

# **ANALISIS NILAI TRANSFER PANAS DALAM HEAT EXCHANGER TYPE 1-1 SHELL AND TUBE ALIRAN COUNTER CURRENT MENGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

Reza Dyota Ahmad<sup>1</sup>, Donny Ivananda<sup>1</sup>, Ramadhani Santoso<sup>2</sup>, Dyah Ratna Wulan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup>PT CADFEM Simulation Technology Indonesia, Axa Tower Lantai 36 Unit 5-6, Kuningan City Jl Prof.

Dr. Satrio Kaveling 18, Jakarta 12940, Indonesia

rezadyota06@gmail.com ; [ratnawln15@gmail.com]

## **ABSTRAK**

Unit PLTA memanfaatkan turbin untuk mengkonversi energi kinetik air menjadi energi listrik. Arus alternatif yang terbentuk oleh turbin dikonversi oleh transformator menjadi arus bertegangan tinggi. Proses konversi ini disertai peningkatan suhu akibat *hysteresis losses* yang perlu diminimalisir menggunakan alat penukar panas berjenis *heat exchanger type 1-1 shell and tube* dengan aliran *counter current*. Analisis terhadap *heat exchanger* dapat dilakukan oleh laboratorium virtual *Computational Fluid Dynamics* yang terbilang praktis dan hemat biaya. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis nilai transfer panas dalam *heat exchanger* pada berbagai suhu dan laju alir fluida panas masuk. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *Fluent Ansys 2022 R2* dengan variabel bebas berupa laju alir (0,01; 0,5; 0,1 kg/s) dan suhu masuk fluida panas (383; 388; 393 K) serta variabel tetap berupa laju alir (0,8 kg/s) dan suhu fluida dingin masuk (293 K). Dari hasil analisis yang telah dilakukan, nilai transfer panas yang diberikan kepada fluida dingin akan semakin besar seiring dengan peningkatan laju alir dan suhu fluida panas masuk. Fluida panas dengan laju alir 0,1 kg/s dan suhu 393 K memberikan nilai transfer panas tertinggi sebesar 18974,27 W yang baik untuk mengoptimalkan kinerja alat penukar panas pada unit PLTA.

**Kata kunci:** *heat exchanger, laboratorium virtual, laju alir, suhu, transfer panas*

## **ABSTRACT**

The hydropower unit utilizes a turbine to convert the kinetic energy of water into electrical energy. The alternative current formed by the turbine is converted by the transformer into a high-voltage current. This conversion process is accompanied by an increase in temperature due to *hysteresis losses*, which need to be minimized using a *heat exchanger type 1-1 shell and tube heat exchanger with the counter-current flow*. Analysis of the *heat exchanger* can be performed in the *Computational Fluid Dynamics virtual laboratory*, which is practical and cost-effective. This study aimed to analyze the value of heat transfer in *heat exchangers* at various temperatures and incoming hot fluid flow rates. The analysis was carried out using the *Fluent Ansys 2022 R2 software with independent variables in the form of flow rate (0.01; 0.5; 0.1 kg/s) and hot fluid inlet temperature (383; 388; 393 K) and a fixed variable in the form of flow rate (0.8 kg/s) and the inlet cold fluid temperature (293 K)*. From the results of the analysis that has been carried out, the heat transfer value given to the cold fluid will be greater as the flow rate and temperature of the incoming hot fluid increase. Hot fluid with a flow rate of 0.1 kg/s and a temperature of 393 K has the highest heat transfer value of 18974.27 W, which is good for optimizing the performance of *heat exchangers* in hydropower units.

**Keywords:** *flow rate, heat exchanger, heat transfer, temperature, virtual laboratory*

## 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan transfer energi antara oli pelumas dan air pendingin menggunakan alat penukar panas sering dijumpai dalam industri pembangkit listrik, tak terkecuali pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Air. Unit pembangkit ini memanfaatkan energi kinetik air yang akan dikonversi menjadi energi listrik. Turbin membentuk arus alternatif yang dikonversi oleh transformator pembangkit menjadi arus bertegangan tinggi dan suhunya meningkat. Peningkatan suhu pada transformator diakibatkan oleh *hysteresis losses* sehingga membutuhkan sistem pendingin guna mengontrol suhunya [1]. Sistem pendingin yang digunakan melibatkan proses transfer energi antara oli dan air dalam alat penukar panas yang disebut sebagai *shell and tube heat exchanger*. Oli sebagai pelumas dikontakkan pada transformator sehingga menerima panas dari transformator. Setelah itu, oli sebagai fluida panas masuk ke bagian *shell* alat penukar panas lalu memberikan energi panas kepada air pada bagian *tube*, dan kembali lagi menuju transformator dengan cara dipompakan [2].

