

## *Tube Blockage Solutions for Industrial Heat Exchangers*

### **Solusi Penyumbatan Tabung untuk Penukar Panas Industri**

Faris Ferdiansyah<sup>1</sup>, Rachmat Firdaus<sup>2</sup>

Email coresponding author: [farisferdiansyah71@gmail.com](mailto:farisferdiansyah71@gmail.com)

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

**Abstract.** *This study investigates the root causes of blockages in heat exchanger tubes and proposes effective mitigation strategies. Industrial heat exchangers face recurrent challenges from tube blockages, impairing operational efficiency. Through a combination of experimental analysis, computational modeling, and data-driven approaches, the research identifies the role of contaminants in causing pressure drops and outlines targeted maintenance protocols. Findings underscore the significance of proactive measures in optimizing heat exchange processes, offering valuable insights for enhancing system performance across diverse industrial applications.*

**Keywords** – Production Process; Blockage; Exchangere

**Abstrak.** *Studi ini menyelidiki akar penyebab penyumbatan pada tabung penukar panas dan mengusulkan strategi mitigasi yang efektif. Penukar panas industri menghadapi tantangan berulang dari penyumbatan tabung, yang mengganggu efisiensi operasional. Melalui kombinasi analisis eksperimental, pemodelan komputasi, dan pendekatan berbasis data, penelitian ini mengidentifikasi peran kontaminan dalam menyebabkan penurunan tekanan dan menguraikan protokol pemeliharaan yang ditargetkan. Temuan menggarisbawahi pentingnya langkah-langkah proaktif dalam mengoptimalkan proses pertukaran panas, menawarkan wawasan yang berharga untuk meningkatkan kinerja sistem di berbagai aplikasi industri.*

**Kata Kunci** – Proses Produksi; Penyumbatan; Exchanger

#### I.PENDAHULUAN

Seiring dengan berjalannya waktu, tantangan dan tuntutan terus deras mengalir, hal ini membuat ilmu pengetahuan dan teknologi terus berkembang dengan pesat. Dunia industri terus melaju dengan mengadopsi berbagai temuan-temuan baru untuk dapat meningkatkan produktifitas dan efektifitas kegiatannya. Untuk dapat menyikapi serta memahami semua itu., maka mahasiswa sebagai salah satu komponen bangsa sangat perlu terjun secara langsung ke lapangan dengan membawa suatu tujuan utama yaitu mempersiapkan diri untuk mencari bekal-bekal yang bermanfaat sehingga memiliki kualitas dan kemantapan dalam menjawab segala tantangan dan tuntutan yang segera akan dibebankan kepadanya. Praktek Kerja Lapangan merupakan suatu kegiatan akademik wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa program pendidikan strata satu (S1) sebagai syarat dalam menyelesaikan tugas akhirnya.

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo memiliki Progam Studi Teknik Mesin yang mencetak generasi bangsa juga dapat diandalkan pada masing-masing jurusan cabang ilmu yang telah dipelajari dan diajarkan serta dipraktekan pada program studi tersebut, agar nantinya bias terus mengembangkan dan memajukan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK), serta bias menjadi Sumber Daya Manusia (SDM) yang memiliki dan mempunyai kreatifitas, daya saing yang cukup tinggi dalam dunia kerja.

Perusahaan bergerak di bidang pelumas, dengan proses produksi melalui *refinery used oil* yaitu mengolah kembali pelumas bekas menjadi pelumas yang dapat digunakan kembali. Tetapi banyak masalah yang ada pada saat produksi salah satunya adalah masalah penyumbatan pada sistem *Heat Exchanger* yang disebabkan oleh oli bekas yang masih membawa kotoran.

