Simulasi Numerik Pengaruh Sirip Sayap Delta terhadap Perpindahan Panas dan *Pressure drop* pada *Double Pipe Heat exchanger*

Permata Alya Jasmine[1], Windy Hermawan Mitrakusuma[2*], Bowo Yuli Prasetyo[3]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[1]*E-mail : permata.alya.tptu422@polban.ac.id*
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[*]*E-mail Korespondensi : windyhm@polban.ac.id*
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : bowo_yuli@polban.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan peningkatan kinerja perpindahan panas pada *Double Pipe Heat exchanger* (DPHE) yang digunakan sebagai *Liquid Suction Heat exchanger* (LSHX) pada sistem refrigerasi. Salah satu upaya untuk meningkatkan performa perpindahan panas adalah dengan menambahkan sirip dua sisi sayap delta pada pipa bagian dalam untuk menghasilkan *vortex* yang dapat memperkuat pencampuran aliran. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan sirip sayap delta dua sisi terhadap karakteristik perpindahan panas dan *pressure drop* menggunakan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan menggunakan refrigeran R290 dengan konfigurasi *counter-flow* pada kondisi *steady-state*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sirip sayap delta dua sisi mampu meningkatkan intensitas perpindahan panas melalui pembentukan aliran sekunder dan gangguan lapisan batas termal sehingga menghasilkan *heat transfer rate* sebesar 290.96 W. Namun, peningkatan perpindahan panas tersebut diikuti oleh kenaikan *pressure drop* pada sisi gas sebesar 10324.70 Pa akibat bertambahnya hambatan aliran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sirip sayap delta dua sisi berpotensi meningkatkan performa termal DPHE sebagai LSHX, meskipun perlu mempertimbangkan konsekuensi terhadap kebutuhan daya pompa akibat meningkatnya *pressure drop*.

Kata Kunci:
Double Pipe Heat exchanger (DPHE), sirip dua sisi sayap delta, *heat transfer*, *pressure drop*, *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

This study was motivated by the need to enhance the heat transfer performance of a Double Pipe Heat exchanger (DPHE) used as a Liquid Suction Heat exchanger (LSHX) in refrigeration systems. One approach to improving heat transfer performance is the installation of double-sided delta wing fins inside the inner tube to generate vortices that enhance fluid mixing. This study aims to investigate the effect of double-sided delta wing fins on heat transfer characteristics and pressure drop using a Computational Fluid Dynamics (CFD)-based numerical simulation. The simulation was conducted using R290 refrigerant under a counter-flow configuration and steady-state conditions. The simulation results indicate that the double-sided delta wing fins enhance heat transfer by promoting secondary flow formation and disrupting the thermal boundary layer, resulting in a heat transfer rate of 290.96 W. However, the improvement in heat transfer is accompanied by an increase in the gas-side pressure drop to 10324.70 Pa due to the additional flow resistance. The findings demonstrate that the application of double-sided delta wing fins has the potential to improve the thermal performance of a DPHE used as an LSHX, although the associated increase in pressure drop and pumping power requirements should be taken into consideration.

Keywords:
Double Pipe Heat exchanger (DPHE), double-sided delta wing fins, heat transfer, pressure drop, Computational Fluid Dynamics (CFD).

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan energi terus meningkat, sehingga efisiensi proses perpindahan panas menjadi aspek penting dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem refrigerasi. Salah satu komponen yang berperan dalam proses tersebut adalah *heat exchanger*. Pada sistem refrigerasi, *Liquid Suction Heat exchanger* (LSHX) mampu meningkatkan kondisi *subcooling* pada refrigeran cair dan *superheating* pada refrigeran uap sehingga dapat meningkatkan performa sistem serta mengurangi risiko masuknya refrigeran cair ke kompresor (1,2).

