

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

Muhamad Safi'i^{1*}, Nazaruddin Sinaga², Martha Khoirunnisa³, M. Iqbal Farhan Putra Arya⁴, Agung Nugroho⁵, Tabah Priangkoso⁶, Susanto⁷, Suheri Suheri⁸, Oktarina Heriyani⁹, Yafid Effendi¹⁰.

^{1*} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo.

Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibeper, 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. Kebayoran 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 (FTHE) 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 FTHE telah banyak di investigasi guna untuk meningkatkan performanya. Riset ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio arah longitudinal dan transversal pitch pada FTHE terhadap performa termalnya dengan menggunakan aplikasi Fluent pada program komputer Computational Fluid Dynamics. 2 variasi desain FTHE berupa rasio arah longitudinal dan arah transversal pitch di berbagai variasi kecepatan aliran fluida dengan heat flux konstan sebesar 100 W diusulkan. Hasil terbaik riset ini di dapatkan bahwa variasi rasio arah longitudinal pitch 14,5 mm dengan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 97,24 W/m²K, sedangkan rasio arah transversal pitch 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 transversal pitch 11,7 mm dapat digunakan dan diterapkan untuk aplikasi praktis pada FTHE. Desain tersebut juga memungkinkan dapat dijadikan rekomendasi untuk perancangan dan diterapkan secara langsung di lapangan.

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

PENDAHULUAN

Fin and tube heat exchanger (FTHE) banyak digunakan dalam sistem pendingin, petrokimia, dan aplikasi HVAC&R karena pembuatannya mudah, konstruksinya sederhana,

rendah biaya, dan relatif mudah dalam perawatan menjadikannya salah satu yang paling umum digunakan (A. A, Buhian, 2016, M. R. Amin, 2016). Peningkatan kinerja termal, hidrolik, dan efisiensi FTHE menjadi perhatian

utama (B. Cardenas, 2017). Peningkatan kinerja termal dan hidrolik dapat dilakukan dengan memanipulasi permukaan melalui pemasangan *tube* pada FTHE yang di susunan *longitudinal* dan *transversal* (M. R. Amin, 2016) dan dengan cara *embossing*, *mounting*, atau *punching* (B. Masoumpour, 2021).

Susunan *tube inline* dan *staggered* pada FTHE tipe H diketahui dapat meningkatkan kinerja termal dan hidrolik, hasilnya bilangan Nusselt dapat ditingkatkan sebesar 7% pada susunan *inline* dan 5% pada susunan *staggered* (J. Zhou dkk, 2024). Rasio *duct lengths* sebesar 44,3 m to 48,7 m pada FTHE *air-to-ground heat exchanger* diteliti terhadap efisiensi dan kinerja termalnya dengan metode numerik, hasilnya rasio *duct lengths* 44,3 m to 48,7 m dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja termal sebesar 70% (M. S. S. Efanden dkk, 2024). FTHE dengan *circle tube* yang divariasikan *axial* dan *radial pitch ratio*-nya sebesar 10% mm terbukti dapat menurunkan temperatur permukaan *tube* hingga 2°C, akibatnya efektivitas dapat ditingkatkan sebesar 10% (R. Sartalleri dkk, 2024). Studi eksperimen FTHE dengan *tube* berbentuk *circle* yang di variasikan terhadap 3 bentuk *wedge shape fins* dengan rasio sudut *shape* sebesar 0° dan 60°. Hasil terbaik ditemukan pada *wedge shape fins* dengan rasio sudut *shape* 60° dengan penurunan temperatur substansial sebesar 80% (V. Safari dkk, 2024).

Studi numerik modifikasi bentuk *bow-shaped vortex generators* pada FTHE dengan memvariasikan ketebalan *vortex generator* sebesar 1 mm, 3 mm, dan 5 mm serta model *viscous* saat simulasi terbukti meningkatkan bilangan Nusselt sebesar 8% (Z. Bai dkk, 2024). Bentuk geometri *tube* berbentuk *circle*, *oval*, dan *air foil shape* dengan rasio jarak *wavy fin* sebesar 1,3 mm dan 2,3 mm yang disusun secara *inline* dan *staggered* diteliti terhadap karakteristik aliran fluida dan perpindahan panasnya di berbagai bilangan Reynold. Hasil terbaik ditemukan pada FTHE dengan *tube* berbentuk *circle* dengan rasio jarak *fin* 2,3 mm yang disusun secara *inline* dengan peningkatan bilangan Nusselt 30 hingga 40 (M. Reshaeel, 2024). *Trapezoidal slit fins* di karakterisasi dengan pendekatan numerik. Tinggi *slit fins* sebesar 0,98 mm, 1,225 mm, 1,47 mm, dan 1,715 mm di usulkan. Hasil optimum ditemukan pada FTHE dengan *trapezoidal slit fins* 1,47 mm dengan nilai bilangan Nusselt tertinggi sebesar

