

STUDI NUMERIK KONVEKSI PAKSA PADA TUBE BANKS DENGAN PENAMBAHAN VORTEX GENERATOR

Muhammad Yoan Fernanda

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
E-mail: muhammadfernanda16050754041@mhs.unesa.ac.id

Diastian Vinaya Wijanarko, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: diastianvinaya@unesa.ac.id

Abstrak

Dalam ilmu perpindahan panas terdapat banyak alat yang memiliki fungsi demikian, salah satunya adalah tube banks. Tube banks sendiri adalah sekumpulan silinder atau tube yang digunakan untuk memindahkan panas pada fluida yang melalui tube-tube tersebut. Tube banks terbagi menjadi dua jenis susunan, pertama adalah aligned atau sejajar dan kedua adalah staggered atau selang-seling. Salah satu kekurangan dari tube banks adalah proses perpindahan panas yang kurang merata sehingga dapat mengakibatkan angka Nusselt dan efisiensi pada alat penukar panas menjadi sangat rendah. Oleh karena itu diperlukan sebuah metode bernama aliran pasif dengan cara menambahkan *obstacle* atau sirip yang disebut vortex generator. Vortex Generator memiliki fungsi untuk memfokuskan aliran pada fluida sehingga dapat merata melalui tube. Di setiap tube, vortex generator biasanya diletakkan berpasangan dengan posisi diagonal dan jarak vertical dan horizontal yang telah ditentukan. Dan dapat diletakkan hanya pada baris pertama atau bisa untuk baris kedua dan seterusnya. Fokus penulis kali ini adalah pada tube banks berjenis staggered dengan jumlah tube sebanyak 7 buah. Lalu ditambahkan vortex generator berbentuk persegi panjang dengan banyak varian sudut kemiringan dan kecepatan masuk fluida yang akan melalui inlet. Seluruh desain tersebut dibuat dalam software modeler dan diujicobakan dalam simulasi aliran fluida. Dan hasil akhir dari penelitian ini baik melalui tampilan visual pada kontur maupun hasil perhitungan angka Nusselt dan kalor rata-rata menunjukkan fenomena aliran fluida serta perpindahan panas yang signifikan setelah ditambahkan *vortex generator*. Namun, selama varian dari sudut kemiringan vortex generator diperhatikan dan tidak lebih dari 40° . Karena jika sudut kemiringan lebih dari nilai tersebut, maka fluida akan terhalang oleh vortex generator itu sendiri dan fenomena ini juga bisa disebut blockage.

Kata kunci : *Tube Banks, Vortex Generator*, Aliran Paksa, Solidworks, ANSYS Fluent, CFD.

Abstract

In the science of heat transfer there are many tools that have such a function, one of which is tube banks. Tube banks are a collection of cylinders or tubes that are used to transfer heat to the fluid passing through the tubes. Tube banks are divided into two types of arrangement, the first is aligned and the second is staggered. One of the drawbacks of tube banks is the uneven heat transfer process, which can result in the Nusselt number and efficiency of the heat exchanger being very low. Therefore we need a method called passive flow by adding an obstacle or fin called a vortex generator. Vortex Generator has a function to focus the flow on the fluid so that it can be evenly distributed through the tube. In each tube, vortex generators are usually placed in pairs with a predetermined diagonal position and a predetermined vertical and horizontal distance. And can be placed only on the first row or can be for the second row and so on. The author's focus this time is on tube banks of the staggered type with a total of 7 tubes. Then a rectangular vortex generator is added with many variants of the angle of inclination and the velocity of the fluid entering the inlet. All designs are made in modeler software and tested in fluid flow simulations. And the final result of this research, both through visual appearance on the contours and the results of calculations on the Nusselt number and average heat, show significant fluid flow and heat transfer phenomena after adding a vortex generator. However, as long as the variance of the vortex generator tilt angle is observed and not more than 40° . Because if the angle of inclination is more than this value, the fluid will be blocked by the vortex generator itself and this phenomenon can also be called blockage.

Keywords : *Tube Banks, Vortex Generator*, Forced Flow, Solidworks, ANSYS Fluent, CFD.

PENDAHULUAN

A. Identifikasi Masalah

Berdasarkan identifikasi pengantar diatas maka, perlu dilakukan kajian penelitian tentang :

1. Bagaimana proses perpindahan panas terjadi di dalam tube banks?
2. Seperti apakah proses aliran panas secara pasif?
3. Bagaimana cara meningkatkan efisiensi boiler dengan aliran pasif?

4. Seperti apakah pengaruh vortex generator dalam menghasilkan aliran pasif?
5. Tipe susunan vortex generator seperti apakah yang dapat menghasilkan efisiensi lebih baik?

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana proses perpindahan panas yang terjadi pada kedua varian tube banks?
2. Bagaimana tampilan kontur kecepatan pada kedua varian tube banks?
3. Bagaimana pengaruh vortex generator terhadap perubahan suhu dan angka Nusselt yang dihasilkan?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memahami proses perpindahan panas yang terjadi pada kedua varian tube banks
2. Menghasilkan tampilan kontur kecepatan pada kedua varian tube banks
3. Melihat pengaruh vortex generator terhadap perubahan suhu dan angka Nusselt yang dihasilkan
4. Memahami perbedaan aliran antara tube banks biasa dengan tube banks yang telah dipasangkan vortex generator.

D. Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memperoleh hasil efisiensi lebih maksimal dari penelitian sebelumnya
 - b. Menentukan tipe susunan tube banks dan aliran terbaik untuk economizer
2. Manfaat Praktis
 - a. Referensi untuk standar baru dalam perancangan economizer
 - b. Kontribusi untuk perancangan simulasi tentang perpindahan panas

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

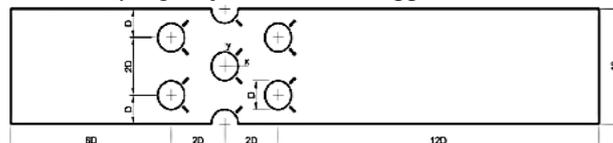
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik. Dengan menggunakan simulasi numerik berbasis komputasi CFD ini mempermudah peneliti untuk mendapatkan parameter - parameter hasil pengujian. Dan tentunya seluruh data yang dihasilkan dari simulasi harus melalui proses validasi.

Untuk simulasi dilakukan secara virtual pada Personal Computer dari penulis, dengan

menggunakan aplikasi yang dapat menjalankan simulasi CFD dengan metode volume hingga dengan membagi objek yang kompleks menjadi volume yang lebih kecil.

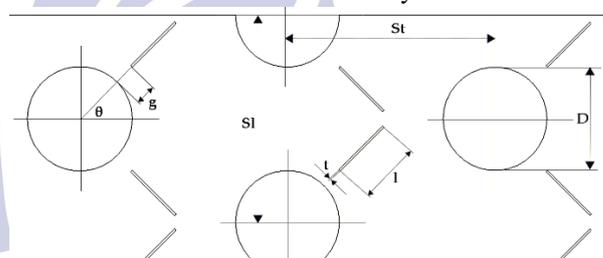
B. Objek Penelitian

Objek untuk penelitian ini adalah sebuah alat penukar panas atau heat exchanger berjenis tube banks. Geometri tube banks yang digunakan adalah 7 buah tubes yang berjenis susunan *staggered*.



Gambar 1. Geometri untuk tube banks

Nantinya di setiap sisi atas dan bawah tube banks akan ditambahkan *obstacle* atau penghalang yang disebut juga sebagai vortex generator. Penghalang ini berbentuk persegi panjang dengan jarak dan sudut kemiringan yang sudah diatur sedemikian rupa, sehingga dapat berfungsi sebagai pencegah terjadinya turbulensi dalam aliran fluida nantinya.

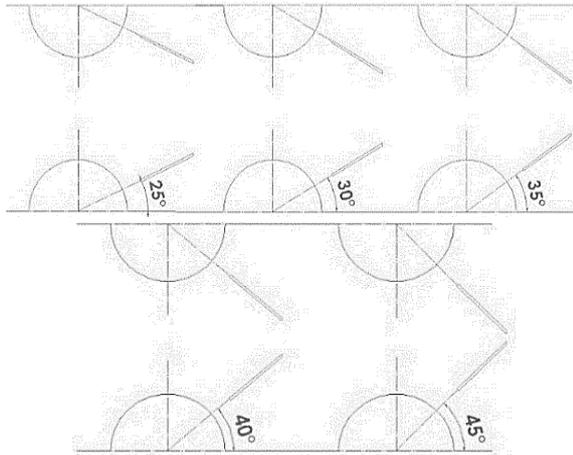


Gambar 2. Geometri untuk setiap tube dan vortex generator

Dan berikut ini adalah geometri untuk setiap tube dan vortex generator. Berdasarkan ilustrasi di atas, makna dari setiap symbol tersebut antara lain:

- θ : Sudut kemiringan dari VG
- g : Gap atau jarak antara VG dengan permukaan tube (mm)
- S_t : Jarak transversal antar tube (mm)
- S_l : Jarak longitudinal antar tube (mm)
- D : Diameter dari tube (mm)
- l : panjang vortex generator (mm)
- t : lebar vortex generator (mm)

Selain itu, vortex generator ini mempunyai berbagai varian untuk sudut kemiringan. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Variasi sudut kemiringan vortex generator

Untuk jenis fluida yang digunakan adalah udara, dengan temperature yang akan melewati inlet nantinya adalah sebesar 310K dan untuk temperature tube konstan adalah sebesar 347K.

C. Variabel Penelitian

Mengutip dari Sugiyono (2021:61), definisi variabel penelitian adalah suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis variable yang diantaranya adalah variabel bebas, variabel control, dan variabel terikat.

1. Variabel Bebas

Definisi variabel bebas menurut Sugiyono (2012:61) adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau variabel terikat. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah sudut kemiringan antara varian VG yaitu sebesar 25°, 30°, 35°, 40°, 45°.

2. Variabel Kontrol

Variabel control merupakan variabel yang dapat dikendalikan atau dikondisikan dalam posisi konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh factor luar yang sedang diteliti. Untuk varian control yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah:

- Dimensi dari tube banks, seperti diameter dari setiap tube dan jenis susunan dari tube banks yaitu *staggered*
- Suhu fluida yang masuk melalui *inlet*
- Suhu pada permukaan dari setiap tube banks

- Kecepatan fluida yang melalui dinding-dinding tube.

