer characteristics can be seen from the local Nusselt number and the higher convection heat transfer coefficient. In this study, a 2-dimensional numerical study was conducted using Computational Fluid Dynamic with a variation of the Reynolds number (Re) of 972; 1296; 1620; 1944; 2268; and 2592. Modeling is carried out in 2D under steady conditions using the Realizable k-ε turbulence model. The results show that the increase in the Reynolds number will affect the increase in the Nusselt number and the convection heat transfer coefficient. This indicates that the increasing Reynolds number can improve the quality of heat transfer that occurs in the condenser.

Keywords : *heat transfer; cylinder tube condenser; Reynolds number; Nusselt number; computational fluid dynamic*

Abstrak

Kondensor merupakan alat yang digunakan untuk mengkondensasikan uap dari fase gas menjadi fase cair. Pada sistem pendinginan, uap melewati deretan pipa-pipa yang berisi air pendingin di kondensor sehingga uap akan terkondensasi. Kinerja dari kondensor harus diperhatikan karena menjadi salah satu tolak ukur performa sebuah pembangkit listrik. Kinerja tersebut dapat tercapai apabila dalam proses pengkondensasian uap tersebut terjadi perpindahan panas yang baik. Perpindahan panas terbaik terjadi ketika aliran uap di sekitar pipa mempunyai aliran yang semakin turbulen. Karakteristik perpindahan panas dapat diketahui dari bilangan Nusselt lokal dan nilai koefisien perpindahan panas konveksi yang semakin tinggi. Pada penelitian ini dilakukan secara numerik 2 dimensi menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan variasi bilangan Reynolds (Re) sebesar 972; 1296; 1620; 1944; 2268; dan 2592. Pemodelan dilakukan secara 2D dalam kondisi *steady* dengan menggunakan model turbulensi k-ε Realizable. Hasil menunjukkan bahwa dengan naiknya bilangan Reynolds akan berpengaruh terhadap kenaikan bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas konveksi. Hal tersebut menandakan meningkatnya bilangan Reynolds dapat meningkatkan kualitas perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor.

Kata kunci : *perpindahan panas, kondensor pipa silinder, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, komputasi aliran fluida*

PENDAHULUAN

Proses pendinginan pada dasarnya merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung di dalam suatu ruangan. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi tetapi hanya dapat memindahkannya dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan, diantaranya adalah dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh nilai bilangan Reynolds yang lebih besar untuk menaikkan koefisien perpindahan panas. Juga dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor maka laju aliran massa akan menurun sehingga menyebabkan daya kompresor juga mengalami penurunan. Salah satu hal yang dapat menunjukkan suatu kondensor sebagai alat penukar kalor memiliki performa yang baik tentunya adalah kualitas perpindahan panas yang terjadi yaitu antara fluida yang akan dikondensasikan dengan fluida pendingin yang dialirkan di dalam sejumlah *tube*. Koefisien perpindahan panas konveksi menjadi parameter yang penting terhadap kualitas perpindahan panas pada sebuah *heat exchanger*. Koefisien perpindahan panas konveksi sendiri bergantung pada nilai bilangan Reynolds fluida tersebut.