70 dan nilai koefisien perpindahan panas sebesar 130 W.m².K (T. Zhang dkk, 2024).

Selain perbedaan rasio pada FTHE, penggunaan material PCM juga dapat digunakan untuk meningkatkan kebaikan perpindahan panas dan efisiensi pada FTHE. (X. Y. Zhang dkk, 2024). PCM A27 dan RT35 digunakan untuk mendinginkan *twisted and straight fins* pada FTHE dengan metode eksperimen dan numerik. Hasil terbaik pada penelitian ini diperoleh pada material PCM RT35 dengan persentase peningkatan kebaikan perpindahan panas sebesar 14% untuk *twisted* dan 40% untuk *straight fins*. Hasil tersebut membuktikan bahwa material PCM RT35 sangat baik untuk di aplikasikan pada FTHE dengan geometri *twisted and straight fins* (M. Boujelbene dkk, 2024).

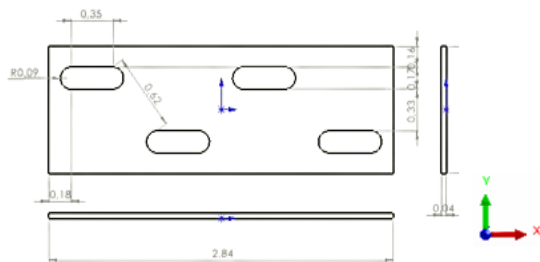
Kecepatan aliran udara sebesar 7 m/s, 8,56 m/s, 9 m/s, dan 10,56 m/s divariasikan pada FTHE guna untuk meningkatkan kebaikan perpindahan panas, hasilnya temperatur permukaan *tube* dapat diturunkan hingga 10°C dan bilangan Nusselt dapat ditingkatkan hingga 7% (J. Zhou dkk, 2024). FTHE variasi *helically coiled copper tube* di karakterisasi terkait kebaikan perpindahan panasnya, material PCM organik digunakan sebagai fluida pendingin. Studi numerik dilakukan atas pertimbangan data eksperimen, parameter Rpm pompa di variasikan, 200 dan 400. Hasilnya temperatur permukaan tube dapat diturunkan sebesar 2° untuk Rpm 200 dan 3,5°C untuk Rpm 400 dengan masing-masing Rpm mempunyai kenaikan nilai koefisien perpindahan panas sekitar 39,6% (A. Aldaghi, 2024).

Sudah banyak penelitian dikembangkan pada FTHE baik eksperimen maupun numerik untuk mengetahui peningkatan perpindahan panas dengan variasi geometri seperti *tube* bentuk *circle*, *oval*, *egg shape*, susunan *tube in line*, *staggered*, rasio geometri, kecepatan aliran fluida, *heat flux* dan lainnya, namun belum ada penelitian metode numerik menggunakan program komputer *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada FTHE dengan bentuk *tube* elips. Variasi aspek rasio FTHE 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, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, dan 3,5 m/s dengan *heat flux* konstan sebesar 100 W pada riset ini. Untuk itu maka dilakukan penelitian pada FTHE dengan bentuk *tube* elips terhadap aspek rasio

tube arah *longitudinal* dan *transversal* guna mempelajari kebaikan perpindahan panas, performa termal, dan hidrolis FTHE yang baik secara numerik dengan memilih *k- ω Standard* sebagai model turbulensi. Desain paling optimal pada riset ini diharapkan dapat dijadikan rekomendasi dan diterapkan untuk aplikasi praktis di lapangan.

METODE PENELITIAN

Model Fisik



Gambar 1. Geometri FTHE.

