

Simulasi Laju Perpindahan Panas Serrated Finned Tube pada Heat Exchanger dengan Menggunakan Kondisi Batas Periodik

Laksamana Prihandika P^{1*}, Muhammad Shah², Burniadi Moballa³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-III Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: prihandikapamungkas@email.com^{1*}; muh.shah59@yahoo.com^{2*}; bmoballa@ppns.ac.id^{3*};

Abstract - Heat exchanger is a tool that use for exchange the heat to be cool and heat the fluid. Heat exchanger is widely used for air conditioning, chemical processing, and power plants by using coal, natural gas, etc as fuel. Greater heat exchanger capacity needs greater fuel requirements used, it is necessary to design optimization in the heat exchanger. Using fin in the heat exchanger tube is one way to increase the heat transfer rate because of increases the surface area. From previous research, serrated fin is one type of fin with high efficiency because it can increase the value of fluid turbulence. The aim of this research is to know the heat transfer rate that occurs in serrated finned tube, assumed that each side is periodic boundary condition. The result shows that periodic boundary condition can be apply for serrated finned tube in heat exchanger simulation, with error between this study and previous study by Martinez (2015) is less than 5%.

Keywords: heat exchanger, periodic boundary, serrated fin

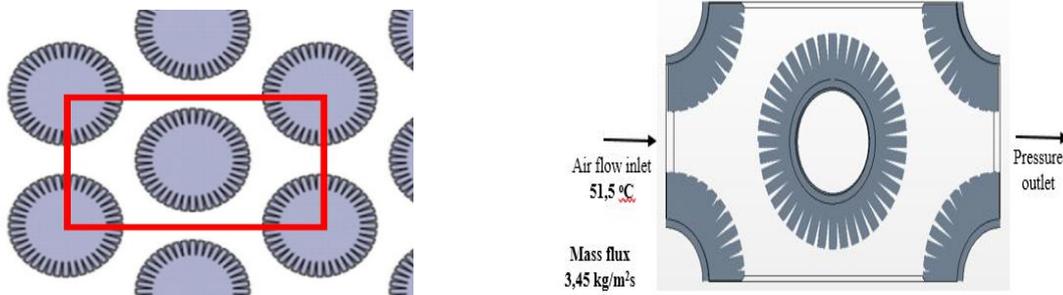
1. PENDAHULUAN

Heat exchanger adalah suatu alat yang digunakan sebagai pemanas maupun pendingin suatu fluida yang dialirkan pada tube atau pipa sebagai media penukar panas dengan fluida lainnya berada di luar tube. Suatu heat exchanger yang digunakan dalam sebuah proses tentu membutuhkan kalor cukup banyak, maka dari itu diperlukan suatu optimasi desain untuk meningkatkan efisiensi heat exchanger. Dengan meningkatnya nilai efisiensi heat exchanger, maka kebutuhan kalor untuk memanaskan atau mendinginkan suatu fluida akan lebih sedikit. Hal ini berdampak dengan berkurangnya penggunaan bahan bakar yang digunakan pada suatu heat exchanger.

