**STUDI NUMERIK ANALISA PENGARUH VARIASI LONGITUDINAL DAN TRANSVERSAL PITCH TERHADAP PERFORMA FIN AND TUBE HEAT EXCHANGER**

**Muhamad Safi’i1)\*, Nazaruddin Sinaga Nugroho2), Martha Khoirunnisa3), M. Iqbal Farhan Putra Arya4), Agung Nugroho5), Tabah Priangkoso6), Susanto7), Suheri Kertosenjoyo8), Oktarina Heriyani9), Yafid Effendi 10).**

1\* Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al Qur’an Jwa Tengah di Wonosobo*.*

Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibeber, Kec. Mojotengah, Kab. Wonosobo 56351.

2,3,4 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

5,6 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

Jl. Raya Gunungpati No.KM.15, Nongkosawit, Kec. Gn. Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50224.

7 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Maritim Negeri Indonesia, Semarang.

Jl. Pawiyatan Luhur I, Bendan Duwur, Gajahmungkur, Kota Semarang, Jawa Tengah 50233.

8 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudera, Langsa, Aceh.

Jl, Prof. Dr. Syarief Thayeb, Meurandeh, Langsa Lama, Langsa City, Aceh 24416.

9 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta.

Jl. Limau II No.2, RT.3/RW.3, Kramat Pela, Kec. Kby. Baru, City, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12130.

10 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang.

Jl. Perintis Kemerdekaan I No.33, RT.007/RW.003, Babakan, Cikokol, Kec. Tangerang, Kota Tangerang, Banten 15118

*\*Email : 1\*muhamadsafii17@unsiq.ac.id.*

**Abstrak**

*Fin and tube heat exchanger banyak digunakan dalam sistem pendingin, petrokimia, dan aplikasi HVAC&R karena pembuatannya lebih mudah, konstruksinya sederhana, rendah biaya, dan relatif mudah dalam perawatan menjadikannya salah satu yang paling umum digunakan. Peningkatan kebaikan perpindahan panas pada fin and tube heat exchanger telah banyak di investigasi guna untuk meningkatkan performanya. Riset ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio arah longitudinal dan transversal pitch pada fin and tube heat exchanger terhadap performa termalnya. Metode numerik menggunakan program komputer Computational Fluid Dynamics digunakan pada riset ini. 2 variasi rasio diajukan dalam riset ini yakni variasi untuk arah longitudinal pitch 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) sedangkan arah transversal pitch 11,7; 10,7; 9,7; 8,7; 7,7 (mm) dengan variasi kecepatan aliran fluida 0.5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, dan 3,5 m/s dengan heat flux konstan sebesar 100 W. Hasil terbaik penelitian ini di dapatkan pada variasi rasio arah longitudinal pitch 14,5 mm dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 97,24 W/m²K*, *sedangkan rasio arah transversal pitch sebesar 11,7 mm dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 107,82 W/m²K. Hasil tersebut mengkonfirmasi bahwa variasi rasio arah longitudinal pitch 14,5 mm dan rasio arah transversal pitch sebesar 11,7 mm dapat digunakan untuk aplikasi praktis dan dapat diterapkan secara langsung dilapangan.*

***Kata kunci****: Fin and Tube Heat Exchanger*, *Longitudinal Pitch*, *Transversal Pitch*, Performa.

**PENDAHULUAN**

*Fin and tube heat exchanger* banyak digunakan dalam sistem pendingin, petrokimia, dan aplikasi HVAC&R karena pembuatannya lebih mudah, konstruksinya sederhana, rendah biaya, dan relatif mudah dalam perawatan menjadikannya salah satu yang paling umum digunakan (A. A, Buhiyan, 2016, M. R. Amin, 2016). Peningkatan efisiensi *fin* *and tube* *heat exchanger* dapat dilakukan dengan menginvestigasi proses perpindahan panas dari dan ke aliran fluida di dalamnya (B. Cardenas, 2017). Laju perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan memanipulasi permukaan melalui pemasangan *fin and tube heat exchanger* dengan susunan *longitudinal* dan *transversal*. Pemasangan dapat dilakukan dengan cara *embossing*, *mounting*, atau *punching* (B. Masoumpour, 2021).