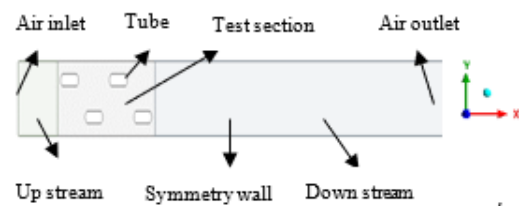
Gambar 1 menunjukkan geometri FTHE yang digambar dengan Program Komputer *SolidWorks* yang mengacu pada literatur (A. A. Buihyan, 2016). Kemudian kami mengusulkan kebaruan dalam riset ini yakni variasi rasio untuk *longitudinal pitch* 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) sedangkan rasio *transversal 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. Geometri *test section* FTHE mempunyai ukuran panjang x lebar x tinggi 72,2 x 25,4 x 1,96 mm.

Material

Paduan *aluminium alloy 6061* digunakan untuk modul FTHE. Konduktivitas termal diasumsikan $k = 168$ (W/m.K). Sifat udara bebas yang berperan sebagai pendingin dengan temperatur 25°C pada studi numerik ini mempunyai properties material densitas $\rho = 1,2096$ kg/m³, spesifik kapasitas panas $C_p = 1005$ J/kg.K, viskositas $\mu = 1,915 \times 10^{-5}$ kg/ms, konduktivitas termal $k = 0,0261$ W/m.K, dan berat molekul 28,966 kg/kmol. Parameter tersebut di input berdasarkan *Ansys database* menu *set up* pada aplikasi *Fluent* di program *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

STUDI NUMERIK

Domain Komputasi



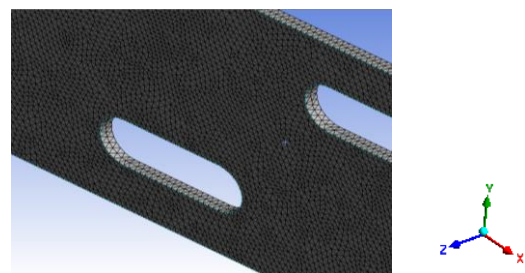
Gambar 2. Domain Komputasi FTHE.

Gambar 2 menjelaskan kondisi batas analisis numerik aliran fase tunggal melalui FTHE yang dilakukan dengan keadaan *steady*. Domain komputasi dibuat pada menu *design modeller* pada aplikasi *Fluent* di program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) ditetapkan dengan ukuran 28,8 x 25,4 x 1,96 mm untuk *domain air inlet* dan 216,6 x 25,4 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*.

Meshing

Jaring komputasi yang digunakan dalam studi numerik ditunjukkan pada Gambar 3, teknik berbasis volume kontrol digunakan untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur skema *first order upwind* untuk akurasi perhitungan lebih tinggi yang dibuat pada menu *meshing*. Domain komputasi didiskritisasi dengan *grid tetrahedral* terstruktur penuh dan resolusi tinggi di daerah dekat dinding untuk menangkap efek lapisan batas termal dan hidrolis lebih akurat.



Gambar 3. Struktur Mesh Tetrahedral pada FTHE.

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

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

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

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

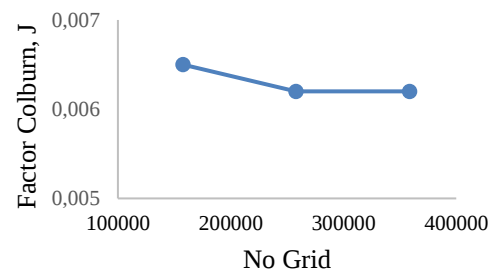
$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Persamaan energi:

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Uji Grid Independent

Grid Independent dilakukan untuk mencari jumlah *grid* yang optimum untuk analisa pengaruh variasi *longitudinal* dan *transversal pitch* terhadap performa termal FTHE, hasilnya pada proses ini didapatkan ukuran *mesh* dengan *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 $\pm 3\%$ dengan nilai Colburn Factor, J sebesar 0,0061, 257892 dengan 358456 adalah $\pm 1\%$ dengan nilai Colburn Factor, J sebesar 0,0065.



Gambar 4. Grafik Uji Grid.