*Shell and tube heat exchanger* yang digunakan merupakan salah satu jenis alat penukar panas yang umum digunakan. Alat ini berupa *shell* yang di dalamnya terdapat *bundle tube* berbentuk silindris yang tersusun dengan perancangan tertentu [3]. Fluida pada bagian dalam *shell* di luar *tube* (*shell side*) dengan fluida yang mengalir di dalam *tube* (*tube side*) memiliki suhu yang berbeda satu sama lain. Perbedaan suhu ini menyebabkan proses pertukaran panas di antara bagian *shell side* dengan *tube side* [4]. Pertukaran energi panas dengan efisiensi sebesar minimal 80% dari *shell side* menuju *tube side* menghasilkan kinerja *heat exchanger* yang optimal. Nilai efisiensi yang tinggi menunjukkan *heat exchanger* masih bekerja dengan baik karena memiliki *losses* yang rendah [5]. Analisis transfer panas pada *heat exchanger* penting dilakukan.

Untuk mendapatkan kinerja *heat exchanger* yang optimal, alat penukar harus dirancang sebaik mungkin sebelum diaplikasikan secara nyata. Kompetensi desain perancangan *heat exchanger* berperan krusial terhadap peningkatan kinerja instalasi di unit PLTA. Perancangan alat menggunakan aplikasi *engineering simulation* akan menghemat biaya, waktu, serta energi sebelum benar-benar dilakukan instalasi pada unit PLTA [6]. Oleh karena itu, *engineering simulation* harus dikuasai untuk melakukan desain perancangan alat penukar panas.

Salah satu aplikasi *engineering simulation* yang paling handal untuk analisis terhadap *shell and tube heat exchanger* dapat dilakukan oleh aplikasi *engineering simulation* berupa laboratorium virtual *Fluent Ansys*. Penggunaan laboratorium virtual terbilang praktis dan hemat biaya. Laboratorium virtual ini mencakup salah satu ilmu yang berfokus pada mekanisme aliran fluida yaitu *Computational Fluid Dynamics*. Sistem analisis pada *Fluent Ansys* memiliki cakupan telaah yang menyangkut telaah laju alir fluida, pertukaran kalor, dan reaksi kimia. Formulasi numerik sebagai penyusun kode pada *Computational Fluid Dynamics* mampu untuk mengatasi persoalan terkait pergerakan fluida [7].

Penggunaan *Computational Fluid Dynamics* pada penelitian memiliki cakupan yang luas. Beberapa peneliti terdahulu telah memanfaatkan *Computational Fluid Dynamics* untuk mengkaji *heat exchanger* dengan berbagai analisis yang beragam. Damayanti (2012) mengkaji tentang simulasi menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics (CFD)* pada *Temperature Control System* untuk mengetahui karakteristik dan kinerja alat tersebut [8]. Fahmi (2021) mengkaji tentang efektivitas Aplikasi Penukar Panas (APK) *Shell Helical-Coil*

yang diberi penambahan sirip pada aplikasi *Air Conditioner Water Heater (ACWH)* berbasis *Computational Fluid Dynamics* [9]. Sedangkan, penelitian yang berfokus pada analisis transfer panas berbasis *Computational Fluid Dynamics* belum pernah diteliti oleh peneliti terdahulu.