Geometri *plain* dan *wavy fin* diteliti untuk meningkatkan kinerja termal dan hirolik pada *finned tube heat exchangers*, hasilnya *wavy fin* memberikan nilai kinerja termal dan hirolik yang sangat baik, terbukti nilai efisiensi dapat ditingkatkan dengan geometri tersebut hingga 8% (H. Nemati, 2015). Susunan *tube inline* dan *stagerred* dikarakterisasi untuk kinerja termal dan hidrolik, hasilnya faktor friksi dapat diturunkan dan faktor colburn dapat ditingkatkan sebesar 21,99% untuk geometri susunan *tube* *stagerred* dan 38,99% untuk geometri susunan *tube* *inline* (C. W. Lu, 2011). Laju aliran massa 0,025 kg/s, 0,05 kg/s, dan 0,275 kg/s divariasikan pada *fin and tube heat exchanger* guna untuk meningkatkan perpindahan panas, hasilnya *pressure drop* dapat diturunkan hingga 98% (D. Taler, 2021). *Cam-shaped tube bundle with staggered arrangement* yang divariasikan *longitudinal pitch ratio*-nya dengan nilai 1,5 dan 2 pada bilangan Reynolds 27000-242500 diteliti dengan hasil bahwa temperatur permukaan dapat diturunkan hingga 78°C dan 85°C (D. Sahel, 2019).

Studi *eksperimen fin and tube heat exchanger* diteliti pada geometri *tube* berbentuk *egg shape* terhadap karakteristik aliran fluida dan perpindahan panasnya. 2 variasi rasio *pitch longitudinal* sebesar 1,5 dan 2 dipertimbangkan pada bilangan Reynolds 27.000-42.500 pada temperature permukaan *tube* 78ºC dan 85ºC. Hasil menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas dan bilangan Nusselt bergantung pada posisi *tube*, akibatnya penurunan tekanan dapat dikurangi hingga 92-93% lebih rendah daripada *tube circle* (H. Bayat, 2014). Studi eksperimen dan numerik pada *fin and tube heat exchanger* dengan *tube* berbentuk *egg shape* diteliti guna untuk meningkatkan kinerja termal pada bilangan Reynolds yang 4.000-5.000. Diketahui variasi rasio *tube ε* = 1, 1,5, 2, 3, 4, dan 5 diteliti. Hasilnya nilai *Performance Evaluation Criteria* (PEC) dapat meningkat sebesar 10%.

Studi eksperimen pada *fin and tube heat exchanger* dengan geometri *tube* berbentuk *helical insert* diteliti dengan variasi bilangan Reynolds antara 2000-8000, hasilnya bilangan Nusselt dapat ditingkatkan sebesar 30% (M. R. Saleem, 2018). *Fin and tube heat exchanger* dengan bentuk *tube elips* disertai lubang *fin* berbentuk kotak, segitiga, dan lingkaran diteliti dengan metode eksperimen dan numerik untuk mencari desain *fin and tube heat exchanger* yang paling optimal pada bilangan Reynolds antara 2000-18.000. Hasilnya bilangan Nusselt dapat ditingkatkan pada geometri *tube* dengan *fin* berlubang segitiga, diketahui bilangan Nusselt berkisar antara 180-200 (M. H. Zaidan, 2018). *Fin and tube heat exchanger* dengan variasi *tube eccentricity inner pipe* dikarakterisasi terkait kebaikan perpindahan panasnya. Studi numerik dilakukan atas pertimbangan data eksperimen, parameter Rpm pompa di variasikan antara 100, 200. 300, 400, 500 Rpm. Hasilnya kebaikan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan variasi Rpm pompa 500 dengan peningkatan kebaikan perpindahan panas sebesar 53% (M. A. M. Ali, 2018).