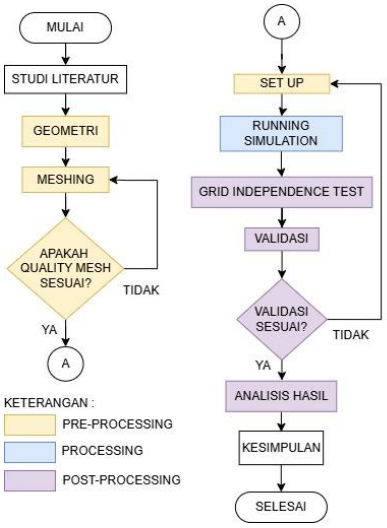
Salah satu jenis *heat exchanger* yang banyak digunakan sebagai LSHX adalah *Double Pipe Heat exchanger* (DPHE) karena memiliki konstruksi sederhana, biaya manufaktur yang

relatif rendah, serta mudah dianalisis (3). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa termal DPHE, salah satunya melalui penambahan sirip pada saluran aliran. Sirip dua sisi sayap delta dipilih karena mampu membangkitkan longitudinal vortex yang meningkatkan pencampuran fluida, mengganggu perkembangan thermal boundary layer, serta meningkatkan perpindahan panas konveksi (4–6). Namun, mekanisme tersebut juga meningkatkan hambatan aliran sehingga menyebabkan kenaikan *pressure drop* dan kebutuhan daya pemompaan (7).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penerapan sirip dua sisi sayap delta pada DPHE terhadap karakteristik perpindahan panas dan *pressure drop* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan referensi mengenai potensi penerapan sirip sayap delta dua sisi dalam meningkatkan performa termal DPHE.

2. METODOLOGI

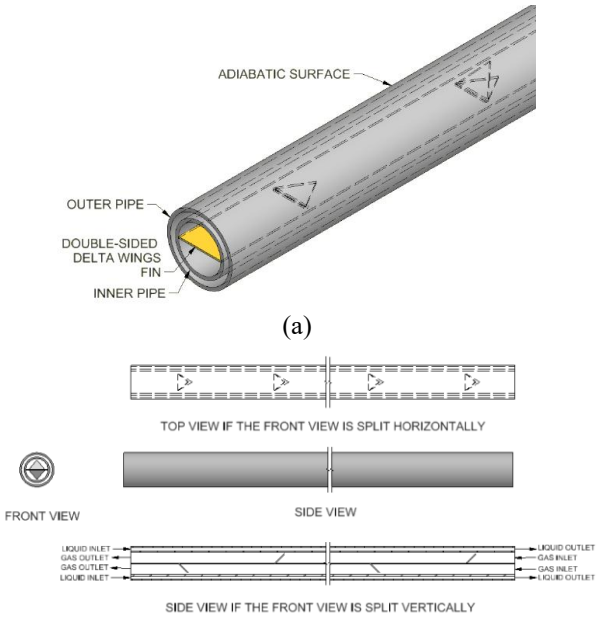
Penelitian ini menggunakan metode CFD untuk menganalisis karakteristik perpindahan panas dan *pressure drop* pada DPHE dengan sirip sayap delta dua sisi. Proses simulasi meliputi tiga tahapan, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram *flowchart* penelitian

2.1 *Pre-processing*

Tahap pertama adalah pembuatan geometri model tiga dimensi (3D) DPHE dengan sirip sayap delta menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2021. Selanjutnya, model geometri diimpor ke ANSYS DesignModeler 2022 R1 untuk proses simulasi dengan konfigurasi aliran *counter-flow*. Pada penelitian ini, fluida gas mengalir di dalam *inner pipe*, sedangkan fluida cair (*liquid*) mengalir di *outer pipe*. Sirip sayap delta dipasang pada *inner pipe* dengan orientasi membentuk sudut 45° terhadap arah aliran fluida gas. Geometri DPHE dengan sirip sayap delta dua sisi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri DPHE dengan sirip sayap delta dua sisi: (a) tampak isometrik dan (b) proyeksi ortogonal

Selanjutnya tahap proses *meshing* dilakukan dengan memperhatikan kualitas *mesh* meliputi *skewness, orthogonal quality, aspect ratio,* dan *element quality* (8,9). Tahapan selanjutnya, melakukan *set up*. Simulasi CFD menggunakan *pressure-based solver* dengan asumsi *steady-state* serta model turbulensi RNG k-ε. Fluida kerja yang digunakan adalah propane (R290), sedangkan material pipa dan sirip menggunakan tembaga. *Boundary condition* ditentukan berdasarkan perhitungan termodinamika sistem refrigerasi *Air Conditioning* (AC) kapasitas 2.5 kW yang ditunjukkan pada Tabel 1.