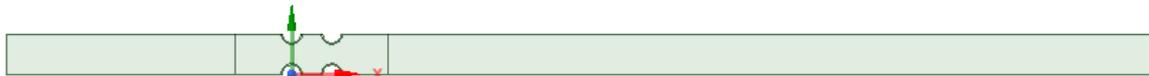
Peter D Souza, et al. (2020) melakukan penelitian numerik kinerja evaporator AC jendela dengan menggunakan software ANSYS 19.2. Pada penelitian tersebut dilakukan variasi kecepatan inlet fluida dan juga *tube pitch* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perpindahan panas, perbedaan tekanan dan juga faktor gesekan dengan jumlah tujuh baris *tube*. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa pengaruh dari pitch tube yang semakin kecil akan meningkatkan nilai bilangan Nusselt. Begitu juga dengan variasi kecepatan yang dilakukan, semakin tinggi kecepatan inlet fluida diperoleh hasil nilai bilangan Nusselt yang semakin tinggi. Hal tersebut akan meningkatkan perperforma perpindahan panas pada evaporator. Saut Siagian (2015) melakukan eksperimen mengenai karakteristik unjuk kerja kondensor pada sistem pendingin berdasarkan variasi putaran kipas pendingin. Dari hasil eksperimen ini didapatkan bahwa semakin cepat putaran fan maka berdampak pada penambahan laju kecepatan udara ke kondensor sehingga mengakibatkan laju pendinginan refrigeran naik. Kondisi yang demikian menyebabkan cepat tercapainya suhu pendinginan sehingga kerja kompresor akan semakin menurun, sehingga akan meningkatkan nilai COP sistem refrigerasi semakin

meningkat. Penambahan laju kecepatan udara yang otomatis akan meningkatkan nilai bilangan Reynolds akan meningkatkan pula nilai koefisien konveksi.

Pada penelitian ini akan mensimulasikan aliran fluida yang melewati susunan tube kondenser secara dua dimensi dengan memvariasikan bilangan Reynolds antara lain 972, 1296, 1620, 1944, 2268, 2592. Simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*. Simulasi ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas pada aliran fluida.

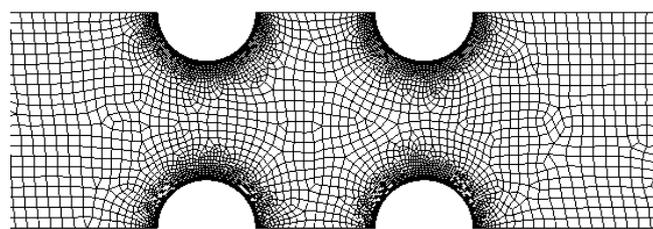
METODE PENELITIAN

Geometri tube adalah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 9.52 mm dan jarak antar tube 21.03 mm. Material tube adalah aluminium. Pada geometri model simulasi terdapat penambahan panjang 1.5 L pada sisi inlet dan 5 L pada sisi outlet, dengan panjang awal geometri adalah 80 mm. Penambahan ini bertujuan agar simulasi dalam kondisi *fully developed* atau berkembang penuh dengan tujuan untuk mempercepat hasil mencapai konvergen. Gambar pemodelan tube ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan susunan tube.

Kemudian untuk jenis *meshing* yang dipilih adalah jenis *quadrilateral* seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dengan memperketat mesing pada bagian dinding tube.



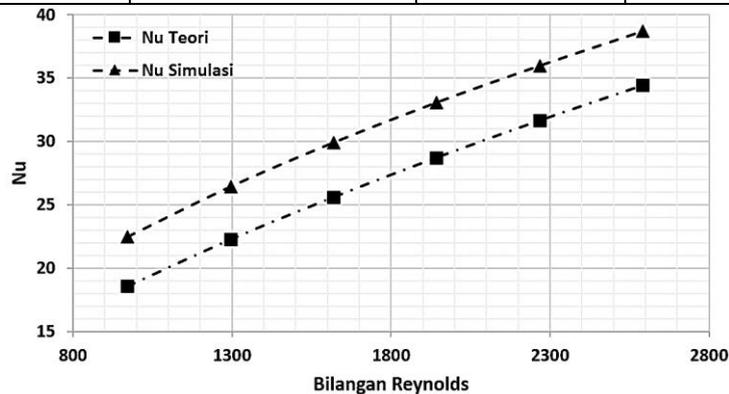
Gambar 2. *Meshing*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode numerik untuk mengetahui pengaruh nilai bilangan Reynolds terhadap perpindahan panas yang terjadi di sekitar *tube* kondensor. Metode numerik ini dilakukan secara komputasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model dua dimensi. *Boundary condition* yang ditentukan antara lain temperatur inlet sebesar 290 K, temperatur dinding tube sebesar 274 K dengan jenis *stationary wall, no slip*. Simulasi dilakukan dengan variasi nilai bilangan Reynolds