Singkatnya, sudah banyak penelitian yang dikembangkan pada *fin* *and tube heat exchanger* baik eksperimen maupun numerik untuk mengetahui peningkatan perpindahan panas dengan variasi geometri seperti *tube* bentuk *circle*, *oval, egg shape*, susunan *tube* *in line*, *stagerred*, kecepatan aliran fluida, *heat flux* dan lainnya, namun belum ada penelitian dengan metode numerik menggunakan program komputer *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada *fin and tube heat exchanger* dengan bentuk *tube* elips. Variasi aspek rasio *fin* *and tube heat exchanger* arah *tube* *longitudinal pitch* sebesar 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) dan rasio arah *tube* *transversal* *pitch* 11,7; 10,7; 9,7; 8,7; 7,7 (mm) di usulkan pada variasi kecepatan aliran fluida sebesar 0.5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, dan 3,5 m/s dengan *heat flux* konstan sebesar 100 W pada riset ini. Untuk itu maka dilakukan penelitian pada *fin and tube heat exchanger* dengan bentuk *tube* elips terhadap aspek rasio *tube* arah *longitudinal* dan *transversal* guna mempelajari kebaikan perpindahan panas, performa termal, dan hidrolik *fin and tube heat exchanger* yang baik secara numerik dengan memilih *k-ω* *Standard* sebagai model turbulensi.

**METODE**

**Model Fisik**

Gambar 1 menunjukkan geometri *fin and tube heat exchanger* yangdigambar dengan Program Komputer *Solidworks* yang mengacu pada literature (A. A, Buhiyan, 2016). Kemudian kami mengusulkan kebaruan dalam riset ini yakni variasi rasio untuk *longitudinal pitch* 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) sedangkan rasio *transversal pitch* 11,7; 10,7; 9,7; 8,7; 7,7 (mm) pada variasi kecepatan aliran fluida sebesar 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, dan 3,5 m/s dengan *heat flux* konstan sebesar 100 W.

**Material**

Paduan *aluminium alloy* 6061 digunakan untuk modul *fin and tube heat exchanger*, dan konduktivitas termal diasumsikan *k* = 168 (W/m.K).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Gambar 1. Geometri *Fin and Tube Heat Exchanger.*

**STUDI NUMERIK**

**Domain Komputasi**

Gambar 2 menjelaskan penentuan kondisi batas analisis numerik aliran fase tunggal melalui *fin and tube heat exchanger* yang dilakukan dengan keadaan *steady*. Domain komputasi ditetapkan dengan ukuran 28,8 x 1,96 mm untuk *domain air inlet* dan 216,6 mm x 1,96 mm untuk *domain air outlet*. Domain komputasi dibagi menjadi tiga bagian yaitu *up stream region*, *test section*, dan *down stream region*. Bagian *up stream region* bertujuan agar udara yang akan masuk ke bagian *test section* adalah seragam. Kemudian udara memasuki bagian *test section* yang terdiri dari dua baris *tube* dengan geometri elips dengan susunan *longitudinal* maupun *transversal*. Setelah udara melewati bagian *test section*, udara melewati bagian *down stream* region yang berfungsi untuk mencegah adanya aliran balik ke bagian *test section*.

Up stream

Down stream

Air inlet

Air outlet

Tube

Test section

Symmetry wall

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

**Gambar 2. Domain Komputasi *Fin and Tube Heat Exchanger.***

Jaring komputasi yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 3, sebuah teknik berbasis volume kontrol digunakan untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur skema *first order upwind* untuk akurasi perhitungan lebih tinggi. Domain komputasi didiskritisasi dengan *grid tetrahedral* terstruktur penuh dan resolusi tinggi didaerah dekat dinding untuk menangkap efek lapisan batas termal dan hidrolik lebih akurat.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