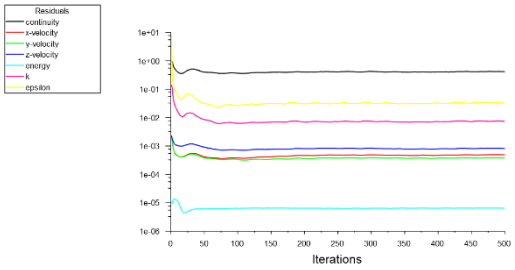
Tabel 1. Set up boundaary condition

Bagian	Parameter	Nilai dan Satuan
Inlet Gas Fluid	*Velocity inlet*	15.81 m/s
	Temperatur *inlet*	5 °C
	Pressure Outlet	0 Pa
Inlet Liquid Fluid	*Velocity inlet*	0.64 m/s
	Temperatur *inlet*	45 °C
	Pressure Outlet	0 Pa
Wall inner pipe	*Thermal Condition*	*Coupled*
Wall outer pipe	*Thermal Condition*	*Coupled*
Adiabatic surface outer pipe	*Thermal Condition*	*Heat flux* (0 W/m^2) atau diasumsikan terisolasi

2.2 *Processing*

Pada tahap ini, persamaan aliran dan perpindahan panas dihitung secara iteratif oleh solver hingga mencapai kondisi konvergen atau solusi yang stabil. Metode numerik yang digunakan adalah SIMPLE untuk *pressure-velocity coupling*

dengan skema diskretisasi *second order* guna meningkatkan akurasi simulasi. Proses running dilakukan hingga 500 iterasi dengan kriteria konvergensi berdasarkan *scaled residual* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik *scaled residual* terhadap iterasi

2.3 *Post-processing*

Untuk memastikan akurasi hasil simulasi, dilakukan *grid independence test* menggunakan lima variasi *mesh* yang berbeda untuk memilih ukuran *mesh* yang memberikan perubahan paling kecil pada laju perpindahan panas dan *pressure drop* dengan tetap mempertahankan efisiensi komputasi (10,11).

Selain itu, laju perpindahan panas (Q) divalidasi untuk memastikan bahwa hasil simulasi memenuhi prinsip konservasi energi dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi (11). Validasi perpindahan panas dilakukan melalui tiga tahap sebagai berikut:

1. Membandingkan laju perpindahan panas pada fluida gas dan fluida cair berdasarkan perhitungan teoritis pada persamaan (1) (12,13).

$$q = \dot{m}_{\text{gas}}\, c_{p,\text{gas}}\, \Delta T_{\text{gas}} = \dot{m}_{liquid}\, c_{p,liquid}\, \Delta T_{liquid} \qquad (1)$$

2. Memverifikasi kesetimbangan laju perpindahan panas pada dinding pipa bagian dalam (*inner pipe wall*) hasil simulasi CFD. Berdasarkan prinsip konservasi energi, laju perpindahan panas yang diterima permukaan dinding dari sisi fluida gas harus sama dengan laju perpindahan panas yang dilepaskan menuju sisi fluida cair, sebagaimana dinyatakan pada persamaan (2).

$$q_{\text{wall}-\text{gas}} = q_{\text{wall}-\text{liquid}} \qquad (2)$$

3. Membandingkan laju perpindahan panas hasil perhitungan teoritis dengan hasil simulasi CFD.

Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh nilai error berada di bawah 2%, sehingga hasil simulasi dinyatakan akurat dan memenuhi prinsip konservasi energi (14,15).