sebesar 972; 1296; 1620; 1944; 2268; dan 2592. Untuk menganalisa aliran, aliran fluida diasumsikan *incompressible* dengan menggunakan model turbulensi k-ε realizable. Model ini dipilih karena dapat menganalisa difusi turbulen yang terjadi di sepanjang dinding. Diskritisasi yang digunakan adalah algoritma SIMPLE.

Tabel 1. *Grid Independency*

No	Bias Factor	Number of Division	Element size	Parameter y^+
1	8	2	1.8	0.82921267
2	11	4	1.6	0.40571155
3	14	6	1.4	0.24537192
4	17	8	1.2	0.16570478
5	20	10	1	0.13379556



Gambar 3. Perbandingan nilai Nu teori dan simulasi

Parameter yang digunakan untuk *grid independency* adalah parameter y^+ . *Grid independency* dilakukan untuk mendapatkan ukuran mesh yang paling baik agar mendapatkan hasil simulasi yang akurat. Dalam pemodelan ini dilakukan simulasi pada beberapa ukuran mesh untuk menemukan *grid independency*. Berdasarkan Tabel 1, diketahui variasi *mesh* yang akan digunakan adalah variasi *mesh* 5 dikarenakan memiliki nilai y^+ yang paling kecil. Tahap validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai bilangan Nusselt dari hasil simulasi dengan perhitungan teori bilangan Nusselt menggunakan persamaan Zukauskas seperti dibawah ini :

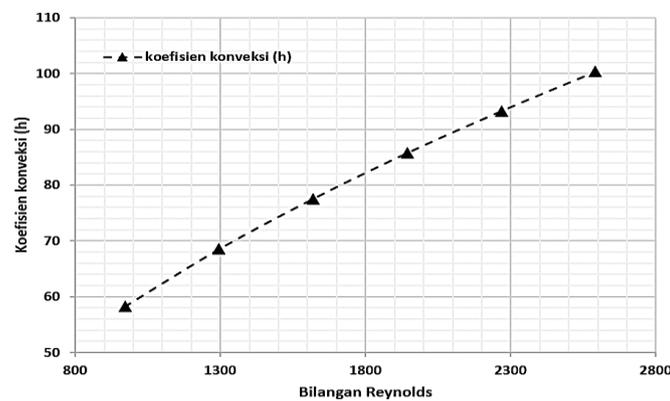
$$Nu_D = Re_D^m Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4}$$

Perbandingan nilai bilangan *Nusselt* antara hasil perhitungan teori dengan hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui jika nilai bilangan Nusselt dari hasil simulasi sudah hampir mendekati dengan perhitungan teori

dari persamaan Zukauskas dengan rata-rata *error* 16.33%, sehingga kondisi simulasi sudah dapat dikatakan mendekati kondisi aktualnya.