**Gambar 3. Struktur *Mesh* Tetrahedral pada *Fin and Tube Heat Exchanger.***

Persamaan kontinuitas, momentum dan energi untuk studi numerik pada OFHS dengan metode konveksi bebas ditunjukkan oleh:

Persamaan kontinuitas:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Persamaan momentum dari komponen kecepatan *u*, *v*, dan *w* adalah sebagai berikut:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Persamaan energi:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

**Uji *Grid Independent***

*Grid* *Independent* dilakukan untuk mencari jumlah *grid* yang paling optimum untuk analiasa pengaruh variasi *longitudinal* *pitch* dan *transversal pitch* terhadap performa *fin and tube heat exchanger*, hasilnya pada proses ini didapatkan beberapa ukuran *mesh* dengan ukuran *element size* bervariasi yakni 157653, 257892, dan 358456. Hasil uji *grid* disajikan dalam Gambar 4 Hubungan antara nomor *grid* dan nilai Colburn Factor, J. Perhitungan pada studi numerik dalam uji *grid* menunjukkan kesalahan relatif antara *grid* 157653 dengan 257892 adalah ±3% dengan nilai Colburn Factor, J sebesar 0,0061, 257892 dengan 358456 adalah ±1% dengan nilai Colburn Factor, J sebesar 0,0065.

**Gambar 4. Grafik Uji Grid*.***

**Reduksi Data Numerik**

Kondisi operasi pada *fin and tube heat exchanger* saat studi numerik didasarkan didasarkan atas studi eksperimen dari (A. A, Buhiyan, 2016). Dalam riset ini kami mengasumsikan bahwa panas spesifik didefinisikan sebagai suatu sampel zat dibagi dengan massa sampel sehingga didapat persamaan:

|  |  |
| --- | --- |
| *Cp* | (6) |

Dimana Pin adalah *pressure inlet*, dan untuk *heat flux* dihitung dengan menggunakan persamaan:

|  |  |
| --- | --- |
| *= ρ.U.Ac.c* | (7) |

*Lograritmic Mean Temperature Different* didefinisikan dengan persamaan:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Koefisien perpindahan panas lokal dipertimbangkan berdasarkan masukan *heat flux* dan hasil perhitungan LMTD pada *fin and tube heat exchanger*, sehingga koefisien perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

Nilai koefisien perpindahan panas lokal dapat dikorelasikan untuk menghitung nilai Bilangan Nusselt, sehingga:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Faktor friksi dan colburn factor dihitung dengan persamaan:

|  |  |
| --- | --- |
| *f* | (11) |

|  |  |
| --- | --- |
| *j =* | (12) |

Persamaan perpindahan panas per unit fan:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

# HASIL DAN PEMBAHASAN

**Validasi**

Validasi dilakukan melalui pendekatan numerik terhadap eksperimen yang dilakukan literature (A. A. Buhiyan, 2016) pada spesimen *fin and tube heat exchanger* dengan metode konveksi paksa, parameter yang ingin dicari dalam penelitian ini adalah parameter temperatur permukaan *tube* guna untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas, bilangan Nusselt, dan faktor Colburn pada *fin and tube heat exchanger* yang baru diusulkan. Validasi dilakukan dengan membandingkan antara variasi jumlah *grid* terhadap nilai faktor Colburn dari *fin and tube heat exchanger*.

**Gambar 4. Hubungan antara Bilangan Reynolds Terhadap Colburn Factor, J.**.

Hasil validasi disajikan dalam Gambar 4 hubungan antara bilangan Reynolds terhadap nilai faktor Colburn, pada grafik tersebut diketahui hasil eksperimen yang dilakukan oleh literatur (A. A. Buhiyan, 2016) pada *fin and tube heat exchanger* diperoleh nilai faktor Colburn sebesar 0,0092 sedangkan nilai faktor Colburn yang sedang dipelajari diperoleh nilai 0,0094 pada bilangan Reynolds 1300. Perbandingan hasil numerik dengan metode konveksi paksa pada *fin and tube heat exchanger* terhadap eksperimen dari literature ditinjau dari nilai faktor Colburn memiliki kesalahan relatif terbesar adalah 0,9%. Hasil validasi menunjukkan kesalahan relatif terbesar dengan nilai 1,1% dengan nilai faktor Colburn 0,0078 pada bilangan Reynolds 1650. Hasil tersebut menunjukkan adanya kesepakatan yang baik antara eksperimen dari literature (A. A. Buhiyan, 2016) terhadap studi numerik yang sedang divalidasi.