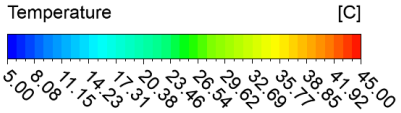
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis distribusi temperatur dilakukan secara aksial dan radial untuk mengevaluasi karakteristik perpindahan panas DPHE. Analisis aksial dilakukan sepanjang domain DPHE dari posisi 0 hingga 1 ditunjukkan pada Gambar 4. Posisi 0 menunjukkan *inlet* fluida gas serta *outlet* fluida cair, posisi 0.5 menunjukkan bagian tengah pipa, dan posisi 1 menunjukkan *inlet* fluida cair sekaligus *outlet* fluida gas. Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi perubahan temperatur fluida sepanjang lintasan aliran. Sementara itu, analisis distribusi temperatur secara radial dilakukan pada posisi 0.5 karena pada lokasi tersebut proses perpindahan panas telah berkembang lebih signifikan dibandingkan daerah *inlet* dan *outlet*, sehingga distribusi temperatur pada penampang melintang dapat diamati dengan lebih jelas.

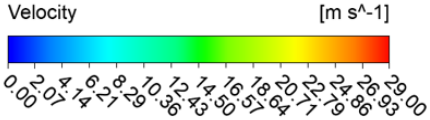
Analisis *streamline* kecepatan difokuskan pada daerah dekat *inlet* fluida gas dan *outlet* fluida cair, yaitu pada rentang posisi 0 hingga 0.25 ditunjukkan pada Gambar 4. Pemilihan daerah pengamatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang lebih rinci mengenai karakteristik aliran pada area masuk fluida, terutama interaksi antara aliran dan geometri sirip yang memengaruhi pembentukan *vortex*, pencampuran fluida, serta pola aliran di dalam DPHE.

Gambar 4. Ilustrasi pipa untuk distribusi temperatur dan *streamline* kecepatan

Pada Gambar 5, menunjukkan indikator kontur temperatur dalam satuan ºC serta pada Gambar 6 menunjukkan indikator kontur kecepatan dalam satuan m/s, yang merepresentasikan nilai dari rendah (biru) hingga tinggi (merah).



Gambar 5. Indikator kontur temperatur



Gambar 6. Indikator kontur *streamline* kecepatan

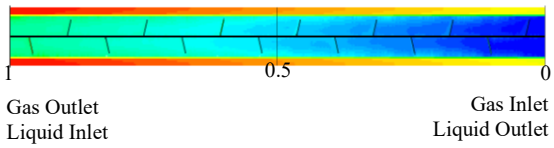
3.1 Distribusi Temperatur Secara Aksial

Pada Gambar 7 menunjukkan distribusi temperatur aksial pada DPHE dengan sirip dua sisi sayap delta pada konfigurasi *counter-flow*. Temperatur gas meningkat dari posisi 0 menuju posisi 1, sedangkan temperatur *liquid* menurun dari posisi 1 menuju posisi 0. Sirip dua sisi sayap delta menghasilkan gangguan aliran yang meningkatkan pencampuran fluida, sehingga perpindahan panas berlangsung lebih efektif sepanjang penukar kalor.

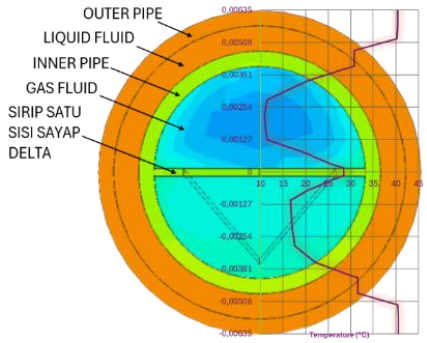
Gambar 7. Distribusi temperatur aksial pada DPHE sirip dua sisi sayap

3.2 Distribusi Temperatur Secara Radial

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa temperatur tertinggi berada pada dinding luar yang berdekatan dengan fluida cair, kemudian menurun ke arah bagian dalam pipa. Distribusi



temperatur yang terbentuk memperlihatkan penyebaran panas yang relatif merata pada penampang, yang menunjukkan peningkatan pencampuran fluida akibat keberadaan sirip dua sisi sayap delta sehingga perpindahan panas berlangsung lebih efektif.