Jumlah *mesh* 358456 digunakan karena pada proses uji *grid independent* ketika variasi jumlah *mesh* ditingkatkan dari 257892 ke 358456 diketahui perbedaan nilai Colburn Factor, J mempunyai selisih nilai sedikit yakni 0,00012, ada kemungkinan jika jumlah *mesh* ditambah dari 358456 ke 400000 nilai Colburn Factor, J hanya bertambah 5% dari nilai 0,00012 bahkan sudah tidak ada perbedaan nilai Colburn Factor, J yang signifikan, sehingga jumlah *mesh* 358456 dinyatakan sebagai jumlah yang optimum.

Asumsi

1. Permukaan bagian tube FTHE dikenai fluks panas yang konstan sebesar 100 W.
2. Kondisi adiabatik, $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$ diterapkan pada dinding udara bagian samping. Kami mengasumsikan pada dinding tersebut tidak ada panas yang masuk maupun keluar (Q dan $T = 0$).
3. Semua dinding diberi kondisi batas non slip. Kami mengasumsikan pada dinding tersebut kecepatan aliran fluida adalah 0.
4. Kondisi konvergensi ditentukan 10^{-4} untuk aliran dan 10^{-7} untuk energi.

Reduksi Data Numerik

Kondisi operasi FTHE saat studi numerik didasarkan atas studi eksperimen dari (A. A, Buihyan, 2016). Dalam riset ini diasumsikan bahwa panas spesifik didefinisikan sebagai suatu sampel zat dibagi dengan massa sampel sehingga didapat persamaan:

$$C_p = \frac{P_{in} - P}{1/2 \rho u_{in}^2} \quad (6)$$

Dimana P_{in} adalah *pressure inlet*, dan untuk *heat flux* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \dot{m}(T - T_{in}) = \rho \cdot U \cdot A_c \cdot c(T - T_{in}) \quad (7)$$

Lograritmic Mean Temperature Different didefinisikan dengan persamaan:

$$LMTD = \frac{((T_{wall} - T) - (T_{wall} - T_{in}))}{\ln\left(\frac{(T_{wall} - T)}{(T_{wall} - T_{in})}\right)} \quad (8)$$

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

$$h = \frac{Q}{A_a \times LMTD} \quad (9)$$

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

$$Nu = \frac{h \cdot H}{k} \quad (10)$$

Faktor friksi dan Colburn Factor, J dihitung dengan persamaan:

$$f = \frac{(P_{in} - P)}{\frac{1}{2} \rho u_{in}^2} \cdot \frac{H}{4L} \quad (11)$$

$$j = \frac{Nu}{Re \cdot Pr^{1/3}} \quad (12)$$

Persamaan perpindahan panas per unit fan:

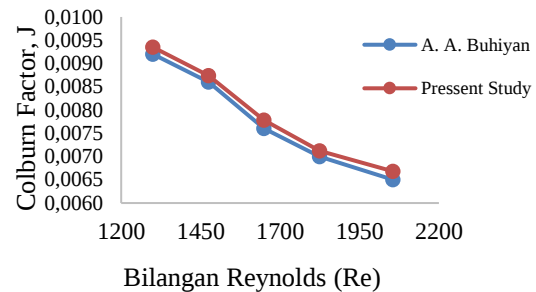
$$Q/P_f = \frac{Q}{\Delta p \times \dot{m}/(\rho \times \eta_f)} \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi

Validasi dilakukan melalui pendekatan numerik terhadap eksperimen yang dilakukan literatur (A. A. Buhiyan, 2016) pada spesimen FTHE 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 Colburn Factor, J pada FTHE yang baru

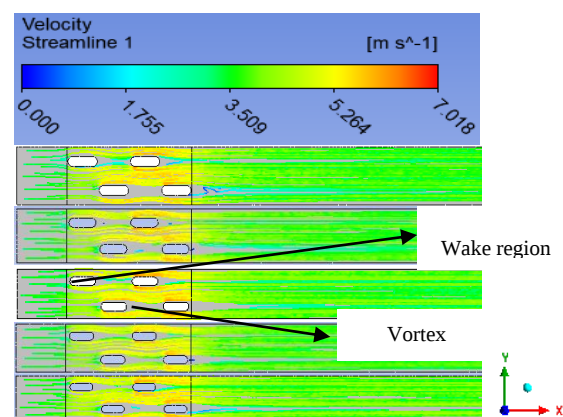
diusulkan. Validasi dilakukan dengan membandingkan antara variasi jumlah *grid* terhadap nilai Colburn Factor, J dari FTHE.



Gambar 4. Hubungan antara Bilangan Reynold Terhadap Colburn Factor, J .