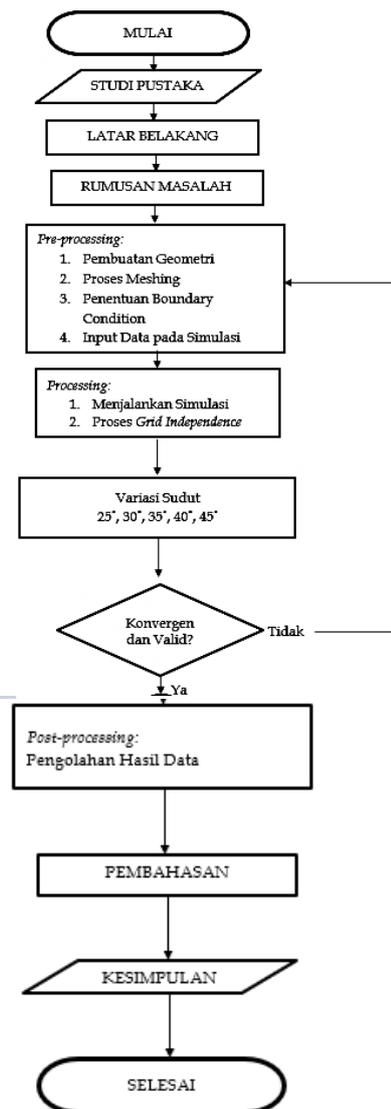
3. Variabel Terikat

Mengutip dari Sugiyono (2011:61) definisi dari variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang dihasilkan dari proses simulasi pada tube banks ini antara lain:

- Bilangan Nusselt
- Tampilan kontur kecepatan pada setiap varian

D. Diagram Alur Penelitian

Berikut ini adalah diagram alur (flowchart) yang berisikan tahapan yang dilaksanakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Diagram Alur (flowchart) Penelitian (Sumber: Data Penulis)

E. Proses Simulasi

1. Pre-processing

Dalam proses simulasi dimulai dengan pembuatan geometri model dari alat yang akan diteliti. Dalam hal ini adalah tube banks, dengan penambahan sirip bernama vortex generator yang berfungsi untuk mengarahkan aliran. Proses penelitian menggunakan 2 jenis aplikasi, yaitu aplikasi untuk pembentukan geometri dan aplikasi simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* atau yang biasa disingkat dengan CFD.

Pada tahap awal melakukan simulasi CFD adalah dengan membuat model geometri 2D. Geometri *tube banks* dibuat pada Solidworks dengan menerapkan Planar Surface. Tube banks ini berjenis susunan *staggered* dan memiliki 3 baris dengan jumlah tube sebanyak 7 buah. Selanjutnya ditambahkan juga VG (*Vortex Generator*) dengan bentuk *rectangular* atau persegi panjang dengan varian sudut kemiringan yang berbeda-beda.

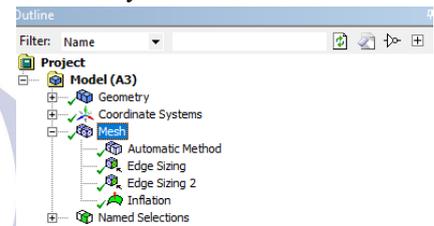
Tabel 1. Dimensi untuk geometri

Keterangan	Jumlah
Panjang plat	240mm
Lebar plat	40mm
Diameter tube	10mm
Jarak transversal antar tube	20mm
Jarak longitudinal antar tube	20mm
Gap antara <i>Vortex Generator</i> dengan tube	1mm
Panjang <i>Vortex Generator</i>	6mm
Lebar <i>Vortex Generator</i>	0,2mm
Sudut kemiringan <i>Vortex Generator</i>	25°, 30°, 35°, 40°, 45°

Selanjutnya adalah proses meshing. Proses ini berfungsi untuk menganalisa bentuk dari geometri. Terdapat lebih banyak nodes yang dihasilkan pada area di sekitar vortex generator. Dalam proses meshing ini, untuk setiap varian sudut kemiringan dari vortex generator ini terbagi lagi menjadi 4 varian meshing. Untuk varian pertama memiliki jumlah kerapatan yang lebih kecil, dan berangsur hingga varian keempat memiliki jumlah kerapatan yang paling besar. Hal ini bertujuan untuk proses validasi yang disebut Grid Independence dengan cara menghitung jumlah error dari setiap varian mesh dalam satu jenis sudut kemiringan VG. Dan berikut ini adalah salah satu contoh proses pembentukan meshing varian pertama:

1. Buka tab “Mesh” pada aplikasi simulasi
2. Pilih metode untuk meshing sebagai berikut:

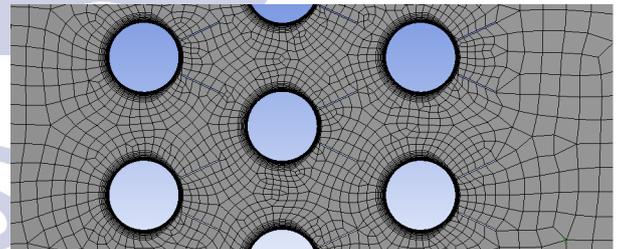
- a. Automatic Method, untuk mengatur kerapatan secara otomatis
- b. Edge sizing, yang berfungsi untuk mengatur kerapatan mesh. Sebagai contoh, untuk varian mesh pertama memakai edge sizing sebanyak 45 pada setiap tube dan 23 untuk tube berbentuk setengah lingkaran yang berlokasi dekat dinding
- c. Inflation dengan masukan first thickness layer sebesar 0,02 dan max layer sebesar 15.



Gambar 5. Metode meshing yang digunakan

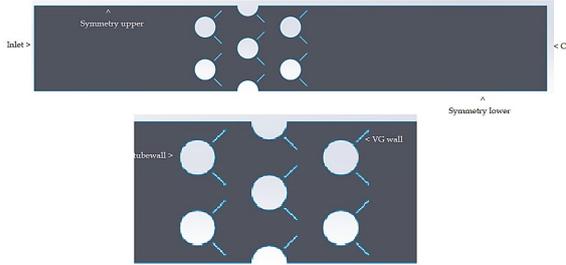
3. Jika seluruh proses dalam metode meshing telah dilakukan, klik “Generate Mesh” dan tunggu beberapa saat hingga mesh dapat ditampilkan. Pastikan dalam proses ini meshing dapat ditampilkan secara sempurna dan tidak terjadi error.