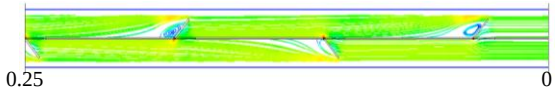


Gambar 8. Distribusi temperatur radial pada posisi tengah penampang DPHE sirip dua sisi sayap delta

3.3 *Streamline* Kecepatan

Pada Gambar 9 menunjukkan pola aliran pada DPHE dengan sirip dua sisi sayap delta. Fluida gas yang masuk dari *inlet* awalnya mengalir mengikuti arah pipa, kemudian mengalami pembelokan saat melewati sirip dua sisi sayap delta. Keberadaan sirip membagi aliran menjadi beberapa jalur, yaitu melalui celah di antara sayap dan lubang segitiga pada sirip. Penyempitan luas penampang pada area tersebut menyebabkan kecepatan aliran meningkat, yang ditunjukkan oleh area berwarna merah di sekitar ujung sayap dan lubang segitiga.

Setelah melewati sirip, aliran dari berbagai jalur saling berinteraksi sehingga terbentuk pusaran (*vortex*) di bagian belakang sirip. Pusaran ini muncul akibat perbedaan arah dan momentum aliran yang menghasilkan daerah bertekanan rendah di belakang sirip. Kondisi tersebut meningkatkan pencampuran fluida dan memperkuat perpindahan panas di sepanjang *inner pipe*.



Gambar 9. *Streamline* kecepatan pada DPHE sirip dua sisi sayap

3.4 *Heat transfer rate* dan *Pressure drop*

Berdasarkan Tabel 2, menunjukkan nilai *heat transfer rate* daan *pressure drop* pada DPHE dengan sirip dua sisi sayap delta. Nilai *heat transfer rate* menunjukkan bahwa konfigurasi sirip mampu meningkatkan perpindahan panas melalui penambahan luas permukaan dan pembentukan aliran sekunder (*vortex*) yang memperkuat pencampuran fluida di dalam *inner pipe*. Namun, keberadaan sirip juga menyebabkan *pressure drop* pada fluida gas meningkat akibat bertambahnya hambatan aliran, gesekan, dan turbulensi yang ditimbulkan oleh geometri sirip, sedangkan *pressure drop* pada fluida cair relatif lebih rendah karena tidak terdapat modifikasi geometri pada *outer pipe*. Hasil tersebut menunjukkan adanya *trade-off* antara peningkatan perpindahan panas dan kerugian tekanan pada penggunaan sirip dua sisi sayap delta.

Tabel 2. Nilai heat transfer rate dan pressure pada DPHE sirip dua sisi sayap delta

Parameter	Nilai	Satuan
Heat transfer rate	290.96	W
Pressure drop Fluida Gas	10324.70	Pa
Pressure drop Fluida Cair	833.69	Pa

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik menggunakan metode CFD terhadap DPHE dengan sirip dua sisi sayap delta, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sirip dua sisi sayap delta menghasilkan pola aliran sekunder (*secondary flow*) dan pembentukan *vortex* di belakang sirip akibat perubahan arah aliran. Fenomena tersebut meningkatkan pencampuran fluida di dalam *inner pipe* sehingga memperkuat proses perpindahan panas.
2. Distribusi temperatur aksial dan radial menunjukkan bahwa perpindahan panas berlangsung secara efektif sepanjang penukar kalor. Temperatur gas meningkat dari *inlet* menuju *outlet*, sedangkan temperatur *liquid* menurun sesuai konfigurasi *counter-flow*, dengan distribusi temperatur yang relatif merata pada penampang.
3. Hasil simulasi menunjukkan *heat transfer rate* sebesar 290.96 W, *pressure drop* fluida gas sebesar 10324.70 Pa, dan *pressure drop* fluida cair sebesar 833.69 Pa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sirip dua sisi sayap delta mampu meningkatkan performa perpindahan panas, namun disertai peningkatan kehilangan tekanan pada sisi fluida gas sebagai konsekuensi dari bertambahnya hambatan aliran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh sivitas akademika Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hermes CJL. Heat transfer and pressure drop trade-offs in liquid-to-suction heat exchangers. Int J Refrig [Internet]. 2019;104. Available from: https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.011
2. Sulistiono FB, Trisno R. Pengaruh Liquid Suction Heat Exchanger Terhadap Kinerja Sistem Pendingin pada Mesin Portable Chiller. 2023;14(3):845–55.
3. Muslimin, Ghani UA, Taufiqurrahman M. Rancang Bangun