Hasil validasi disajikan dalam Gambar 4 hubungan antara bilangan Reynold terhadap nilai Colburn Factor, J , pada grafik tersebut diketahui hasil eksperimen yang dilakukan oleh literatur (A. A. Buhiyan, 2016) diperoleh nilai Colburn Factor, J sebesar 0,0092 sedangkan nilai Colburn Factor, J yang sedang dipelajari diperoleh nilai 0,0094 pada bilangan Reynold 1300.

Pengaruh Variasi Longitudinal dan Transversal Pitch Terhadap Karakteristik Aliran Fluida

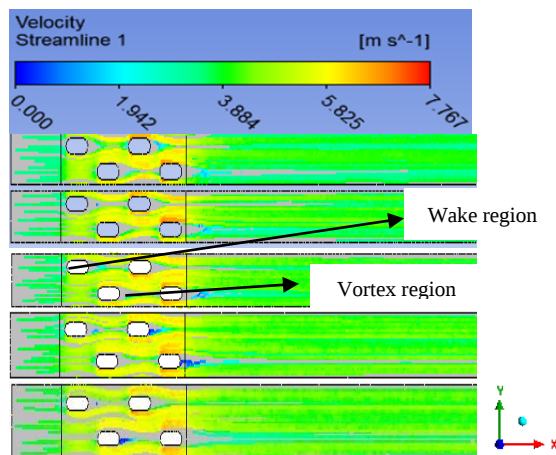


Gambar 5. Kontur Velocity FTHE Longitudinal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada $V = 3,5$ m/s.

Perbandingan hasil numerik dengan metode konveksi paksa pada FTHE terhadap eksperimen dari literatur ditinjau dari nilai Colburn Factor, J memiliki kesalahan relatif (ketidakpastian hasil numerik terhadap eksperimen literatur) terbesar adalah 0,9%. Hasil

validasi menunjukkan kesalahan relatif terbesar dengan nilai 1,1% dengan nilai Colburn Factor, J 0,0078 pada bilangan Reynold 1650. Hasil tersebut menunjukkan adanya kesepakatan yang baik antara eksperimen literatur (A. A. Buiyan, 2016) terhadap studi numerik yang sedang divalidasi.

Pada dasarnya analisa pengaruh variasi *longitudinal* dan *transversal pitch* terhadap performa FTHE dimulai dari udara yang masuk melalui *air inlet* pada *domain up stream* dengan variasi 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*.



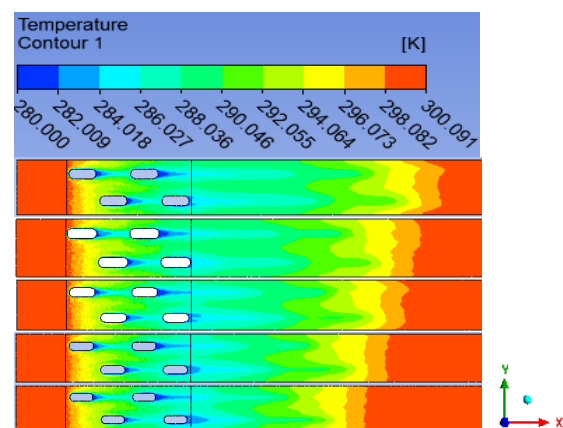
Gambar 6. Kontur Velocity Streamline FTHE Transversal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada $V = 3,5$ m/s.

Geometri *tube* pada FTHE memungkinkan aliran udara mengalami hambatan yang mengakibatkan timbulnya *vortex* di sekitar *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 di sekitar *tube* yang memungkinkan 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.

Pada Gambar 5 dan 6 menjelaskan kontur *velocity streamline* FTHE geometri *Longitudinal* pada variasi rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada Laju aliran 3,5 m/s. Gambar tersebut tampak 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.

Pengaruh Variasi Longitudinal dan Transversal Pitch Terhadap Koefisien Perpindahan Panas.

Optimasi FTHE dengan variasi parameter geometri pada susunan *tube longitudinal pitch* dengan Perbandingan 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 FTHE, sehingga kami akan menelitinya lebih lanjut topik tersebut.