Dan berikut ini adalah hasil dari meshing dari tube banks.

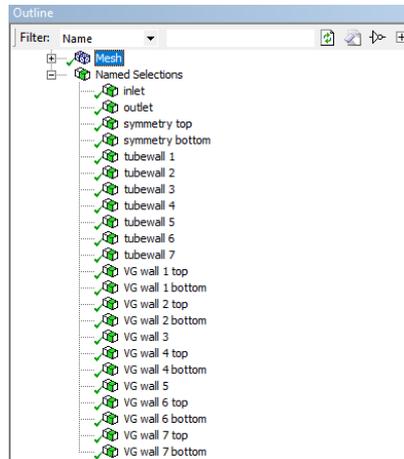


Gambar 6. Hasil meshing pada tube banks

Selanjutnya adalah menentukan kondisi batas atau *boundary condition*. Hal ini berfungsi untuk mengatur kondisi aktual yang terjadi pada tube banks, mulai dari masuknya fluida pada bagian inlet, proses pertukaran panas pada tube, dan keluarnya fluida melalui outlet.



Gambar 7. Pengaturan kondisi batas atau boundary condition pada tube banks



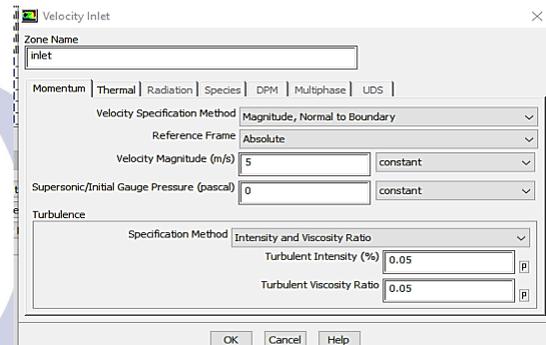
Gambar 8. Seluruh selections untuk boundary condition

Tujuan dari boundary condition ini adalah mengkondisikan geometri untuk proses running simulasi nantinya. Caranya dengan menamai bagian-bagian dalam setiap komponen geometri, dengan begitu secara otomatis Ansys akan mengatur kondisi batas seperti apakah yang berada pada titik tersebut. Kondisi batas tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Inlet, yang berfungsi untuk jalur masuk dari fluida. Titik ini berada pada sisi paling kiri dari plat
2. Outlet, yang berfungsi untuk jalur keluar dari fluida. Titik ini berada pada sisi paling kanan dari plat
3. Symmetry, untuk dinding batas yang berada di atas dan bawah plat
4. Tube wall, sesuai namanya adalah dinding untuk tube. Dan untuk setiap tube wall harus disendirikan dalam penamaanya.
5. VG wall, atau dinding untuk Vortex Generator. Sama seperti tube wall, setiap VG wall harus disendirikan dalam penamaanya.

Tabel 2. Parameter boundary condition

Boundary Condition	Keterangan
Inlet	Tipe : <i>Velocity inlet</i> Kecepatan : 5 m/s Temperatur : 310 K
Outlet	Tipe : <i>Outflow</i>
Tube Wall	Tipe : <i>Stationary Wall</i> Temperatur : 347 K
Garis bantu atas dan bawah	Tipe : <i>Symmetry</i>



Gambar 9. Menu boundary condition

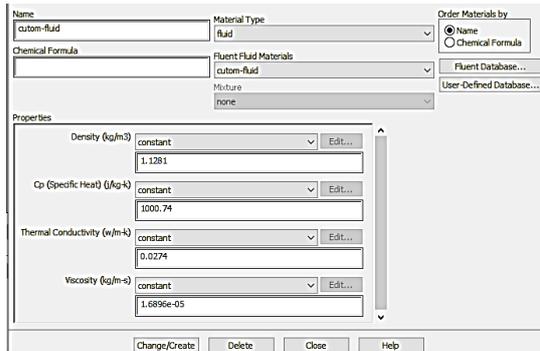
Kondisi batas pada tabel berikut ini mengacu dari penelitian Chusnul Khotimah (2016) yang juga meneliti seputar variasi susunan tube pada alat perpindahan panas bernama economizer. Selain itu, Chusnul juga mengimplementasikan penelitiannya melalui simulasi komputer berbasis CFD atau Computational Fluid Dynamics.

2. Processing

Pada proses ini, proses simulasi berlanjut di Fluent. Berbagai parameter boundary condition yang telah dijabarkan pada proses sebelumnya diinputkan pada proses.

Tabel 3. Data parameter fluida untuk tube banks

Temperature Inlet (K)	310
Angka Prandtl	0,7056
Massa Jenis (kg/m ³)	1,1281
Konduktivitas Thermal (W/m.K)	0.0274
Kalor Spesifik (W/g.K)	1,0074
Viskositas Kinematik (m ² /s)	16,896 e-6
Viskositas Absolut (N/m ²)	189,32 e-07



Gambar 10. Menu profil materials

Termasuk juga penentuan turbulence modelling yang akan digunakan untuk proses simulasi ini nantinya. Metode turbulence yang akan digunakan adalah tipe k-epsilon RNG (Re-Normalization Group) yang menggunakan metode statistik yang teliti (teori renormalisasi kelompok). Bentuk persamaan yang digunakan sama dengan model k-epsilon *standard* tetapi melibatkan beberapa perbaikan:

1. Model RNG mempunyai besaran tambahan pada persamaan laju disipasi, epsilon, yang dapat meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
2. Efek putaran pada turbulensi juga terdapat pada model RNG, sehingga meningkatkan akurasi untuk aliran yang berputar (*swirl flow*).
3. Model RNG menyediakan formula analitis untuk bilangan Prandtl turbulent, sementara model k-epsilon *standard* menggunakan nilai bilangan Prandtl yang konstan (ditentukan oleh pengguna).
4. Model k-epsilon *standard* merupakan model untuk kasus dengan bilangan Reynolds tinggi, sedangkan model RNG menyediakan formula untuk bilangan Reynolds rendah.