Alat Praktikum Heat Exchanger Tipe Pipa Ganda. J Teknol Rekayasa Tek Mesin. 2021;2(2):192–6.

4. Maruf SD, Arsana IM. Pengaruh Jarak Sirip Terhadap Presure Drop Pada Double Pipe Heat Exchanger Menggunakan Fin Berbentuk Delta Wing. J Tek Mesin UNESA [Internet]. 2022;10(22):85–90. Available from: https://journal.unesa.ac.id/
5. Skullong S, Promvonge P, Jayranaiwachira N, Thianpong C. Experimental and numerical heat transfer investigation in a tubular heat exchanger with delta-wing tape inserts. Chem Eng Process Process Intensif [Internet]. 2016;109:164–77. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2016.09.005
6. Wijayanta AT, Yaningsih I, Aziz M, Miyazaki T, Koyama S. Double-sided delta-wing tape inserts to enhance convective heat transfer and fluid flow characteristics of a double-pipe heat exchanger. Appl Therm Eng [Internet]. 2018;145(August):27–37. Available from: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.009
7. Selviyanty V, Abu R. Pengaruh Heat Exchanger Pada Pipa Ganda Dengan Variasi Jumlah Dan Jarak Sirip. J Soc Sci Res [Internet]. 2024 [cited 2025 Aug 31];4(4):15134–1542. Available from: https://j-innovative.org/index.php/Innovative
8. Pangestu RA. Analisis Aerodinamika Body Mobil Listrik dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) pada Variasi Frontal Area dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software ANSYS. 2024.
9. Salahuddin A, Alfaridzy F. Simulasi CFD Pengaruh High Reynold Number terhadap Performa Boiler Heat Exchanger. Inst Teknol Sains Bandung [Internet]. 2023; Available from: https://repository.itsb.ac.id/id/eprint/545
10. Khalfatirius A, Arsana IM. Simulasi Numerik Pengaruh Pitch Helical Fin Terhadap Pressure Drop Pada Double Pipe Heat Exchanger. J Tek Mesin. 2022;10(01):55–60.
11. Alkalibi A., Alahmadi YH, Tlili I. Performance Analysus of an Extended-surface double-pipe heat exchanger for Heat Recovery from Hot Exhaust Gas using Water and Nanofluids. 2025;27. Available from: www.sciencedirect.com/journal/result-in-engineering
12. Lienhard V JH, Lienhard IV JH. A Heat Transfer Textbook. 6th ed. Cambridge: Phlogiston Press; 2024.
13. Kazi SN, editor. Heat Transfer [Internet]. London: IntechOpen; 2023. Available from: https://doi.org/10.5772/intechopen.97951
14. Jalali A, Delouei AA, Zaertaraghi MR, Tavasoli SA. Experimental Investigation on Active Heat Transfer Improvement in Double-Pipe Heat Exchangers. J Process. 2024;12(7).
15. Wang Y, Foo JJ, Tran MV, Nair SR, Oon CS. Numerical investigation of thermo-hydraulic performance of perforated rectangular and sinusoidal vortex generators in a double-pipe heat exchanger. J Therm Anal Calorim [Internet]. 2024;149(19):11137–54. Available from: https://doi.org/10.1007/s10973-023-12838-2