Penelitian dengan menggunakan virtual lab ini bertujuan untuk menganalisis nilai transfer panas yang terjadi pada *heat exchanger type 1-1 shell and tube* dengan aliran *counter current*. Fluida yang digunakan pada proses transfer energi ini menggunakan oli sebagai fluida panas dan air sebagai fluida dingin [10].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis data dilakukan dengan menelaah *mesh data shell and tube heat exchanger type 1-1* menggunakan *file* yang telah disediakan oleh PT CADFEM Simulation Technology Indonesia melalui Ansys Innovation Courses. *Mesh data* dianalisis melalui Aplikasi *Fluent Ansys*. Simulasi terdiri dari beberapa tahapan yaitu '*Physics*' *Set-up*, '*Solution*' *Set-up*, dan '*Results*' *Set-up* menggunakan *Fluent Ansys*. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variabel tetap (laju alir fluida dingin masuk 0,8 kg/s dan suhu fluida dingin masuk  $t_1$  290 K), variabel berubah (laju alir fluida panas masuk 0,01; 0,05; 0,1 kg/s dan suhu fluida panas masuk  $T_1$  383; 388; dan 393 K) dan variabel kontrol (suhu fluida panas keluar  $T_2$  dan suhu fluida dingin keluar  $t_2$ ) [11].

### 2.1. '*Physics*' *Set-up* Menggunakan *Fluent Ansys*

'*Physics*' *Set-up* merupakan langkah awal dalam melakukan proses dalam pembuatan model desain, analisis *mesh data*, dan pengaturan terhadap kondisi batas serta properti fluida yang digunakan. *Mesh data heat exchanger type 1-1 shell and tube* dari Ansys Innovation Courses dibuka melalui Aplikasi *Fluent Ansys* dengan dimensi dan pengaturan 3D *double-precision Fluent instance*, kemudian dilakukan pengaturan *Operating Conditions* secara default. Model viskositas diatur secara k-omega (2 eqn) yang menunjukkan aliran turbulen. Properti material pada *Create/Edit* dilakukan pengaturan, untuk *tube side fluid*, digunakan "*water-liquid*" serta *shell side fluid*, digunakan "*oil*". Pada *Cell zones conditions 'Type'* dilakukan penyesuaian pada *fluid-shell* dipilih "*oil*" dan pada *fluids-tubes* dipilih "*water*". Lalu, pada *Boundary conditions 'Type'*, dilakukan penyesuaian yaitu untuk *inlet-shell* diatur berdasarkan variabel berubah (suhu dan laju alir fluida panas masuk), *inlet-tubes* diatur berdasarkan variabel tetap (suhu dan laju alir fluida dingin masuk). Masih pada pengaturan *Boundary conditions 'Type'*, kedua masukan baik *inlet-shell* maupun *inlet-tubes* pada *Direction Specification Method* diatur pada "*Normal to Boundary*", *Specification Method* diatur menjadi "*Intensity and Hydraulic Diameter*" serta *wall boundary conditions* dijaga pada kondisi default [12].

### 2.2. '*Solution*' *Set-up* Menggunakan *Fluent Ansys*

'*Solution*' *Set-up* merupakan tahapan untuk melakukan kalkulasi terhadap kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada '*Physics*' *Set-up*. *Turbulent Kinetic Energy and the Specific Dissipation Rate* diatur pada "*Second Order Upwind*". Kemudian "*Warped-Face Gradient Correction*" diaktifkan. *High Order Term Relaxation* diatur pada "*All Variables*". *Solution Controls* dijaga pada kondisi default. "*Absolute Criteria*" under "*Residual Monitors*" dijaga pada kondisi default. Pada "*Definitions*" dipilih "*New*", diklik "*Mass-Weighted Average*", diatur "*Field Variable*" pada "*Temperature*", dan dipastikan *Surface*

sesuai dengan nama *shell* dan *tube* yang tersedia. Untuk analisis "Initialize" the flow field, digunakan default "Hybrid Initialization". Perhitungan dilakukan dengan 200 iterasi [12].

### 2.3. 'Results' The Value of Heat Transfer Set-up Menggunakan Fluent Ansys

'Results' The Value of Heat Transfer Set-up merupakan tahapan interpretasi hasil simulasi nilai transfer panas yang telah didapatkan setelah melakukan 200 iterasi. *Fluxes* diklik, kemudian "The Total Heat Transfer Rate" diklik, *inlet-shell*, *inlet-tube*, *outlet-shell*, dan *outlet-tube* dipilih secara bersamaan lalu diklik pada *compute* [12].

### 2.4. 'Results' The Temperature Set-up Menggunakan Fluent Ansys

'Results' The Temperature Set-up merupakan tahapan interpretasi hasil simulasi nilai variabel terikat yang telah didapatkan setelah melakukan 200 iterasi. *Report Definiton* diklik, kemudian "outlet-shell-temperature" dipilih, "Per Surface" diaktifkan, diklik pada *outlet-tube*, dan diklik pada *compute* [12].