3. *Post-Processing*

Pada proses ini, hasil data yang telah didapatkan dari simulasi diolah kembali dengan berbagai rumus yang telah disediakan dari buku referensi yang tersedia untuk meninjau kembali hasil dari simulasi secara mendalam dan spesifik. Seperti jumlah efisiensi dan presentase error pada simulasi.

Untuk mengetahui performa dari varian tube banks tanpa Vortex Generator dan dengan Vortex Generator adalah dengan mengetahui nilai dari Nusselt number yang dapat dikalkulasikan melalui data yang telah dihasilkan dari simulasi perpindahan panas ini. Berdasarkan buku *Fundamental of Heat and Mass Transfer* karangan

Frank Incopera rumus dari Nusselt number sendiri adalah sebagai berikut:

$$\overline{Nu}_D = C_2 C_1 Re_{D,max}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

Pada rumus tersebut terlihat salah satu variabel untuk bilangan Reynold, dengan rumus sebagai berikut.

$$Re_{D,max} = \frac{V_{max} D}{\nu}$$

Pada rumus bilangan Reynold juga terdapat V_{max} atau kecepatan maksimal, dengan rumus sebagai berikut.

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

Setelah variabel dari Nu atau Nusselt Number telah ditemukan, maka dapat dilanjutkan dengan mengkalkulasikan q' atau kalor rata-rata, dengan rumus sebagai berikut.

$$q' = N(\overline{h}\pi D\Delta T_{lm})$$

Dalam rumus tersebut terdapat h atau koefisien konveksi, yang dimana rumus tersebut mengambil variabel secara langsung dari Nusselt Number yang sebelumnya telah didapatkan.

$$\overline{h} = \overline{Nu}_D \frac{k}{D}$$

Dan terakhir pada rumus kalor rata-rata terdapat beda temperature atau ΔT_{lm} . Dalam rumus ini, terdapat T_i atau temperatur inlet, T_s atau temperatur permukaan tube banks, dan T_o atau temperatur pada outlet yang dapat diketahui melalui proses *post-processing*.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_o}\right)}$$

Dan untuk beberapa variabel dari berbagai rumus di atas dapat dilihat melalui table di bawah ini, yang masih dari buku yang sama.

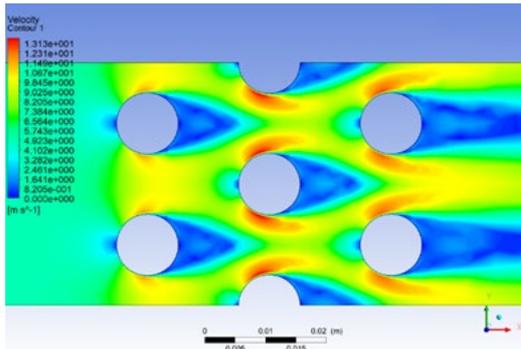
Tabel 4. Properti yang digunakan pada tekanan atmosfer

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $\mu_t = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690

HASIL DAN PEMBAHASAN

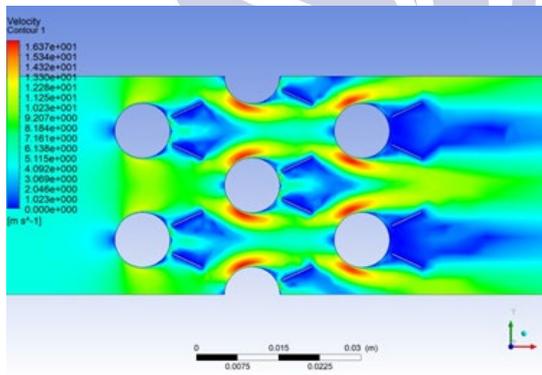
Setelah proses running, dapat ditampilkan hasil visual atau kontur yang terbentuk selama proses running seperti kontur untuk kecepatan,

berikut ini adalah kontur kecepatan atau velocity untuk tube banks tanpa vortex generator.

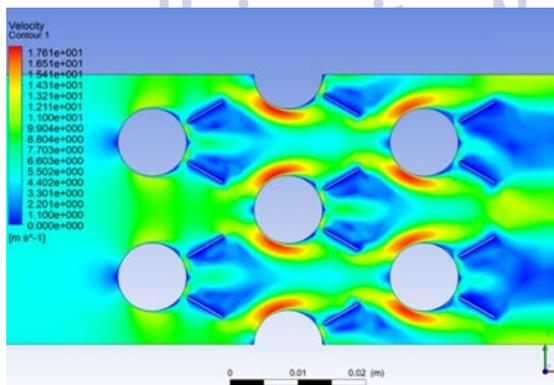


Gambar 11. kontur *velocity* untuk tube banks tanpa *vortex generator*

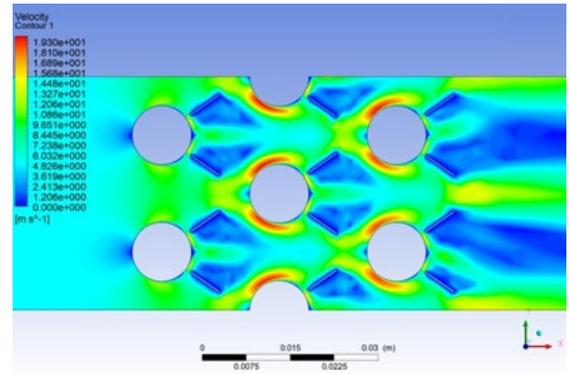
Untuk melihat perbedaan visual antar varian sudut kemiringan dari vortex generator, maka proses penampilan kontur ini harus diaplikasikan ke seluruh varian. Dan seperti yang terlihat di beberapa ilustrasi berikut, performa terbaik berada pada tube banks dengan sudut kemiringan terendah yaitu 25°, hal itu juga menjelaskan mengapa varian 25° ini dapat menghasilkan aliran fluida yang konvergen.