**Pengaruh Variasi *Longitudinal* dan *Transversal Pitch* Terhadap Karakteristik Aliran Fluida**

Pada dasarnya analisa pengaruh variasi *longitudinal* dan *transversal pitch* terhadap performa *fin and tube heat exchanger* dimulai dari udara yang masuk melalui *air inlet* pada *domain up stream* dengan vaeriasi laju aliran udara antara 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, dan 3,5 m/s yang kemudian udara tersebut bekerja mendinginkan *tube* pada *test section* dan perlahan udara keluar menuju saluran air *outlet* pada *domain down stream*.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 5. *Velocity Streamline Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Longitudinal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s.**

Pada Gambar 5 dan 6 menjelaskan kontur *velocity streamline fin and tube heat exchanger* dengan geometri *Longitudinal* pada variasi rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju aliran 3,5 m/s*.* Gambartersebut nampak separasi aliran pada masing-masing geometri. Geometri *transversal* terlihat mempunyai *wake region* yang lebih dominan dibandingkan geometri *longitudinal*. Adanya *wake region* yang lebih luas menyebabkan perpindahan panas antara fluida dingin dan panas tidak terdistribusi dengan baik. Kecepatan maksimum ditunjukkan pada geometri *longitudinal* dengan nilai minimum sebesar 7,018 m/s. Hal ini terindikasi karena adanya variasi rasio geometri dan memungkinkan memberikan efek *swirl* *flow* lebih tinggi.

Geometri *tube* pada *fin and tube heat exchanger* memungkinkan aliran udara mengalami hambatan, hambatan tersebut mengakibatkan timbulnya *vortex*-*vortex* disekitar *tube*. *Vortex-vortex* tersebut ada kemungkinan dapat dikatakan sebagai *reverse flow* pada saat simulasi, namun anehnya dibalik fenomena tersebut mengakibatkan peningkatan lapisan batas termal dan hidrolik disekitar *tube* yangmemungkinkan pendinginan pada *tube* lebih merata. Besaran laju aliran udara yang terjadi saat melewati *domain test section* jika dilihat dari Gambar 5 dan 6 mempunyai nilai rata-rata sekitar 5,264 m/s, sedangkan pada *domain up stream* besaran nilai laju aliran rata-rata sekitar 1,755 m/s dan *down* *stream* 3,509 m/s.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 6. *Velocity Streamline Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Transversal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s*.***

**Pengaruh Variasi *Longitudinal* dan *Transversal Pitch* Terhadap Koefisien Perpindahan Panas.**

Optimasi *fin and tube heat exchanger* dengan variasi parameter geometri pada susunan *tube* *longitudinal pitch* dengan perbandinagn rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) dan *transversal* *pitch* 11,7; 10,7; 9,7; 8,7; 7,7 (mm) diteliti pada variasi kecepatan masuk mulai dari 0.5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, dan 3,5 m/s untuk mengetahui kinerja termal dan hidrolik dari *fin and tube heat exchanger*, sehingga kami akan menelitinya lebih lanjut topik tersebut. Nilai koefisien perpindahan panas mempunyai hubungan yang kuat dengan temperature permukaan *test section* pada *fin and tube heat exchanger.* Perhitungan nilai koefisien perpindahan panas dihitung berdasarkan nilai rata-rata pada temperature permukaan *test section* pada *fin and tube heat exchanger* saat *test section* dalam keadaan tunak*,* hal itu dikarenakan temperatur rata-rata *test* *section* menjadi rata*.*