Pada proses produksi sering terjadi kasus tersumbatnya tube di *Heat Exchanger* untuk memanaskan *used oil* yg selanjutnya akan diproses lebih lanjut. Oli bekas sebelum melewati *Heat Exchanger* terdapat oil filter kemudian oli melewati tube kecil yang sudah di panaskan dengan steam yang dimana tube tersebut lama kelamaan akan terjadi penyumbatan akibat kotoran, Endapan tersebut lama kelamaan menumpuk dan terjadi penyumbatan pada area tube exchanger tersebut.

Jika terjadi penyumbatan maka pressure yang ada di tube otomatis akan mengalami penurunan tekanan diakibatkan endapan yang ada di tube *Heat Exchanger*. Maka daripada itu dari permasalahan tersebut perlu adanya analisa tentang apa saja yang bisa meminimalisir terjadinya penurunan tekanan.

#### Rumusan Masalah :

1. Bagaimana faktor-faktor seperti akumulasi fouling, perubahan aliran fluida, atau kerusakan struktur dapat mempengaruhi penurunan tekanan pada heat exchanger E301?
2. Bagaimana dampaknya penurunan tekanan pada heat exchanger E301 terhadap efisiensi pertukaran panas dalam sistem?
3. Bagaimana meningkatkan efisiensi pemantauan dan perawatan rutin pada heat exchanger E301, dan menangani cepat masalah seperti penurunan tekanan?

#### II.METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kualitatif, yaitu metode yang lebih menekankan analisis atau deskripsi. Data-data yang diperoleh dari penelitian tersebut diambil dari data perusahaan dan literasi jurnal, observasi dan wawancara. Waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan dimulai dari tanggal 31 Juli 2023 sampai dengan 30 Oktober 2023. Lama pengerjaan pembuatan artikel ini selama kurang lebih satu minggu. Cara pengolahan data yang dilakukan dengan membaca dari beberapa jurnal, artikel, website online, observasi dan wawancara yang selanjutnya dapat disusun menjadi suatu ide pokok pikiran. Dalam pengumpulan data ini diungkapkan dalam bentuk hipotesis yang merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan dari peneliti, Pengumpulan data ini, penulis menggunakan teknik:

##### a. Metode Observasi

Pengumpulan data dalam metode ini dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung pada obyek yang diteliti dan telah direncanakan

##### b. Metode Studi Literatur

Metode pengumpulan data yang di peroleh dari buku – buku literatur guna mendukung pengungatan penelitian.

##### c. Metode Interview

Pengumpulan data pada metode interview dilakukan dengan melakukan tanya jawab atau wawancara secara langsung pada pembimbing lapangan, Operator maupun pihak terkait yang dapat memberikan data pendukung untuk melengkapi kebutuhan informasi.

#### III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Heat Exchanger adalah proses pertukaran panas yang terjadi antara benda panas dan benda dingin yang masing-masing disebut *source and receiver*. Ada 3 macam cara perpindahan panas yaitu:

1. Heat exchanger konduksi adalah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dengan suatu aliran atau rambatan proses dari suatu benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah atau dari suatu benda ke benda lain dengan kontak langsung, dengan kata lain proses perpindahan panas secara molekuler dengan perantara molekul molekul yang bergerak. Perpindahan panas konduksi dapat berlangsung pada zat padat, cair atau gas. Contoh, aliran panas melalui dinding metal.
2. Heat Exchanger konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi dari suatu benda ke benda yang lain dengan perantara benda itu sendiri. Perpindahan panas konveksi ada 2 macam yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas, Konveksi bebas adalah perpindahan molekul-molekul di dalam zat yang dipanaskan karena adanya perbedaan densitas. Konveksi paksa yaitu perpindahan panas perpindahan panas konveksi yang berlangsung dengan bantuan tenaga lain.
3. Pancaran atau radiasi adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan di serap ke dalam bahan dan sebagian akan menembus bahan dan terus keluar.[1]

Heat exchanger berfungsi mengakomodasikan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dengan adanya perbedaan temperatur karena panas yang dipertukarkan terjadi dalam suatu sistem maka kehilangan panas diri suatu benda ke benda akan sama dengan yang diterima benda lain secara umum ada 2 tipe heat exchanger, yaitu:

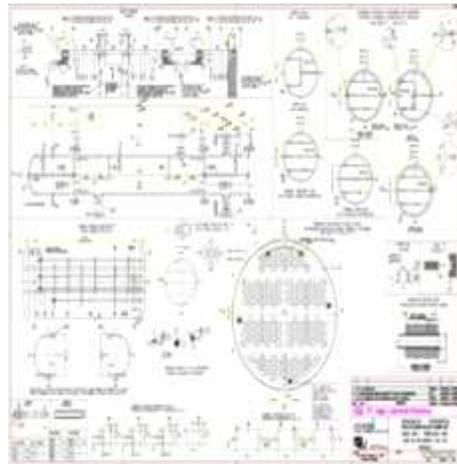
- a. Tipe kontak langsung adalah tipe penukar kalor dimana antara 2 zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau di kontakkan secara langsung, Dengan demikian ciri khas penukar kalor kontak langsung adalah kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak langsung atau bercampur dan biasanya kapasitas energi yang dipertukarkan relatif besar.
- b. Tipe tidak kontak langsung adalah tipe penukar kalor dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding, pipa, pelat, dll sehingga antara kedua zat tidak tercampur. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung.[2]
- c. Berdasarkan bentuknya, jenis heat exchanger dibedakan menjadi:
  1. Penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*). Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau searah arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin. Cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa. Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standar yang di kedua ujungnya di las menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju aliran fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.
  2. Penukar panas *plate and frame (plat and frame heat exchanger)* Yaitu alat penukar panas pelat dan bingkai terdiri dari paket pelat-pelat tegak lurus, bergelombang, atau dipasang penyekat lunak (biasanya terbuat dari karet). Pelat-pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat 10 (kebanyakan segi empat terdapat lubang pengalir fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat.
  3. Tipe spiral (*spiral heat exchanger*) yaitu penukar kalor tipe spiral arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat spiral menuju ke luar, Permukaan perpindahan kalor efektif adalah sama dengan dinding spiral sehingga sangat tergantung pada lebar spiral dan diameter serta berapa jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.

Tipe heat exchanger yang paling umum digunakan dalam industri adalah tipe shell and tube. Heat exchanger tipe shell and tube terdiri dari kumpulan *tube* di dalam suatu *shell*. Satu fluida mengalir di dalam tube sedang fluida yang lain mengalir di ruang antara *bundle tube* dan *shell*. Komponen penyusun head exchanger jenis *shell and tube* yaitu:

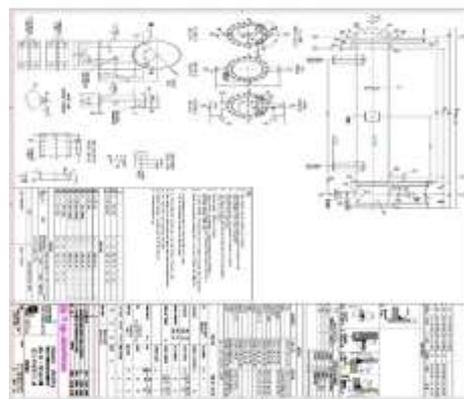
1. *Shell* yaitu merupakan tempat untuk *tube bundle*. Antara *shell dan tube bundle* terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas, yang dimaksud dengan lintasan *shell* adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida yang mengalir ke dalam melalui saluran masuk (*inlet nozzle*) melewati bagian dalam *shell* dan mengelilingi *tube* kemudian keluar melalui saluran keluar (*outlet nozzle*).
2. *Tube* merupakan pipa kecil yang ada di dalam heat exchanger. Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat ketat. *Tube* dapat dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Ukuran ketebalan pipa berbeda beda dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut *birmingham wire gauge (BWG)*. Ukuran pipa yang secara umum digunakan biasanya mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku, semakin besar bilangan BWG, maka semakin tipis tubenya. Jenis jenis *tube pitch* yang utama adalah *square pitch, triangular pitch, square pitch rotated dan triangular pitch with cleaning lanes*. [3]
3. *Pass divider* yaitu komponen yang berupa plat yang di pasang di dalam *channels* untuk membagi aliran fluida *tube* bila diinginkan jumlah *tube pass* lebih dari satu.
4. *Baffle* adalah alat yang berfungsi untuk mengatur aliran lewat *shell* sehingga turbulensi yang lebih tinggi akan diperoleh. Adanya *baffle* dalam *shell* menyebabkan arah aliran fluida dalam *shell* akan memotong kumpulan *tube* secara tegak lurus, sehingga memungkinkan pengaturan arah aliran dalam *shell* maka dapat meningkatkan kecepatan liniernya, sehingga akan meningkatkan koefisien perpindahan panas lapisan fluida di sisi *shell*. *Baffle* juga berfungsi untuk menahan *tube bundle* untuk menahan getaran pada *tube* dan untuk mengontrol serta mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar *tube* sehingga turbulensi yang lebih tinggi akan diperoleh, dengan adanya turbulensi aliran maka koefisien perpindahan panas juga akan meningkat. [4]