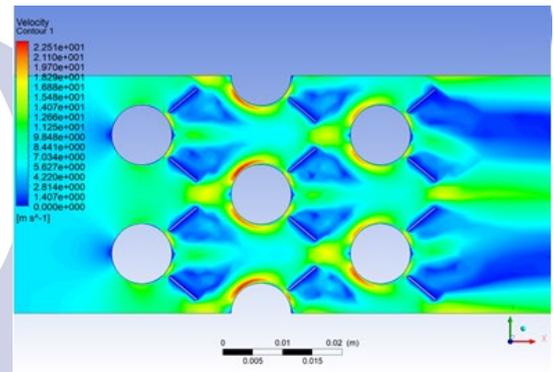
Gambar 11. Kontur *velocity* tube banks dengan *vortex generator* sudut 25°



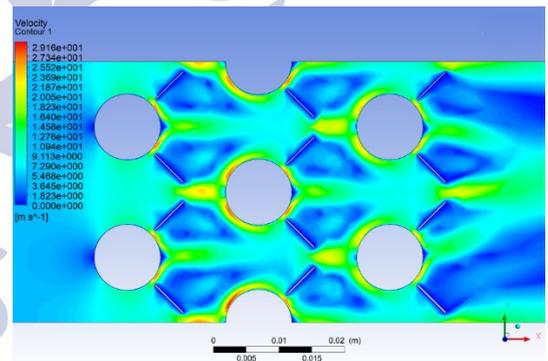
Gambar 12. Kontur *velocity* tube banks dengan *vortex generator* sudut 30°



Gambar 13. Kontur *velocity* tube banks dengan *vortex generator* sudut 35°



Gambar 14. Kontur *velocity* tube banks dengan *vortex generator* sudut 40°



Gambar 15. Kontur *velocity* tube banks dengan *vortex generator* sudut 45°

Jika seluruh proses running telah selesai dilakukan, maka tahap processing dapat dianggap selesai. Dan tahap selanjutnya adalah post-processing. Pada tahap ini, seluruh data yang telah terkumpul dari proses running dikalkulasikan untuk menghasilkan suatu kesimpulan akhir. Pada proses ini juga dilakukan metode grid independence yang bertujuan untuk menguji validitas dari simulasi yang telah dilakukan dengan cara memantau presentase error pada setiap perbedaan nilai di setiap mesh dalam satu varian sudut kemiringan. Setelah proses simulasi dilakukan, dapat dihasilkan data berupa profil untuk kondisi di berbagai titik

boundary condition seperti besarnya Nusselt number yang nantinya dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk Grid Independence.

1. Grid Independence

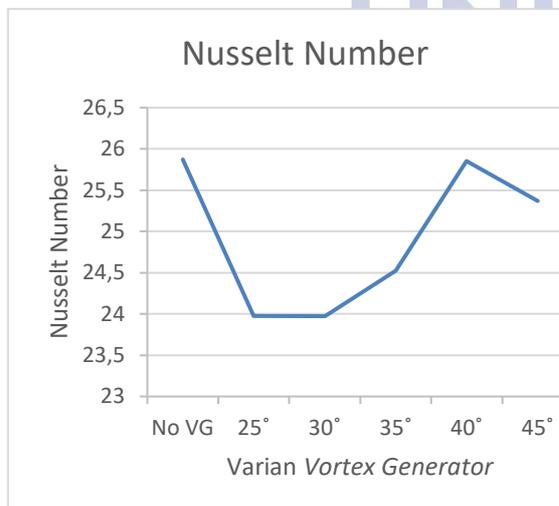
Proses grid independence sendiri akan berfokus kepada banyaknya elemen yang terbentuk pada setiap varian meshing dan pada perbedaan tekanan yang melalui inlet dan outlet. Dan supaya penelitian ini lebih valid, hasil data dari simulasi harus dikalkulasikan ulang dengan rumus yang telah ditentukan pada berbagai referensi pustaka yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Dan berikut ini hasil Nusselt number untuk uji coba pertama pada tube banks tanpa menggunakan Vortex Generator.

Sama seperti kontur *velocity* sebelumnya, pengambilan dan perhitungan profil Nusselt number ini diaplikasikan kepada seluruh varian sudut kemiringan dari Vortex Generator. Berikut ini adalah hasilnya.

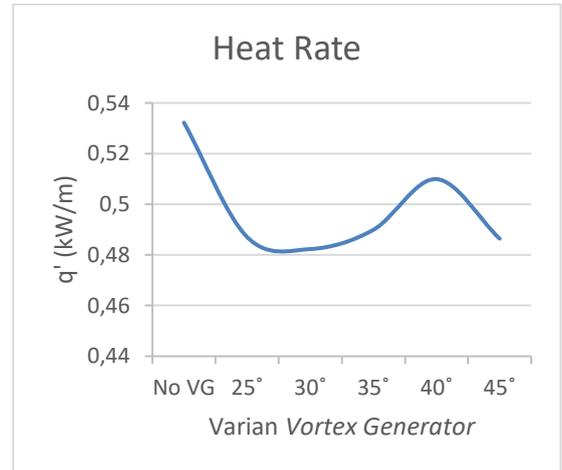
Tabel 5. Perhitungan Grid Independence

Mesh	Elements	ΔP	% Error
1	6005	71.656114	-
2	7683	69.372791	- 3.18650129
3	8716	39.427459	-44.976839
4	11604	39.440139	- 44.9591433

Dengan rumus yang telah ditentukan dan menggunakan tabel properti yang telah dijabarkan sebelumnya, maka dapat dihasilkan grafik berikut ini.