### 2.5. 'Results' Contour Pathlines Set-up Menggunakan Fluent Ansys

'Results' The Temperature Set-up merupakan tahapan interpretasi hasil simulasi berupa profil aliran suhu dari fluida di dalam *shell and tube heat exchanger type 1-1* setelah melakukan 200 iterasi. *Pathlines* diklik, kemudian dipilih *New*, pada *Color by* dipilih "temperature", pada *Release from Surfaces* dipilih "Inlet", kemudian *save/display* diklik [12].

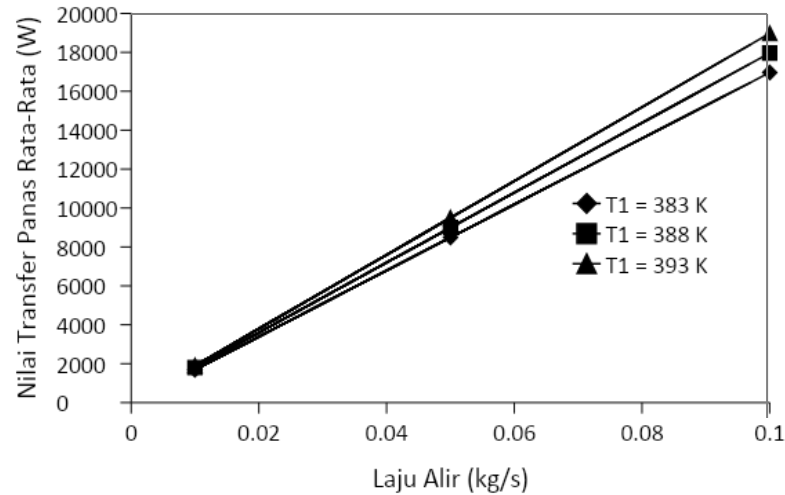
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Nilai Transfer Panas pada Berbagai Suhu dan Laju Alir Fluida Panas Masuk

Hasil analisis transfer panas didapatkan dengan memvariasikan laju alir fluida panas masuk 0,01; 0,05; 0,1 kg/s dan suhu fluida panas masuk  $T_1$  383; 388; dan 393 K pada laju alir 0,8 kg/s dan suhu fluida dingin masuk 290 K. Eksperimen ini menggunakan *Computational Fluid Dynamics* dengan *mesh data heat exchanger shell and tube type 1-1 aliran counter current*. Alat penukar panas jenis ini menggunakan satu lajur Lewatan fluida panas (oli) melalui *shell side* dan satu lajur Lewatan fluida dingin (air) melalui *tube side* dengan aliran yang berlawanan arah. Proses transfer panas berlangsung saat fluida panas mengalir melalui *inlet shell* akan terus mengalami penurunan suhu hingga mencapai aliran keluar dalam *outlet shell*. Kemudian, fluida dingin yang mengalir melalui *inlet tube* mengalami peningkatan suhu sampai keluar menuju *outlet tube* [13], [14].

Gambar 1 merupakan nilai transfer panas rata-rata yang diperoleh dari hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Gambar di atas memperlihatkan bahwa adanya kenaikan suhu maupun laju alir fluida panas masuk, maka nilai transfer panas yang diberikan kepada fluida dingin juga akan semakin besar. Fenomena ini sesuai dengan penelitian Husen, dkk.(2020) [15]. Peningkatan nilai transfer panas akibat pengaruh peningkatan suhu maupun laju alir fluida panas masuk disebabkan oleh karakteristik perpindahan baik secara konduksi maupun konveksi yang meningkat [16]. Pergantian panas yang terjadi dalam alat ini memanfaatkan proses transfer panas secara konduksi dan konveksi. Penukaran panas secara konduksi berasal dari aliran fluida yang ada di luar *tube* menuju ke fluida yang ada di dalam *tube*. Sedangkan, panas disebabkan oleh pengaruh densitas atau suhu disebut sebagai panas konveksi. Terdapat dua variasi suhu dan laju alir fluida panas masuk yang akan digunakan sebagai penelitian untuk mendapatkan analisis besarnya nilai transfer panas yang terjadi [17]. Nilai transfer panas tertinggi (18974,27 W)