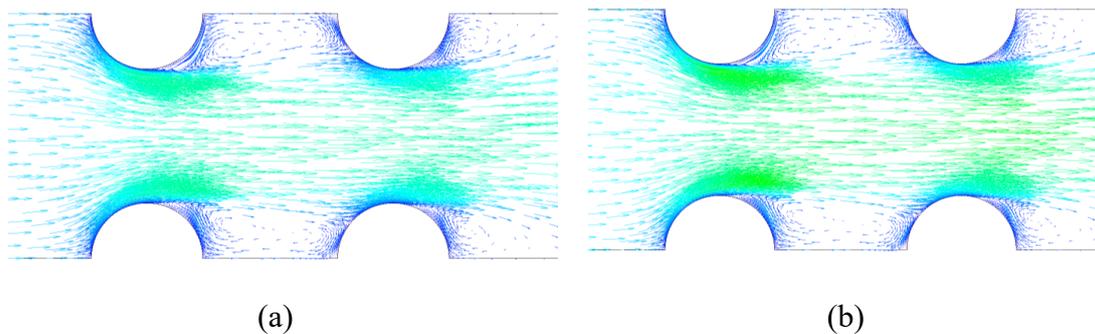
HASIL DAN PEMBAHASAN

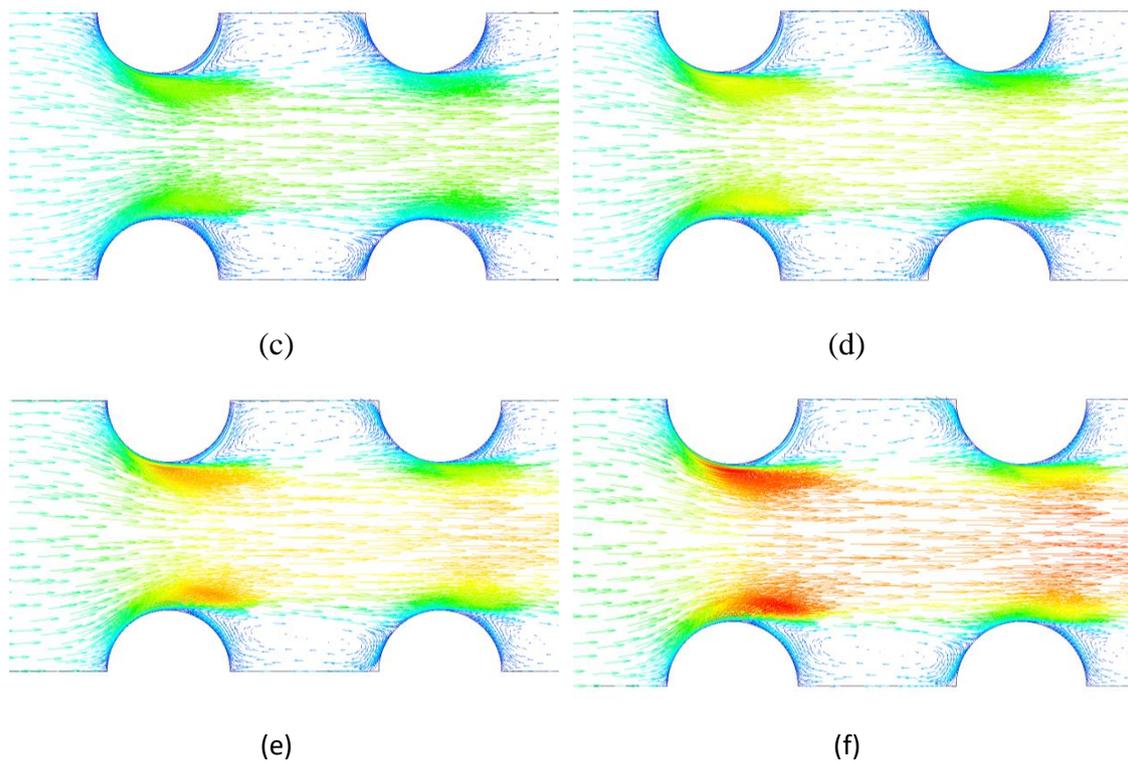
Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa nilai dari bilangan Reynolds berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi di sekitar tube kondensor. Hal tersebut dapat dianalisis dari pengaruh bilangan Reynolds pada perubahan nilai bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas konveksi. Pengaruh dari bilangan Reynolds terhadap nilai bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Re terhadap nilai koefisien konveksi (h)

Pada Gambar 3 ditampilkan hubungan antara bilangan Reynolds dengan nilai bilangan Nusselt. Sesuai dengan teori, nilai bilangan Nusselt akan naik seiring dengan penambahan nilai bilangan Reynolds pada variasi simulasi. Bilangan Nusselt terendah saat blangan Reynolds 972 yaitu sebesar 22.45. Sedangkan, bilangan Reynolds 2592 memiliki nilai bilangan Nusselt tertinggi yaitu sebesar 38.673 jika dibandingkan dengan variasi bilangan Reynolds yang lainnya. Hal ini nantinya akan berpengaruh terhadap nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h).