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 7. Kontur Temperatur *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Longitudinal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s*.***

Variasi laju aliran fluidadan susunan *tube longitudinal* dan *transversal* memainkan peran penting dalam proses pendinginan pada *fin and tube heat exchanger*. Pertemuan udara baru dan udara didekat dinding *tube* yang ditimbulkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan mempunyai kemampuan yang signifikan untuk meningkatkan laju perpindahan panas, hal tersebut membuat temperature dibagian *test section* cenderung seragam. Namun anehnya dengan adanya variasi perbandingan rasio antara rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) dan *transversal* *pitch* 11,7; 10,7; 9,7; 8,7; 7,7 (mm) memiliki perbedaan temperature yang kecil, hal itu mungkin karena adanya dimensi ukuran yang cenderung sama.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 8. Kontur Temperatur *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Transversal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s*.***

Gambar 7 dan 8 kontur temperatur *fin and tube heat exchanger* dengan geometri *longitudinal* dan *transversal* variasi rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada laju aliran 3.5 m/s*.* Lapisan batas termal pada gambar kontur *fin and tube heat exchanger* pada rasio 18;05 terlihat memanjang menuju saluran *down stream*, ada kemungkinan laju aliran melambat karena adanya hambatan geometri *tube*. Hal itu mengakibatkan laju perpindahan panas menjadi kurang bagus, berbeda halnya dengan rasio 14;05 terlihat kontur temperatur memendek menuju saluran *down stream*, ada kemungkinan laju aliran sangat kecil akibat adanya perbedaan ukuran rasio geometri *tube*.

Gambar 9 dan 10 adalah Grafik hubunganbilangan Reynolds terhadap hasil simulasi berupa parameter koefisien perpindahan panas pada *Fin and Tube Heat Exchanger*. Fluktuasi temperatur yang terjadi pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan variasi *Transversal*, hal itu disebabkan oleh tekanan udara masuk yang kurang. Udara cenderung beralih secara cepat menuju lintasan celah saluran *outlet* yang dapat mempengaruhi temperatur permukaan *tube*. Terbukti pada Gambar 8 yang menunjukkan temperature *test section* pada *Fin and Tube Heat Exchanger* rata-rata sebesar 26,94°C dengan nilai koefisien perpindahan panas maksimal sebesar 97,24 W/m²K.

**Gambar 9. Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Nilai Koefisien Perpindhan Panas Pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Susunan *Tube Longitudinal*.**

Sedangkan pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan variasi *Longitudinal* temperatur hampir seragam dengan karena efek dari besarnya aliran udara yang masuk. Temperatur rata-rata permukaan *Fin and Tube Heat Exchanger* tersebut berkisar antara 26,90°C dengan nilai koefisien perpindahan panas maksimal sebesar 107,82 W/m²K. Hasil tersebut memungkinkan bahwa desain *Fin and Tube Heat Exchanger* dapat digunakan untuk aplikasi praktis pada perangkat mesin.

**Gambar 10. Grafik Hubungan Bilangan Reynolds Terhadap Nilai Koefisien Perpindhan Panas Pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Susunan *Tube* *Transversal*.**

**Pengaruh Variasi *Longitudinal* dan *Transversal Pitch* Terhadap *Pressure Drop*.**

Pada parameter *longitudinal pitch* dengan variasi 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) diperoleh penurunan terhadap *pressure drop*, hal ini sama seperti penelitian yang dilakukan Marwa A.M. Ali et al 2018. Penurunan *pressure drop* dapat terlihat pada kecepatan masuk sebesar 0,5 m /s yang mana terjadi penurunan 31,88% untuk variasi 18,05 mm; 34,61% untuk variasi 17,05 mm ; 36,75% untuk variasi 16,05 mm; 33,30% untuk variasi 15,05 mm dan 41,46% untuk variasi 14,05 mm. Penurunan ini dihitung berdasarkan hasil validasi sebagai pembanding. Gambar 11 dan 12 menjelaskan kontur distribusi tekanan pada spesimen uji *Fin and Tube Heat Exchanger*. Tekanan udara pada *Fin and Tube Heat Exchanger* cenderung menuriun ketika adanya geometri *tube.* Adanya nilai penurunan pada kerapatanmassa pada *Fin and Tube Heat Exchanger* juga diketahui dapat menurunkan tekanan.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 11. Kontur Distribusi Tekanan *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Longitudinal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s*.***