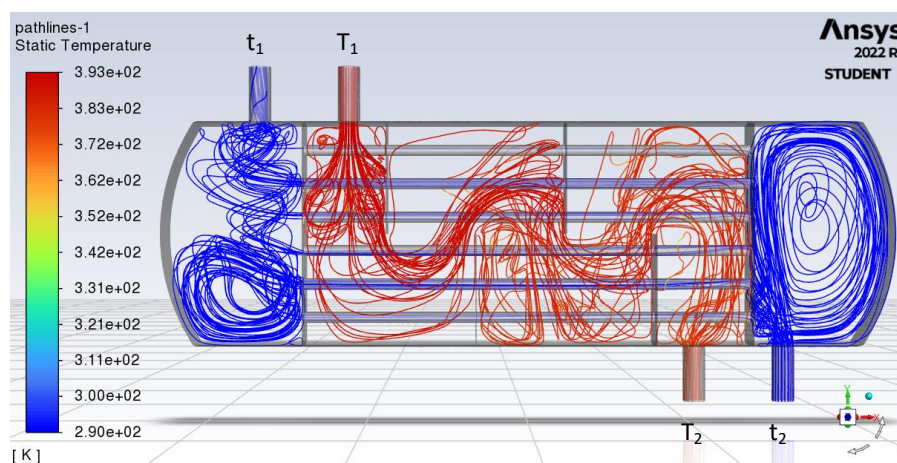
menunjukkan kinerja *shell and tube heat exchanger type 1-1* terbaik yang diperoleh jika digunakan *oil* yang masuk pada *shell side* dengan suhu 393 K dan laju alir 0,1 kg/s serta air yang masuk pada *tube side* dengan suhu 290 K dan laju alir 0,8 kg/s.



**Gambar 1.** Grafik hubungan nilai transfer panas rata-rata dengan laju alir pada berbagai suhu fluida panas masuk

### 3.2 Profil *Pathlines* Temperatur Nilai Transfer Panas Tertinggi

Profil *pathlines* temperatur pada nilai transfer panas tertinggi (18974,27 W) memvisualisasikan variasi suhu dalam dua fluida yang berbeda pada *shell and tube heat exchanger type 1-1*.



**Gambar 2.** *Pathlines* temperatur fluida panas masuk suhu 393 K dan laju alir 0,1 kg/s

Gambar 2 menunjukkan *pathlines* suhu pada *tube side* dan daerah *shell*. Fluida panas memasuki *shell* (warna merah) pada 393 K, kemudian suhu fluida panas menurun dengan memberikan panas ke fluida dingin pada *tube* hingga keluar dari *shell* (warna oranye) dengan suhu 380,25 K. Aliran fluida dingin tidak memberikan perbedaan warna yang signifikan antara aliran fluida dingin masuk dan aliran fluida keluar. Hal ini menunjukkan hampir tidak ada perubahan suhu antara fluida dingin masuk (290 K) dengan fluida dingin

keluar (290,76 K) akibat dari laju alir fluida dingin lebih besar daripada laju alir fluida panas.

K. IM, R. Allifia, E. Dia, dkk.(2022) mengkaji tentang pengaruh laju alir fluida panas dan fluida dingin terhadap besarnya transfer panas pada alat *heat exchanger*. Variabel bebas laju alir fluida panas masuk yang digunakan dengan kesimpulan semakin besar laju alir fluida panas masuk, semakin besar pula transfer panas yang dihasilkan. Penelitian yang didapatkan memberikan kesimpulan yang sama dengan yang didapatkan oleh penulis [18].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada simulasi *heat exchanger type 1-1 shell and tube* aliran *counter current* menggunakan *computational fluid dynamics* dengan oli (fluida panas) dan air (fluida dingin), nilai transfer panas yang diberikan kepada fluida dingin akan semakin besar seiring dengan peningkatan suhu dan laju alir fluida panas masuk. Fluida panas masuk dengan suhu 393 K dan laju alir 0,1 kg/s memberikan nilai transfer panas tertinggi sebesar 18974,27 W.