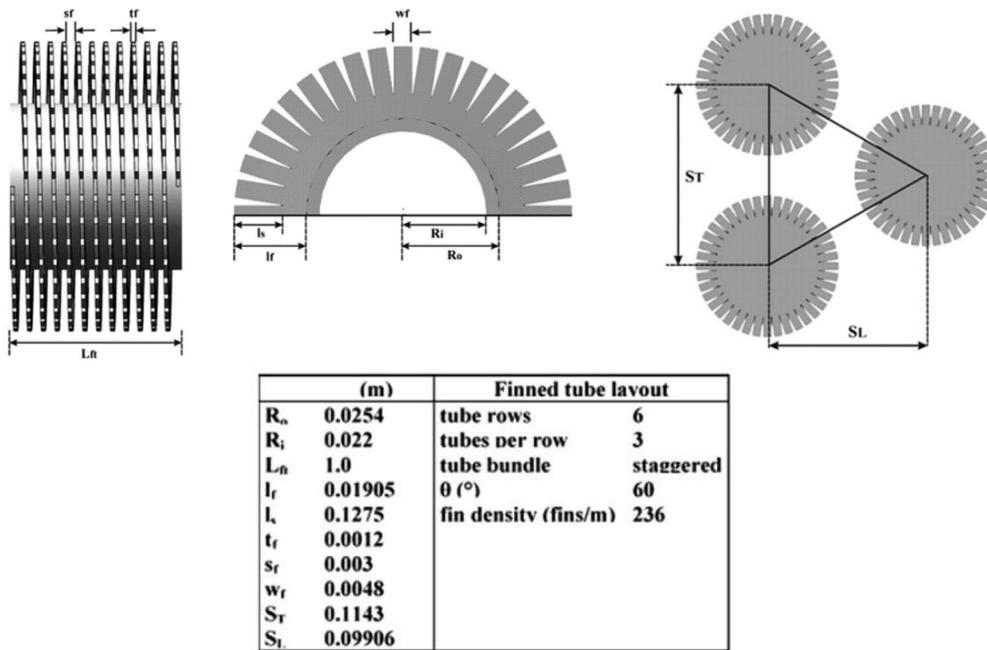
Salah satu opsi untuk meningkatkan efisiensi heat exchanger yaitu dengan mendesain tube heat exchanger dengan menggunakan fin untuk mempebesar luas permukaan dan meningkatkan nilai turbulensi fluida. Semakin tinggi efisiensi yang

dimilik oleh fin semakin besar pula laju perpindahan panas yang akan terjadi pada heat exchanger. Untuk mencari nilai efisiensi fin dapat dilakukan dengan cara melakukan eksperimen atau melakukan simulasi, dimana keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Eksperimen membutuhkan biaya, waktu, dan area yang cukup besar untuk mencari nilai efisiensi fin pada heat exchanger, sedangkan simulasi membutuhkan nilai mesh yang sangat besar untuk mencakup seluruh heat exchanger (full scale). Namun meskipun metode simulasi yang akurat harus menggunakan geometri secara full scale, hal ini dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan sampel dalam simulasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari model numerik yang dapat digunakan pada simulasi serrated finned tube pada heat exchanger dengan kondisi batas periodik.



Gambar 1. Susunan tube simulasi



Gambar 2. Detail dimensi serrated finned tube

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa *serrated finned* adalah salah satu jenis *fin* yang memiliki performa tinggi, seperti pada percobaan yang dilakukan oleh Reid membandingkan nilai efisiensi *plain fin* dengan *serrated fin* dan menyatakan *serrated fin* memiliki efisiensi lebih tinggi dan memiliki nilai koefisien perpindahan panas 20% lebih tinggi dari *plain fin*, karena dapat meningkatkan turbulensi pada fluida [1].

Penelitian lainnya mengenai *serrated finned tube* juga telah dilakukan oleh Leumouedda dkk yang melakukan investigasi numerik untuk optimasi *serrated fin tube* pada *heat exchanger*, hasil dari investigasi ini menyatakan bahwa sudut optimal pada serasi *serrated finned tube* adalah 5 dan 10 derajat, jika diatas 15 derajat *serrated finned tube* mengalami penurunan efisiensi [2]. Selain itu Cho dkk menganalisa variasi lebar dan ketebalan *serrated finned tube* terhadap kenaikan efisiensi *fin* dan hasil dari analisa ini menyatakan semakin besar lebar dan tebal *fin* maka laju perpindahan panasnya akan semakin besar [3]. Kiatpachai dkk melakukan eksperimen terhadap *welded serrated finned tube* dengan variasi *fin pitch* dan nilai Renold. Hasil dari eksperimen ini, semakin kecil *fin pitch* maka semakin besar nilai *pressure drop* [4].