Kronologi terjadinya Penurunan Tekanan pada Heat Exchanger E301 Pada saat PKL peneliti berada di department engineering dan di tempatkan di divisi Mechanic. Disana peneliti diberi tanggungjawab oleh supervisor mengenai masalah di bagian Heat Exchanger E301 yaitu pada awal mula proses produksi berjalan. Waktu untuk melakukan proses cleaning Heat Exchanger E301 diadakan 1 bulan sekali. Seiring berjalannya waktu, proses cleaning menjadi lebih singkat karena sering terjadi penyumbatan di tube Heat Exchanger E301. Berdasarkan masalah yang terjadi proses *cleaning* pada Heat Exchanger E301 menjadi sering diadakan cleaning yaitu 2 minggu sekali. Pada saat *cleaning* peneliti memerlukan waktu seminggu waktu kerja (5 hari kerja) sehingga mengganggu proses produksi.

Berikut adalah data unit dari Heat Exchanger E301 :



**Gambar 1.** Data Unit Heat Exchanger E301



**Gambar 2.** Data Unit Heat Exchanger E301

#### Analisa Penyebab Terjadinya Penurunan Tekanan Heat Exchanger E301

Berikut adalah analisa penyebab terjadinya Penurunan Tekanan Heat Exchanger E301 antara lain adalah sebagai berikut:

##### a. Pengecekan pada Jalur Oli

Gambar 1.3 adalah pada saat waktu pengecekan jalur oli dari tangki penampungan yang akan masuk ke heat Exchanger E301 untuk melihat kotoran yang ada di tangki penampungan.



**Gambar 3.** Pengecekan Jalur Oli dan Tangki

**b. Pengecekan Filter Oli yang Masuk ke Tangki Penampungan**

Gambar 1.4 adalah pada saat filter oli yang akan masuk ke tangki penampungan yang selanjutnya akan dialirkan ke Heat Exchanger E301.



**Gambar 4.** Pengecekan Filter Oli

**d. Pengecekan dan Pembersihan *Shell Side***

Gambar 1.5 adalah pengecekan dan pembersihan *shell side* dengan menggunakan bor dengan mata bor khusus untuk membersihkan shell heat exchanger dan setelah itu di bilas dengan air bertekanan tinggi.



**Gambar 5.** Pengecekan dan Pembersihan *Shell* Heat Exchanger E301

e. **Pengecekan Kotoran yang Ada di Tangki**

Gambar 1.6 adalah pengecekan kotoran yang ada di dalam tangki penampungan.