Adapun saran yang harus dilakukan untuk peneliti selanjutnya agar melakukan penelitian mengenai material *heat exchanger*, jenis fluida, variasi suhu fluida dingin keluar dan laju alir fluida dingin keluar yang mempengaruhi nilai transfer panas diperlukan. Selain itu, peneliti melakukan kalkulasi terhadap nilai *Number of Transfer Units* agar memperoleh nilai efektivitas *heat exchanger type 1-1 shell and tube* dengan aliran *counter current* terbaik.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT CADFEM Simulation Technology Indonesia yang telah mengizinkan untuk menggunakan *mesh data shell and tube heat exchanger type 1-1* untuk diterbitkan pada Jurnal Disilat.

#### REFERENSI

- [1] R. Hongtao, "Simulation Analysis of Inrush Current in No Load Closing of Transformer in Hydropower Station," *Energy Reports*, vol. 7, no. 7, hal. 1175–1181, 2021.
- [2] Y. Gaos dan C. Widiawati, "Reverse Engineering Oil Cooler Double Tube PLTA Jatiluhur," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, hal. 41–44, 2017.
- [3] J. Holman, *Heat transfer*. McGraw Hill Higher Education, 2010.
- [4] I. Bizzy dan R. Setiadi, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)," *J. Rekayasa Mesin Univ. Sriwij.*, vol. 13, no. 1, hal. 67–77, 2013.
- [5] P. Coniwati, F. Zamali, dan V. Rance, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger di Refinery Plant Industri Minyak Goreng," *J. Tek. Kim.*, vol. 25, no. 1, hal. 18–20, 2019.
- [6] S. Ihsan, "Analisis Bentuk Aliran pada Kondensor Tipe Shell dan Tube Menggunakan Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics)," *J. JIEOM*, vol. 1, no. 1, hal. 19–22, 2018.
- [7] A. Krisunarya, "Simulasi CFD Karakteristik Hidrodinamika Fermentor Bioetanol," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.
- [8] Y. Damayanti, "Simulasi Temperature Control System pada Internal Flow Fluida Viscous dengan Menggunakan Perangkat Lunak CFD (Computational Fluid Dynamics)," Universitas Sebelas Maret, 2012.

- [9] A. Fahmi, "Analisa Numerik APK Shell Helical Coil Bersirip pada Aplikasi ACWH," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan, 2020.
- [10] E. Kiswoyo dan A. I. Ramadhan, "Perancangan dan Validasi Desain Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Menggunakan Computational Fluid Dynamics," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 8, no. 2, hal. 39–46, 2017.
- [11] A. Marali, S. Wahyudi, dan N. Hamidi, "Analisa Fluida Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Air Pada Alat Penukar Kalor Proses Pendinginan (Metode Simulasi)," *Re TII*, hal. 413–418, 2017.
- [12] R. Permatasari dan I. Andimas, "Optimalisasi Desain Alat Penukar Panas Jenis Shell and Tube Heat Exchanger Menggunakan Metoda Computational Fluid Dynamics," *Jur. Tek. Mesin FTI Trisakti*, vol. 2016, hal. 1–7, 2016.
- [13] M. Bakrie dan M. Fatimura, "Optimalisasi Rancangan Shell-dan-Tube Heat Exchangers (Tinjauan Literatur)," *J. Redoks*, vol. 5, no. 2, hal. 116–134, 2020.
- [14] Beldar, R. Devrao, dan S. Komble, "Mechanical Design of Shell and Tube Type Heat Exchanger as per ASME Section VIII Div.1 and TEMA Codes for Two Tubes," *Int. J. Eng.*, vol. 8, no. 7, hal. 1–4, 2018.
- [15] A. Husen, A. Ichwan, dan N. Cholis, "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger," *Bina Tek.*, vol. 16, no. 1, hal. 1–10, 2020.
- [16] N. Titahelu, "Analisis Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Searah terhadap Karakteristik Heat Exchanger Shell and Tube," *J. Teknol.*, vol. 5, no. 2, hal. 819–824, 2019.
- [17] A. Wardhani, A. Labumay, dan E. Ningsih, "Influence of Fluid Inflow Rate on Performance Effectiveness of Shell and Tube Type Heat Exchanger," *J. Mech. Eng. Sci. Innov.*, vol. 2, no. 1, hal. 9–15, 2022.
- [18] K. M, R. Allifia, E. Sari, D. Pratiwi, dan E. Ningsih, "Pengaruh Laju Alir Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap Besarnya Transfer Panas pada Alat Heat Exchanger," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. X 2022*, hal. 1–7, 2022.