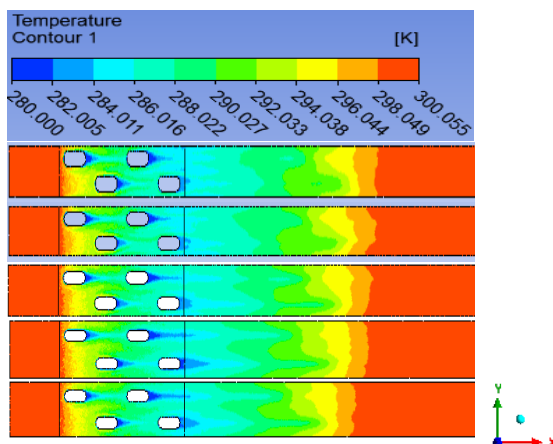


Gambar 7. Kontur Temperatur FTHE Longitudinal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada $V = 3,5$ m/s.

Nilai koefisien perpindahan panas mempunyai hubungan yang kuat dengan temperature permukaan *test section* pada FTHE. Perhitungan nilai koefisien perpindahan panas

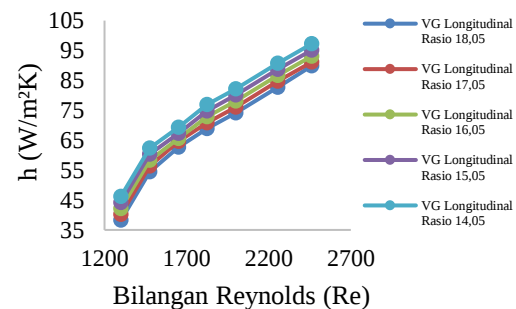
dihitung berdasarkan nilai rata-rata pada temperature permukaan *test section* pada FTHE saat *test section* dalam keadaan tunak, hal itu dikarenakan temperatur rata-rata *test section* menjadi rata.

Variasi laju aliran fluida dan susunan *tube longitudinal* dan *transversal* memainkan peran penting dalam proses pendinginan pada FTHE. Pertemuan udara baru dan udara didekat dinding *tube* yang ditimbulkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan mempunyai kemampuan signifikan untuk meningkatkan laju perpindahan panas, hal tersebut membuat temperature di bagian *test section* cenderung menurun perlahan hingga 10%. 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.



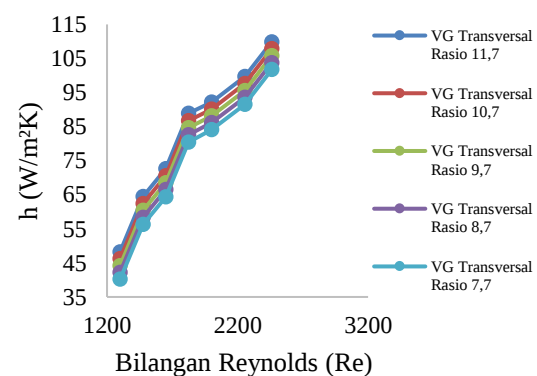
Gambar 8. Kontur Temperatur FTHE Transversal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada $V = 3,5$ m/s.

Gambar 7 dan 8 kontur temperatur FTHE 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 FTHE 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. Grafik Bilangan Reynold Terhadap Koefisien Perpindahan Panas FTHE Longitudinal.

Gambar 9 dan 10 adalah Grafik hubungan bilangan Reynold terhadap hasil simulasi berupa parameter koefisien perpindahan panas pada FTHE. Fluktuasi temperatur yang terjadi pada FTHE 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 FTHE rata-rata sebesar 26,94°C dengan nilai koefisien perpindahan panas maksimal sebesar 97,24 W/m²K.

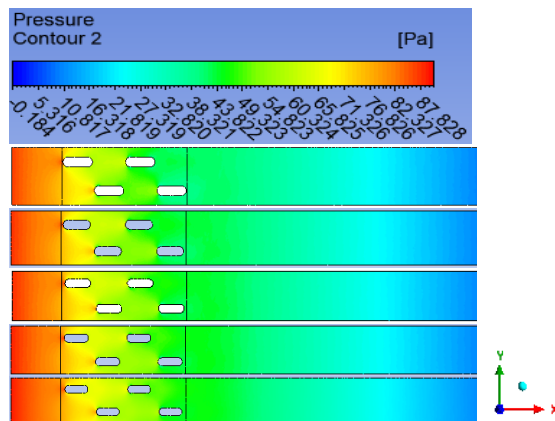


Gambar 10. Grafik Bilangan Reynold Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Pada FTHE Transversal.