Pada penelitian ini, simulasi akan menggunakan *software* STAR CCM+ untuk mengetahui distribusi temperatur dan kecepatan *flue gas* dengan adanya penambahan *serrated fin* pada *tube*. *Tube* pada penelitian ini tersusun secara *segregated* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1

Temperatur *inlet flue gas* yang mengalir adalah sebesar 51,5 °C dengan *mass flux* sebesar 3,45 kg/m²s sedangkan bagian dalam *tube*

menggunakan konstan temperatur sebesar 26 °C. Bagian *outlet* pada simulasi ini menggunakan *setting pressure outlet*, dan bagian gas sisi lainnya diasumsikan sebagai *symmetry periodic*. *Finned tube* yang digunakan pada simulasi ini mengambil sampel 3 lilitan *fin*, dengan detail dimensi *serrated finned tube* yang ditunjukkan pada Gambar 2

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Martinez, Penelitian ini menggunakan jenis turbulensi K-ε RNG dengan nilai koefisien yang ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

2. METODOLOGI .

Analisa perpindahan panas sangat banyak digunakan pada industri. Semua model perpindahan panas seperti konduksi, konveksi paksa, konveksi alami, perpindahan panas *conjugate*, radiasi, perubahan fase, dan lain-lain dapat dimodelkan pada beberapa *software* dengan basis *finite elemen* dan solusi data dapat digunakan sebagai input untuk simulasi termal.

Tabel 1. Koefisien K-ε RNG

Coefficient	k-ε RNG
C_μ	0.0845
σ_K	1.0
σ_ϵ	1.314
$C_{\epsilon 1}$	1.44
$C_{\epsilon 2}$	1.92

2.1 Persamaan dasar

Persamaan dasar hukum kekekalan menyatakan bahwa properti tertentu yang dapat diukur dari sistem fisika terisolasi tidak berubah

selama sistem berubah. Hukum kekekalan terdiri dari:

- a. Persamaan kontinuitas (kekekalan massa)

Langkah pertama untuk menurunkan persamaan kekekalan massa adalah menulis keseimbangan massa pada elemen fluida dengan persamaan bahwa laju peningkatan massa pada elemen fluida sama dengan laju aliran dari massa menuju elemen fluida. Laju peningkatan massa pada elemen fluida didapatkan dari persamaan berikut.

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\delta \rho}{\delta t} \delta x \delta y \delta z \quad (1)$$

Semua persamaan untuk menyelesaikan keseimbangan massa telah diselesaikan pada bagian kiri persamaan dan persamaan akan dibagi dengan elemen volume $\delta x \delta y \delta z$. Persamaan 2.16 menggambarkan rata-rata perubahan rapat massa pada suatu titik tetap sebagai hasil perubahan pada vektor kecepatan.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

atau dapat dirumuskan dengan *compact vector notation* sebagai berikut

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (3)$$

Persamaan diatas adalah *unsteady*, persamaan *three dimensional continuity* pada fluida *compressible*. Persamaan pertama pada bagian kiri adalah laju perubahan densitas terhadap waktu (massa per unit volume). Persamaan kedua menjelaskan aliran massa yang keluar dari elemen melewati batasan dan ini disebut *convective term*.

Pada persamaan fluida *incompressible*, densitas terhitung konstan dengan persamaan [6].

$$\text{div } u = 0 \quad (4)$$

Atau dapat dijabarkan sebagai berikut

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

- b. Persamaan Navier-Stokes (Kekekalan Momentum)

Substitusi dari persamaan tegangan geser dan lengkungan dapat disebut dengan persamaan Navier-Stokes. Persamaan Navier-Stokes dapat ditulis dalam bentuk yang sangat berguna dalam metode finite volume (Versteeg & Malalaskera, 2007).