**Gambar 1.6** Pengecekan kotoran yang ada di dalam tangki

f. **Diagram Fishbone**

**Tabel 1.** Keterangan Diagram Fishbone

Jenis	Faktor	Keterangan	Iya/Tidak
Material	Bahan baku buruk	Bahan baku membawa kotoran	Iya
	Bad material	Kualitas material buruk	Tidak
Metode	Waktu operasi lama	Tidak adanya unit Heat exchanger E301 pengganti	Tidak
	Tidak adanya SOP <i>cleaning</i>	Tidak adanya SOP <i>cleaning</i> Heat exchanger E301	Tidak
	Suhu yang tinggi	Suhu yang tinggi menyebabkan kotoran lebih cepat mengendap	Iya
Man	Kesalahan perawatan	Kesalahan dalam perawatan hingga menyebabkan penurunan tekanan	Tidak
	Kesalahan pembersihan	Kesalahan dalam melakukan proses <i>cleaning</i>	Tidak
Machine	Tidak adanya filter	Tidak adanya filter oli yang akan masuk ke heat exchanger	Iya

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa dari permasalahan yang sudah di analisa yaitu bahan baku membawa kotoran seperti lumpur lama kelamaan terjadi pengendapan ditambah lagi dengan suhu yang tinggi menyebabkan kotoran menjadi lengket mirip seperti gel sehingga mempercepat terjadinya penyumbatan dan sebaiknya ditambahkan filter untuk mengurangi pengendapan yang ada di heat exchanger E301.[5]

#### IV.KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari semua pembahasan yang disampaikan dari laporan PKL tentang Penurunan Tekanan Heat Exchanger E301 adalah sebagai berikut:

1. Akumulasi fouling, perubahan aliran fluida, dan kerusakan struktur dapat mempengaruhi penurunan tekanan pada heat exchanger E301 dengan cara berikut:
  - a. Fouling: Akumulasi deposit seperti endapan scale atau kotoran pada permukaan pertukaran panas dapat menyebabkan peningkatan hambatan aliran, yang kemudian menurunkan tekanan aliran fluida.
  - b. Perubahan Aliran Fluida: Modifikasi dalam aliran fluida, seperti perubahan kecepatan atau arah aliran, bisa menciptakan distribusi tekanan yang tidak merata di dalam heat exchanger, menyebabkan penurunan tekanan secara keseluruhan.
  - c. Kerusakan Struktur: Kerusakan pada struktur heat exchanger, misalnya retak atau kebocoran, dapat mengakibatkan kebocoran fluida atau mengubah jalur aliran, yang berdampak pada penurunan tekanan.
2. Penurunan tekanan pada heat exchanger E301 dapat memiliki dampak serius terhadap efisiensi pertukaran panas dalam sistem. Beberapa dampaknya melibatkan:
  - a. Peningkatan Konsumsi Energi: Penurunan tekanan memerlukan daya pompa yang lebih besar untuk mempertahankan aliran fluida yang diinginkan melalui heat exchanger. Ini menyebabkan peningkatan konsumsi energi untuk menjaga kinerja sistem.
  - b. Kenaikan Suhu Keluaran: Jika efisiensi pertukaran panas menurun, suhu fluida keluaran heat exchanger dapat meningkat. Hal ini dapat mempengaruhi performa keseluruhan sistem yang bergantung pada suhu fluida keluaran untuk berbagai keperluan.
  - c. Pengurangan Efisiensi Global Sistem: Efisiensi global sistem, terutama pada sistem yang melibatkan berbagai komponen dan heat exchanger, dapat terpengaruh secara signifikan. Penurunan efisiensi pada satu titik dapat merambat dan mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.
  - d. Kerusakan Komponen Lain: Penurunan tekanan dan efisiensi pada heat exchanger dapat memberikan beban tambahan pada komponen lain dalam sistem, seperti pompa dan motor. Ini dapat mempercepat keausan dan mengurangi umur pakai komponen tersebut.
  - e. Peningkatan Biaya Operasional: Dengan meningkatnya konsumsi energi dan potensi kerusakan pada komponen, biaya operasional sistem secara keseluruhan dapat meningkat.
3. Peningkatan efisiensi pemantauan dan perawatan rutin pada heat exchanger E301 dan menangani cepat masalah seperti penurunan tekanan dengan cara berikut:
  - a. Implementasi Sistem Pemantauan Otomatis: Meningkatkan efisiensi dengan memasang sensor otomatis pada heat exchanger untuk pemantauan real-time, memungkinkan deteksi dini dan respons cepat terhadap perubahan tekanan.
  - b. Penjadwalan Perawatan Terprogram: Mengembangkan jadwal perawatan rutin yang terprogram berdasarkan data pemantauan, sehingga pemeliharaan dapat dilakukan sebelum terjadi penurunan signifikan dalam kinerja heat exchanger.
  - c. Pelatihan Operator: Memberikan pelatihan kepada operator untuk meningkatkan pemahaman tentang tanda-tanda awal penurunan tekanan dan masalah umum lainnya, sehingga mereka dapat merespons dengan cepat.
  - d. Analisis Data Prediktif: Menerapkan analisis data prediktif untuk mengidentifikasi pola yang dapat mengindikasikan masalah potensial, sehingga tindakan pencegahan dapat diambil sebelum terjadi penurunan kinerja.
  - e. Prosedur Penanganan Darurat: Menyusun prosedur penanganan darurat yang jelas dan pelatihan untuk tim respons cepat dalam mengatasi masalah tekanan turun atau kegagalan fungsi heat exchanger.