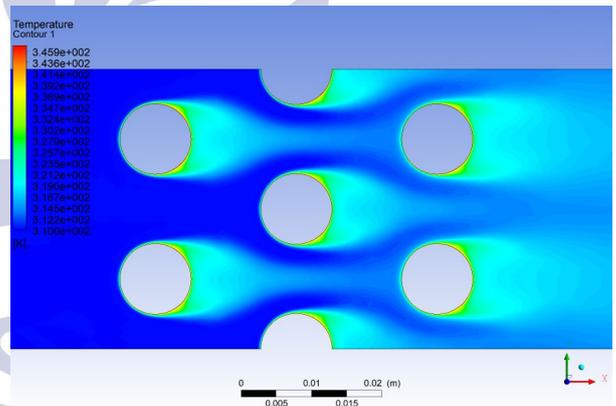
Gambar 16. Grafik *Nusselt number* untuk varian tube banks



Gambar 17. Grafik *Heat Rate* (q') untuk varian tube banks

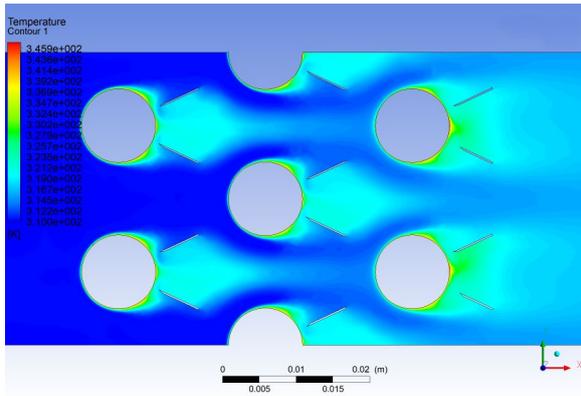
2. Perubahan Temperatur

Selain itu, dengan penambahan vortex generator terdapat perubahan yang sangat signifikan terhadap perubahan temperatur yang disebabkan oleh aliran distribusi fluida yang tentunya juga pengaturan sudut kemiringan pada vortex generator sangat berpengaruh pada hal tersebut. Seperti yang terlihat pada kontur temperature di bawah ini.

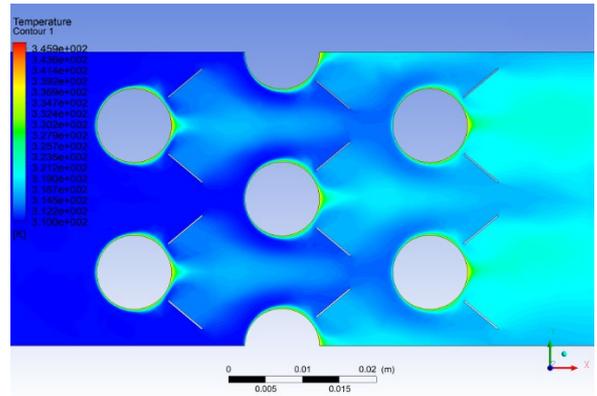


Gambar 18. Kontur temperatur untuk varian tube banks tanpa *vortex generator*

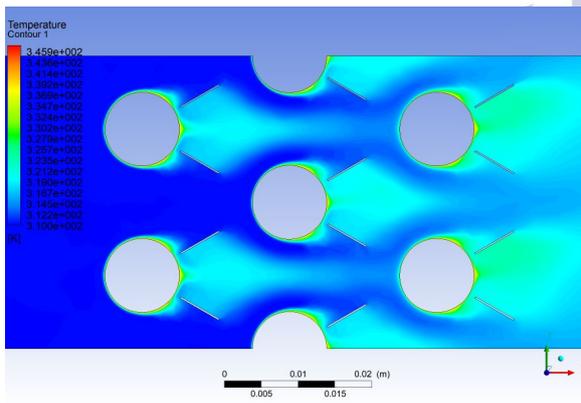
Setelah ditambahkan vortex generator, maka proses perpindahan panas pada fluida yang masuk pertama kali melalui inlet lalu menuju wall dari setiap tube menjadi terlihat merata. Namun, fenomena perpindahan panas terbesar terjadi pada varian vortex generator bersudut 45°. Hal ini diakibatkan oleh terjadinya blockage atau terhalangnya fluida yang akan melalui outlet sehingga proses perpindahan panas juga terjadi semakin besar.



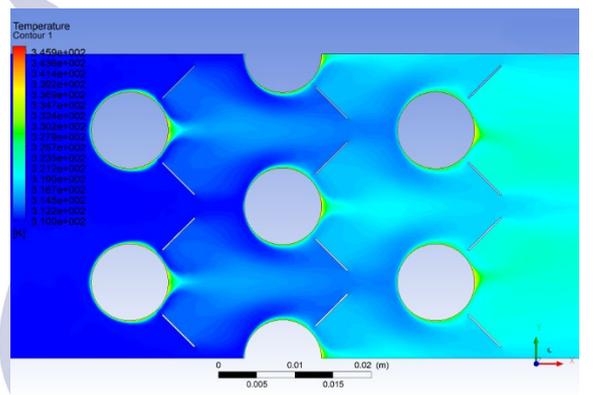
Gambar 19. Kontur temperatur untuk varian tube banks dengan *vortex generator* sudut 25°