Sedangkan pada FTHE dengan variasi *Longitudinal* temperatur hampir seragam dengan karena efek dari besarnya aliran udara yang masuk. Temperatur rata-rata permukaan FTHE tersebut berkisar antara 26,90°C dengan nilai

koefisien perpindahan panas maksimal sebesar 107,82 W/m²K. Hasil tersebut memungkinkan bahwa desain FTHE dapat direkomendasikan dan digunakan untuk aplikasi praktis pada perangkat mesin.

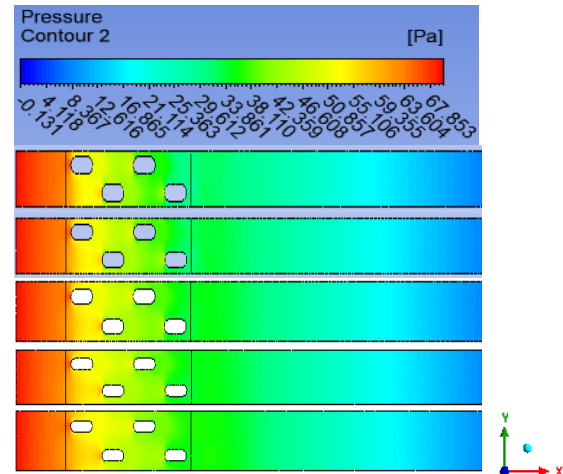
Pengaruh Variasi Longitudinal dan Transversal Pitch Terhadap Pressure Drop.



Gambar 11. Kontur Distribusi Tekanan FTHE Longitudinal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada V = 3,5 m/s.

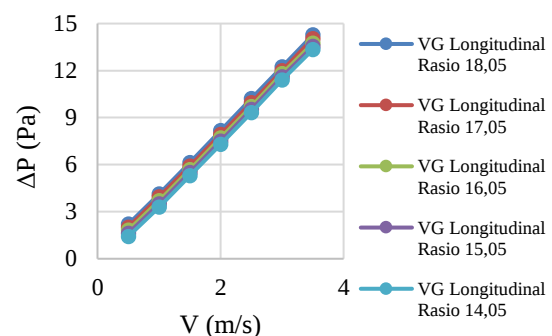
Pada parameter *longitudinal pitch* dengan variasi 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) diperoleh penurunan terhadap *pressure drop*, hal ini sama seperti penelitian yang dilakukan (M. A. M. Ali, 2018). Penurunan *pressure drop* dapat terlihat pada kecepatan masuk sebesar 0,5 m/s yang mana terjadi 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 FTHE. Tekanan udara pada FTHE cenderung menurun ketika adanya geometri *tube*. Adanya nilai penurunan pada kerapatan massa pada FTHE juga diketahui dapat menurunkan tekanan.

Pada spesimen FTHE 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* dan 87,82 Pa pada geometri *transversal*. Nilai distribusi tekanan menurun setelah melewati geometri *tube* sehingga memungkinkan pendinginan pada *tube* lebih maksimal.



Gambar 12. Kontur Distribusi Tekanan FTHE Transversal Rasio 18,05; 17,05; 16,05; 15,05; 14,05 (mm) pada V = 3,5 m/s.

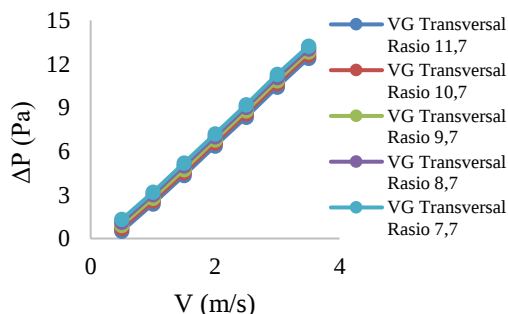
Besaran rasio ukuran pada geometri FTHE memungkinkan terjadinya penurunan tekanan, Gambar 13 dan 14 menunjukkan Hubungan Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada FTHE dengan Variasi Susunan *Tube Longitudinal* dan *Transversal*. Namun anehnya adanya perbedaan geometri *transversal* dan *longitudinal* menyebabkan berkurangnya sifat turbulensi dan menyebabkan gesekan-gesekan antara fluida udara dengan spesimen FTHE, hal tersebut memungkinkan adanya perbedaan nilai perbedaan tekanan pada FTHE.