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) \quad (6)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) \quad (7)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) \quad (8)$$

- c. Persamaan Kekekalan Energi

Kekekalan energi pada partikel fluida diyakinkan dengan perhitungan laju perubahan energi dari partikel fluida ke jumlah laju work done partikel fluida, laju penambahan panas dari fluida dan laju

peningkatan energi disebabkan oleh subau sumber. Persamaan energi dirumuskan sebagai berikut [6].

$$\rho \frac{DE}{Dt} = \text{div}(k \text{ grad } T) \quad (9)$$

2.2 Turbulence model

Turbulensi menyebabkan kemunculan pusaran pada suatu aliran dengan berbagai macam panjang dan skala waktu yang berinteraksi secara dinamis. Mengingat pentingnya untuk menghindari turbulensi pada aplikasi engineering, tidak heran bahwa sejumlah besar upaya penelitian adalah didedikasikan untuk pengembangan metode numerik mencari efek dari turbulensi.

Salah satu model turbulensi yang sering digunakan yaitu persamaan turbulen model untuk Reynold-Averaged Navier-Stroke (RANS). Perhatian difokuskan pada aliran rata-rata dan efek turbulensi pada sifat rata-rata aliran. sebelum aplikasi metode numerik persamaan Navier-Stokes adalah rata-rata waktu (atau ansambel rata-rata berfluktuasi dengan batas waktu tergantung kondisi). Istilah tambahan muncul dalam waktu-rata-rata (atau Reynold-averaged) karena persamaan interaksi antara berbagai fluktuasi yang bergejolak. istilah tambahan ini dimodelkan dengan klasik model turbulensi: di antara yang paling terkenal adalah model k-ε dan model tegangan reynolds. sumber daya komputasi yang dibutuhkan untuk perhitungan arus yang cukup akurat adalah sederhana, jadi pendekatan ini telah menjadi andalan perhitungan aliran teknik dari yang terakhir tiga dekade [6].

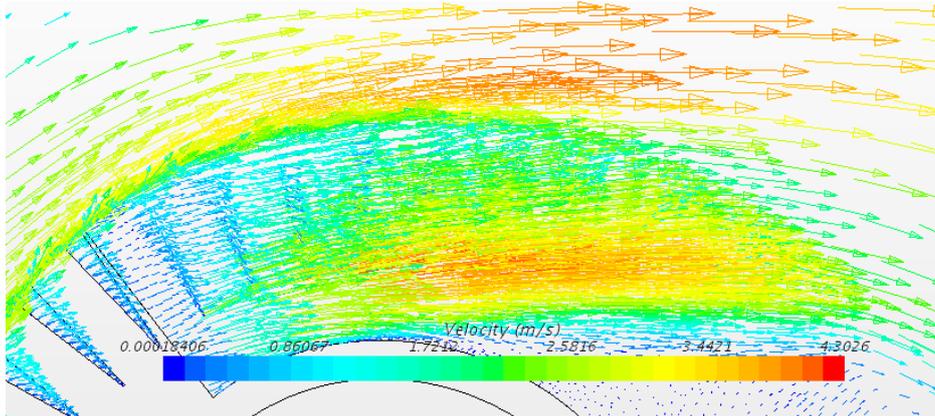
2.3 Finite volume method

Finite volume method merupakan salah satu metode membagi suatu hal besar menjadi kepingan sehingga pada saat melakukan analisa lebih mudah untuk ditafsirkan karena itu metode finite volume sering digunakan. Difusi merupakan perpindahan atau transport molekuler yang bisa terjadi di massa maupun energi dan selalu muncul pada konveksi alami, maka dilakukan pengujian metode untuk memprediksi kombinasi antara konveksi dan difusi. Persamaan *steady* konveksi-difusi dapat diperoleh dari persamaan *transport* sifat general φ dengan menghapus persamaan transient.

$$\text{div}(\rho u \phi) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) + S_\phi \quad (10)$$

Formal integration dengan kontrol volume dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\int_A n \cdot (\rho \phi u) dA = \int_A n \cdot (\Gamma \text{ grad } \phi) dA + \int_{CV} S_\phi dV \quad (11)$$