Pada spesimen *Fin and Tube Heat Exchanger* baik geometri *longitudinal* maupun *transversal* umumnya memiliki nilai distribusi tekanan tertinggi di area inlet yang masing-masing mempunyai nilai maksimal 67,85 Pa pada geometri *longitudinal* dan87,82 Pa pada geometri *transversal.* Nilai distribusi tekanan cenderung menurun setelah melewati geometri *tube* sehingga memungkinkan pendinginan pada *tube* lebih maksimal*.*

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Gambar 12. Kontur Distribusi Tekanan *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Geometri *Transversal* Variasi Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju Aliran 3,5 m/s*.***

Besaran rasio ukuran pada geometri *Fin and Tube Heat Exchanger* memungkinkan terjadinya penurunan tekanan, Gambar13 dan 14 menunjukkanHubungan Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Susunan *Tube* *Longitudinal* dan *Transversal.* Namun anehnya dengan adanya perbedaan geometri *transversal* dan *longitudinal* menyebabkan berkurangnya sifat turbulensi dan menyebabkan gesekan-gesekan antara fluida udara dengan spesimen *Fin and Tube Heat Exchanger,* hal tersebut memungkjinkan adanya perbedaan nilai perbedaan tekanan pada *Fin and Tube Heat Exchanger.*

**Gambar 13. Grafik Hubungan Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Susunan *Tube* *Longitudinal*.**

Besarnya penurunan tekanan juga dipengaruhi oleh belokan pipa *tube* dengan radius 12 mm baik geometri *transversal* maupun *longitudinal*. Nilai maksimal penurunan tekanan tersebut 13,54 Pa pada *Fin and Tube Heat Exchanger* geometri *transversal* dan 13,24 Pa pada geometri *longitudinal*.

**Gambar 13. Grafik Hubungan Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada *Fin and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Susunan *Tube* *Transversal*.**

**KESIMPULAN**

Studi numerik pada *fin and tube heat exchanger* dengan variasi yang di usulkanberupa aspek rasio atah *longitudinal* dan *transversal* mengakibatkan adanya sparasi aliran disekitar spesimen *fin and tube heat exchanger* sehingga menyebabkan adanya *wake* dan *vortex-vortex* di sekitar *tube*, fenomena tersebut memvalidasi perbedaan geometri antara *transversal* dan *longitudinal*. Hasil terbaik penelitian ini di dapatkan pada variasi rasio arah *longitudinal pitch* 14,5 mm dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 97,24 W/m²K, sedangkan rasio arah *transversal pitch* sebesar 11,7 mm dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 107,82 W/m²K. Hasil tersebut mengkonfirmasi bahwa variasi rasio arah *longitudinal pitch* 14,5 mm dan rasio arah transversal pitch sebesar 11,7 mm dapat digunakan untuk aplikasi praktis dan dapat diterapkan secara langsung dilapangan.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI). Gedung C Lantai 13 Jl. Jenderal Sudirman Senayan, Jakarta Pusat 10270.

Laboratorium Efisiensi dan Konservasi Energi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Jl. Prof. Sudarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah (50275), Indonesia.

Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sains Al Qur’an Jawa Tengah di Wonosobo. Jl. KH. Abdurrahman Wahid KM. 03, Krasak, Kec. Mojotengah, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah 56351.

**DAFTAR PUSTAKA**

A. A. Bhuiyan, A.K.M. S. Islam., (2016). “*Thermal and Hydraulic Performance of Finned-Tube Heat Exchangers Under Different Flow Ranges: A Review on Modeling and Experiment*”. International Journal of Heat and Mass Transfer, 101:38-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.022>.