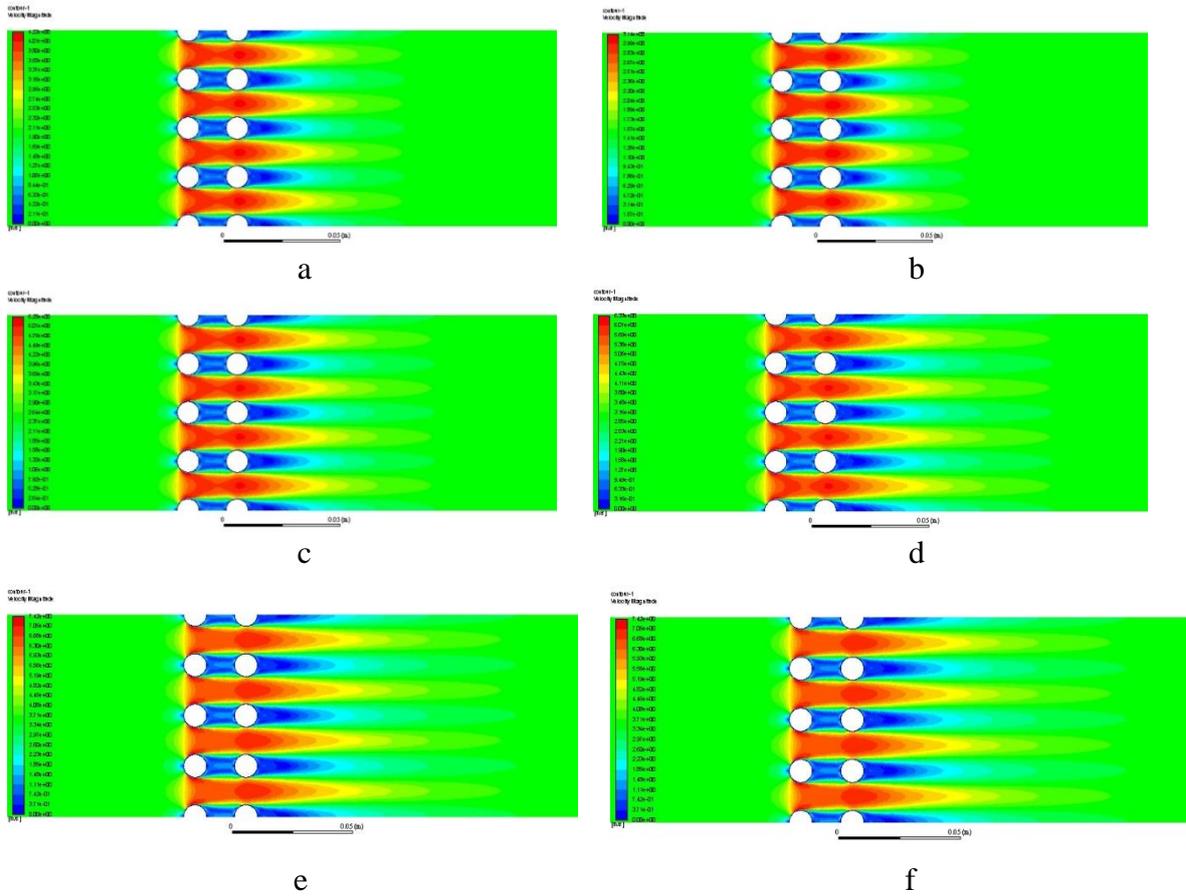




Gambar 5. Vektor kecepatan untuk semua variasi Re (a) 972, (b) 1296, (c) 1620, (d) 1944, (e)2268, (f) 2592.