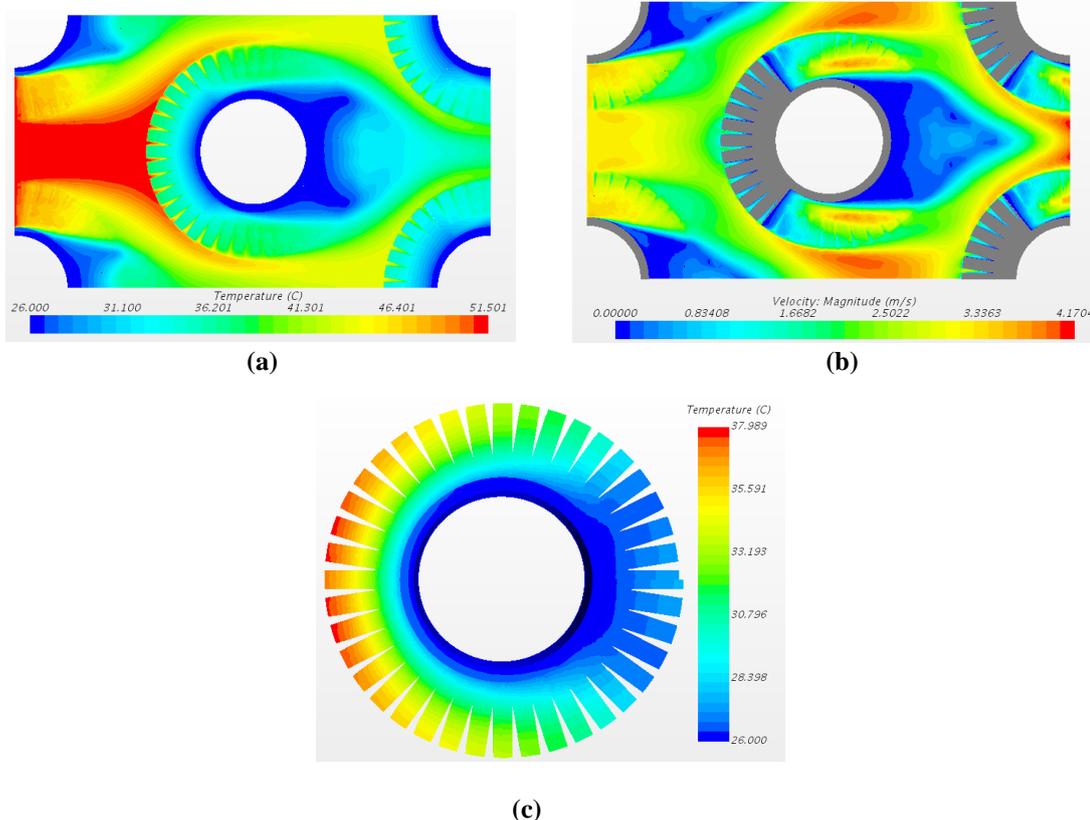
Gambar 3. Distribusi vektor kecepatan

Persamaan yang ada dengan nilai integral merupakan keseimbangan nilai *flux* dalam volume. Pada bagian kiri persamaan menunjukkan *convective flux* dan pada bagian kanan berisi *diffusive flux* dan generasi atau merusak nilai ϕ dengan kontrol volume [6].

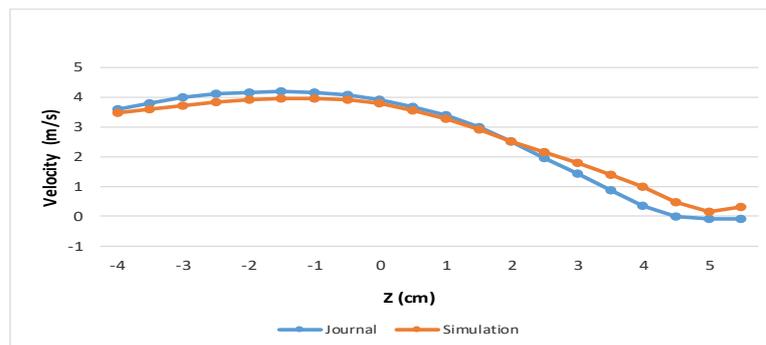
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian *serrated finned tube* dengan kondisi batas periodik telah dilakukan. Dengan adanya gerigi pada *serrated fin* menyebabkan meningkatnya nilai turbulensi pada *flue gas*. Gambar 3 menunjukkan distribusi vektor kecepatan *flue gas* pada daerah sekitar gerigi *serrated finned tube*.