A. A. Bhuiyan, M. R. Amin, A. K. M. S. Islam, (2013). “*Three-Dimensional Performance Analysis of Plain Fin Tube Heat Exchangers in Transitional Regime*”, Applied Thermal Engineering. Vol. 50. PP. 445-454. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.07.034>.

B. Cárdenas, S.D. Garvey, B. Kantharaj, M.C. Simpson, (2017). “*Gas-to-gas Heat Exchanger Design for High Performance Thermal Energy Storage*”. Journal of Energy Storage 101, Vol. 14:3 PP. 11-321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2017.03.004>.

B. Masoumpour, M. Ataeizadeh, H. Hajabdollahi, M. S. Dehaj, (2021). “*Performance Evaluation of a Shell and Tube Heat Exchanger with Recovery of Mass Flow Rate*”. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. Vol. 000. PP. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.05.022>.

B. Hamidreza, L. A. Mirabdolah, M. Taher, (2014). “*Experimental Study of Thermal Hydraulic Performance of Cam Shaped Tube Bundle With Staggered Arrangement*”. Energy Conversion and Management, Vol. 85. PP. 470-476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.009>.

C. W. Lu, J. M. Huang, W.C. Nien, C. C. Wang. (2011). “*A Numerical Investigation of The Geometric Effects on the Performance of Plate Finned-tube Heat Exchanger*”, Energy Conversion and Management, Vol. 52: PP. 1638-1643. <http://doi:10.1016/j.enconman.2010.10.026>.

D. Taler, J. Taler, K. Wrona, (2021). “*New Analytical Numerical Method for Modelling of Tube Cross Flow Heat Exchangers with Complex Flow Systems*”. Energy, Vol. 228 No. 120633. PP. 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120633>.

D. Sahel, H. Ameur, W. Boudaud, (2019). “*A New Correlation for Predicting the Hydrothermal Characteristics Over Flat Tube Banks*”. Journal of Mechanical and Energy Engineering, Vol. 3. No. (43):3. PP. 273.280. <https://doi:10.30464/jmee.2019.3.3.273>.

G, M. Zhang, X. Leng, N. Zhou, Y. P. Shi, L. Li. (2015). “*Flow and Heat Transfer Characteristics Around Egg-shaped Tube*”. Journal of Hydrodynamics, Vol. 27. No. (1) PP. 76-84. <https://doi:10.1016/S1001-6058(15)60458-9>.

H. Bayat, B. Hamidreza, L. A. Mirabdolah, M. Taher, (2014), “*Experimental study of thermal–hydraulic performance of cam-shaped tube bundle with staggered arrangement*”. Energy Conversion and Management, Vol. 85 No. 2. PP.470-476. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.009>.

H. Nemati, S. Samivand, (2015). “*Performance optimization of annular elliptical ﬁn based on thermo-geometric parameters*”. Alexandria Engineering Journal, Vol. 54. No. -. PP. 1037-1042. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.016>.

M. R. Salem, M.B. Eltoukhey, R.K. Ali, K.M. Elshazly, (2018). “*Experimental investigation on the Hydrothermal Performance of a Doublepipe Heat Exchanger Using Helical Tape Insert*”, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 124. No. 1. PP. 496-507. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.10.040>.

M. H. Zaidan, A. A. R. Alkumait, T. K. Ibrahim, (2018) “*Assessment of Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics Within Finned Fat Tube*”, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 12. No. 124. PP. 557-562. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.07.006>.

M. A.M. Ali, W. M. El-Maghlany, Y. A. Eldrainy, A. Attia, (2018). “*Heat Transfer Enhancement of Double Pipe Heat Exchanger Using Rotating of Variable Eccentricity Inner Pipe*”, Alexandria Engineering Journal, Vol. 57. No. 1110. PP. 3709-3725. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.03.003>.