- f. Pembaruan Teknologi Perawatan: Melibatkan teknologi terkini dalam pemeliharaan, seperti pemantauan jarak jauh dan sistem kontrol cerdas, untuk meningkatkan efektivitas dan mengurangi waktu respons terhadap masalah.
- g. Audit Rutin: Melakukan audit rutin terhadap sistem pemantauan dan perawatan untuk memastikan bahwa prosedur dan peralatan terus memenuhi standar kualitas dan efisiensi yang diinginkan.

## B. Saran

1. Memberikan filter oli terlebih dahulu sebelum masuk ke Heat Exchanger E301.
2. Memberikan *quality control* untuk oli yang akan masuk ke Heat Exchanger E301.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang turut serta dalam kelancaran penelitian serta pembuatan artikel ini. Terutama kepada yang telah memberikan izin tempat untuk melakukan analisa dan kepada pihak pembimbing yang telah membantu menyempurnakan penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] N. Nurhasanah and D. C. Pratiwi, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger 05 (HE-05) Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PPSDM MIGAS Cepu)," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, vol. 12, no. 2, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37525/sp/2022-01/340>
- [2] D. Rahmawaty and I. H. Hadi, "Design of Tube Temperature Control System on Mini Plant Shell and Tube Heat Exchanger Study Program of D3 Metrology and Instrumentation Department of Engineering Physics Faculty of Industrial Technology Sepuluh November Institute of Technology Surabaya," 2016.
- [3] R. Syahputra, "Simulasi Pengendalian Temperatur pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif," in *Jurnal Teknologi*, vol. 8, no. 2, 2015.
- [4] A. T. Wahyudi, F. Leestiana, and R. Widodo, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger pada Fasilitas Kilang PPSDM Migas dengan Metode Perhitungan Fouling Factor," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, vol. 12, no. 1, 2022. <https://doi.org/10.37525/sp/2022-1/322>
- [5] B. Wisely Ziliwu et al., "Pengoperasian dan Perawatan Sistem Pendingin pada Mesin Induk Kapal KM. Sido Mulyo Santoso di PPN Sibolga Operation and Maintenance of Cooling System on Main Engine KM. Sido Mulyo Santoso at PPN Sibolga," [www.maritimeworld.web.id](http://www.maritimeworld.web.id), 2021.