Karena meningkatnya nilai turbulensi, nilai koefisien perpindahan panas yang terjadi akan semakin besar, hal ini berdampak pada laju perpindahan panas yang terjadi juga semakin besar. Gambar 4(a) menunjukkan distribusi temperatur pada *flue gas* dan *serrated finned tube* dan Gambar 4(b) menunjukkan Gambar distribusi kecepatan *flue gas* pada *serrated finned tube* dengan kecepatan maksimal sebesar 4,19 m/s. Gambar 4(c) menunjukkan distribusi temperatur pada *single serrated finned tube* dengan temperatur inlet sebesar 51,5 °C, temperatur tertinggi yang dapat diterima oleh *finned tube* yaitu sebesar 37,95 °C.



Gambar 4. (a) Distribusi temperatur (b) Distribusi kecepatan gas (c) Distribusi temperature single tube



Gambar 5. Grafik kecepatan flue gas pada jarak 50mm

Untuk memastikan simulasi yang dilakukan ini benar atau mendekati benar, penelitian ini membandingkan nilai kecepatan *flue gas* pada jarak 50 mm dari *center tube*. Dari hasil simulasi, didapatkan grafik perbandingan kecepatan antara simulasi penelitian ini dengan penelitian sebelumnya (Martinez, 2015). Grafik perbandingan kecepatan *flue gas* pada jarak 50 mm ditunjukkan pada Gambar 7 dengan garis biru adalah penelitian sebelumnya dan garis oranye adalah simulasi pada penelitian ini.

Penelitian ini memvariasikan 4 jenis ukuran *cell*, dengan membandingkan hasil kecepatan *flue gas* pada jarak 50 mm dari *center tube* pada masing-masing ukuran *cell*nya. Hasil menunjukkan nilai galat yang terjadi pada keempat jenis ukuran *cell* memiliki nilai galat dibawah 5%. Detail variasi ukuran *cell* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Detail variasi ukuran *cell*

No	Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1	Cell base size	0.02	0.018	0.015	0.013
2	Number of cell	934989	1154006	1434267	1717048
3	Number of iteration	1000	1000	1000	1000
4	Error	4.79%	4.72%	4.58%	4.44%

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa hasil dari penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Martinez (2015) dan kondisi batas periodik yang digunakan pada penelitian ini cukup akurat untuk mensimulasikan *serrated finned tube* dengan sampel 3 lilitan *fin*.

5. PUSTAKA

- [1] Reid, D. R. (1993). *Selection Criteria for Plain and Segmented Finned Tubes for Heat Recovery System*. Proceeding ASME Digital Colection, United State of America
- [2] Lemouedda, A. dkk. (2011). *Numerical Investigation for the Optimation of Serrated Finned-Tube Heat Exchanger*. Elsevier

Applied Thermal Engineering 31 (2011) 1393-1401, Germany

- [3] Cho, H. dkk. (2014). *Simulation Result for the Effect of Fin Geometry on the Performance of a Concentric Heat Exchanger*. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Vol. 22, No. 4 (2014) 1450026, Korea
- [4] Kiatpachai, P. dkk. (2015). *Air-Side Performance of Serrated Welded Spiral Fin and Tube Heat Exchanger*. Elsevier International Journal of Heat and Mass Transfer 86 (2015) 724-732, Thailand
- [5] Martinez, E. dkk. (2015). *Numerical Simulation of Turbulent Air Flow on a Single Finned Tube Module with Periodic Boundry Condition*. Elsevier International Journal of Thermal Sciences 92 (2015) 58-71, Mexico
- [6] Versteeg, H. K. & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamic: The Finite Volume Method, Second Edition*. Pearson Education Limited, England