Gambar 13. Grafik Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada FTHE 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 FTHE geometri *transversal* dan 13,24 Pa pada geometri

longitudinal. Hasil tersebut memungkinkan bahwa desain FTHE dapat direkomendasikan dan digunakan untuk aplikasi praktis pada perangkat mesin.



Gambar 13. Grafik Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Nilai Perbedaan Tekanan Pada FTHE Transversal.

PENUTUP

Kesimpulan

Studi numerik pada FTHE dengan variasi yang di usulkan berupa aspek rasio arah *longitudinal* dan *transversal* mengakibatkan adanya separasi aliran di sekitar spesimen FTHE 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 97,24 W/m²K, sedangkan rasio arah *transversal pitch* 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* 11,7 mm memungkinkan desain FTHE dapat direkomendasikan dan digunakan untuk aplikasi praktis pada perangkat mesin serta dapat diterapkan secara langsung di lapangan.

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>.
- A. Aldaghi, M. Mohammadi, A. Taheri, M. Pasandideh-Fard, (2024). "On The Performance of a Latent Heat Thermal Storage Unit Integrated with a Helically Coiled Copper Tube and Organic Phase Change Materials: a Lab-Scale Experimental Study". International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 154. No. 5. PP. 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107403>.
- 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>.
- J. Zhou, X. Xie, S. Tang, Y. Xu, X. Li, (2024). "Numerical Investigation and Comparison on Thermal-hydraulic Performance of H-type Finned Tube Heat Exchanger". *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 59. No. 1. PP. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104481>.
- M. S. S. Efanden, F. E. Sapnken, A. K. Jeutsa, B. S. S. Diboma, J. G. Tamba, (2024). "Performance Analysis of Air-to-Ground Heat Exchanger in Equatorial Yaoundé: Hourly and Daily Thermal Behaviour and Efficiency Optimization". *Journal of Building Engineering*. Vol. 96. No. 1. PP. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110396>.
- M. Boujelbene, H. I. Mohammed, H. S. Sultan, M. Eisapour, Z. Chen, J. M. Mahdi, A. Cairns, P. Talebizadehsardari, (2024). *A Comparative Study of Twisted and Straight Fins In Enhancing The Melting and Solidifying Rates of PCM In Horizontal Double-Tube Heat Exchangers*. Vol. 151. No. 1 PP. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.107224>.
- M. Reshaeel, M. Abdelsamie, M. I. H. Ali, (2024). "A Critical Review of the Thermal-Hydraulic Performance of Fin and Tube Heat Exchangers using Statistical Analysis". *International Journal of Thermofluids*. Vol. 24. No. 1. PP. 1-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100858>.
- R. Saltarelli, L. M. Alves, M. Fasano, R. M. Afonso, (2024). "Joining by Forming Technology for Thermal Applications: A Case Study of Finned Tube Heat Exchanger". *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 59. No. 1. PP. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104551>.
- T. Zhang, M. Su, H. Zhang, C. Liu, X. Ouyang, (2024). "Design and Simulation of a New Type of Fin-and-tube Heat Exchanger with Trapezoidal Slit Fins". *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 59. No. 1. PP. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104604>.
- V. Safari, B. Kamkari, A. Gharbi, (2024). "Wedge-shaped Fins to Enhance Thermal Performance of Shell and Tube Heat Exchangers Containing Phase Change Material: An Experimental Study". (2024). *Thermal Science and Engineering Progress*. Vol. 49. No. 1. PP. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102474>.
- X. Y. Zhang, Y. T. Ge, Y. Burra, P.Y. Lang, (2024). "Experimental Investigation and CFD Modelling Analysis of Finned-tube PCM Heat Exchanger for Space Heating". *Applied Thermal Engineering*. Vol. 244. No. 1 PP. 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122731>.
- Z. Bai, A. M. Abed, P. K. Singh, D. Abduvalieva, S. Alkhalaf, Y. Elmasry, A. Alruwaili, F. S. Alharbi, F. Riaz, (2024). "Bow-shaped Vortex Generators in Finned-tube Heat Exchangers; ANN/GA-Based Hydrothermal/Structural Optimization". *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 55. No. 1. PP. 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104135>.