Seperti yang telah di bahas sebelumnya, kenaikan nilai Re selain berpengaruh terhadap meningkatnya bilangan Nusselt, juga akan mempengaruhi besarnya koefisien perpindahan panas konveksi yang terjadi. Pada Gambar 4 dapat diketahui jika ketika nilai bilangan Reynolds 972 memiliki nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) terendah yaitu sebesar $58.24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sedangkan, ketika bilangan Reynolds 2594 memiliki nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) tertinggi yaitu sebesar $100.34 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan vektor kecepatan seperti pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat aliran balik berupa olakan atau dikenal dengan istilah *reattachment* terbentuk di antara tube semakin meningkatnya bilangan Reynolds maka *reattachment* yang terbentuk akan semakin besar. Hal tersebut dapat meningkatkan perpindahan panas secara konveksi yang terjadi pada aliran fluida.



Gambar 6. Kontur kecepatan untuk semua variasi Re (a) 972, (b) 1296, (c) 1620, (d) 1944, (e)2268, (f) 2592.

Pada Gambar 6 ditunjukkan data kualitatif berupa kontur kecepatan yang disimetrikkan sebanyak enam kali ke sumbu horizontal dengan indikator warna merah yang menunjukkan kecepatan paling tinggi dan warna biru menunjukkan kondisi yang sebaliknya. Pada semua simulasi dengan variasi bilangan Reynolds yang berbeda, semuanya sama memiliki kecepatan maksimal pada daerah *transversal* yang ditunjukkan dengan daerah berwarna merah. Namun pada setiap variasi bilangan Reynolds mempunyai nilai kecepatan maksimal yang berbeda. Variasi dengan nilai bilangan Reynolds 2592 memiliki kecepatan maksimal tertinggi hingga 8.51 m/s dan pada variasi bilangan Reynolds 972 memiliki kecepatan maksimal terendah yakni hanya sebesar 3.1 m/s. Semakin besar kecepatan maksimal, maka akan semakin turbulen aliran yang ditimbulkan sehingga mempercepat proses perpindahan panas yang terjadi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai bilangan Reynolds fluida tersebut, maka perpindahan panas yang terjadi akan semakin baik. Hal ini dapat dilihat dari kenaikan nilai bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas konveksi yang semakin besar dengan meningkatnya nilai bilangan Reynolds. Selain itu, perpindahan panas yang lebih baik dari efek penambahan bilangan Reynolds juga dapat dilihat pada kontur kecepatan yang memiliki kecepatan maksimal paling tinggi pada variasi bilangan Reynolds paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Incopera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2002). *Fundamental of Heat and Mass Transfer* (7th ed.). New York: John Wiley and Sons Inc.
- Souza, P. D., Biswas D., Deshmukh P. S. (2020). Air side performance of tube bank of an evaporator in a window air conditioner by CFD simulation with different circular tubes with uniform transverse pitch variation. *International Journal of Thermofluids*, 100028 3-4.
- Siagian, S. (2015). Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Kondensor pada Sistem Pendingin (Air Conditioning) yang Menggunakan Freon R-134 a Berdasarkan pada Variasi Putaran Kipas Pendingin. *Bina Teknika*, 11, 124-130.
- Bender, A., Meier, A. M., Vaz Jr, M., Zdanski, P. S. B. (2018). A numerical study of forced convection in a new trapezoidal tube bank arrangement. *International Communication in Heat and Mass Transfer*, 91, 117-124.
- Maleki, E., & Sadrhosseini, H (2015). Numerical Study of External Air Flow Over Stationary and Rotating Pipe With Eleptical Cross-Section. *11th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*.
- Deepakkumar, R., Jayavel, S. (2017) Air Side Performance of Finned-Tube Heat Exchanger with Combination of Circular and Elliptical Tubes. *Applied Thermal Engineering*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.082>