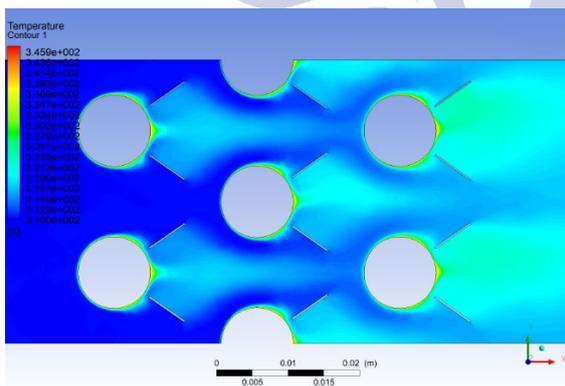
Gambar 22. Kontur temperatur untuk varian tube banks dengan *vortex generator* sudut 40°



Gambar 20. Kontur temperatur untuk varian tube banks dengan *vortex generator* sudut 30°



Gambar 23. Kontur temperatur untuk varian tube banks dengan *vortex generator* sudut 45°



Gambar 21. Kontur temperatur untuk varian tube banks dengan *vortex generator* sudut 35°

PENUTUP

A. Simpulan

Melalui penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada seluruh varian tube banks dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tampilan kontur kecepatan pada varian tube banks tanpa vortex generator menunjukkan bahwa aliran fluida yang melalui silinder-silinder tube banks tidak terdistribusi dengan rata. Setelah ditambahkan vortex generator dengan sudut kemiringan 25° tampilan aliran fluida menjadi terlihat lebih baik. Namun hasil ini hanya berlaku untuk tube banks dengan penambahan vortex generator bersudut miring rendah, sedangkan untuk varian dengan vortex generator yang memiliki sudut kemiringan tertinggi seperti misalnya 45°, aliran fluida malah tertahan oleh vortex generator itu sendiri.
2. Berdasarkan grafik yang telah dijabarkan di Bab sebelumnya, kalor rata-rata dan angka Nusselt pada tube banks dengan *vortex generator* bersudut kemiringan 25° memiliki nilai terendah, dan untuk varian vortex generator dengan sudut kemiringan yang lebih besar mulai terjadi peningkatan hingga mencapai varian 40°. Pada varian 45° terjadi

penurunan nilai secara drastis, seperti yang terjadi pada varian 25° sebelumnya.

3. Pada kontur temperatur, fluida yang melalui tube banks tidak terdistribusi secara merata, sehingga suhu yang melalui outlet menjadi sangat rendah. Setelah ditambahkan vortex generator, fluida dapat mengalir melalui tube banks dengan lebih baik sehingga temperature fluida yang melalui outlet menjadi lebih tinggi. Dan tampilan kontur temperatur terbaik berada pada tube banks dengan vortex generator besudut 40° . Proses perpindahan panasnya aliran fluida terlihat sempurna, tanpa adanya blockage.

B. Saran

Dengan kesimpulan yang telah dijabarkan sebelumnya, penulis dapat mengambil saran sebagai berikut:

1. Penulis dapat mempertimbangkan kembali desain dari vortex generator itu sendiri, mulai dari dimensi seperti panjang-lebar hingga jarak peletakan dan sudut kemiringannya.
2. Jenis fluida yang digunakan juga dapat berpengaruh besar terhadap hasil akhir dari penelitian ini, dan tidak menutup kemungkinan bahwa hasilnya bisa saja berbanding terbalik dengan hasil penelitian yang sekarang.
3. Variable lainnya seperti kecepatan fluida yang masuk atau suhu pada inlet dan tube banks sendiri juga dapat dirubah yang nantinya dapat berpengaruh pada hasil akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Arinta Fanny, Hastama. 2014. "Studi Numerik Pengaruh Panjang *Rectangular Obstacle* terhadap Perpindahan Panas pada *Staggered Tube Banks*". Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ghazanfari, Seyed Alireza. 2018. "Heat Transfer Enhancement and Pressure Drop For Fin-and-Tube Compact Heat Exchangers with Delta Winglet-Type Vortex Generators". Series: Mechanical Engineering Vol. 16, No 2
- Hanifan, Miftakh Fadhil. 2017. "Analisis Pengaruh Vortex Generator Tipe Rectangular Winglet pada Desain Heat Exchanger Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Incropera, Frank P. and Adrienne S. Lavine. 2008. "Fundamental of Heat and Mass Transfer Seventh Edition". United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Kamel, Mohammed Saad. 2016. "Heat Transfer Enhancement and Fluid Flow across Tube Banks Heat Exchanger with Passive Control Technique

by Using Vortex Generator". Southern Technical University, Al-Nassiriyah Technical Institute.

- Khotimah, Chusnul. 2016. "Analisis Variasi Susunan Pipa pada Desain Economizer dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mirzakhalanlari, Soroush. 2015. "Numerical Investigation of Natural Convection Heat Transfer on Aligned Arrangement Tube Banks". International Conference on Computational Heat and Mass Transfer.
- Romandoni, Nanang. 2017. "Studi numerik Pengaruh Radial Distance Rectangular Obstacle pada Tube Banks Fin heat Exchanger Terhadap Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas". Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE).
- Wang, Yue. 2017. "Simulation and Optimization of Metal-foam Tube Banks for Heat Transfer Enhancement of Exhaust Heat Exchangers". Cardiff, UK: 9th International Conference on Applied Energy.
- Yoo, Seong-Yeon, and Hwa-Kil Kwon. 2007. "A Study on Heat Transfer Characteristics for Staggered Tube Banks in Cross-flow". Journal of Mechanical Science and Technology 21.