

EVALUASI ALAT *HEAT EXCHANGER* E-2501 PADA PABRIK ASAM FOSFAT I DEPARTEMEN PRODUKSI IIIA PT PETROKIMIA GRESIK

Salsabila¹, Asalil Mustain¹, Delfian Lutfiananda²

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

²Departemen Produksi IIIA, PT Petrokimia Gresik, Jl. Jenderal Ahmad Yani, Ngipik, Karangpoh,
Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61119, Indonesia
caca32salsabila@gmail.com ; asalil89@polinema.ac.id

ABSTRAK

Sumber daya alam adalah kebutuhan utama makhluk hidup dengan berbagai macam jenisnya, salah satunya adalah sumber kebutuhan pokok yang cukup melimpah. PT Petrokimia Gresik adalah salah satu industri yang memproduksi pupuk dengan kualitas tinggi untuk menunjang kesejahteraan di bidang pertanian. *Heat exchanger* E-2501 adalah alat yang digunakan sebagai perpindahan panas dan berfungsi sebagai pemanas pada proses produksi asam fosfat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi E-2501 yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu perhitungan efisiensi perpindahan panas, *fouling factor*, dan *pressure drop*. Metodologi penelitian yang digunakan adalah observasi selama 5 hari untuk mendapatkan kondisi operasi E-2501 yang terdiri dari suhu, tekanan fluida, dan laju alir. Hasil dari evaluasi E-2501 yaitu efisiensi perpindahan panas sebesar 74,98%, *fouling factor* sebesar 0,0134 Btu/jam.ft².°F, *pressure drop* pada *shell* sebesar 5,8 x 10⁻¹⁷ Psi dan *pressure drop* pada *tube* sebesar 2,3548 Psi. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa E-2501 mampu beroperasi cukup bagus walaupun mengalami penurunan kinerja. Maka dari itu, PT Petrokimia Gresik diharapkan untuk terus meningkatkan perawatan E-2501 secara berkala dengan melakukan pembersihan dan perbaikan supaya proses produksi berjalan dengan optimal.

Kata kunci: alat penukar panas, asam fosfat, efisiensi panas, *fouling factor*, *pressure drop*

ABSTRACT

Natural resources are the main needs of living things with various types, one of which is a fairly abundant source of basic needs. PT Petrokimia Gresik is one of the industries that produces high quality fertilizers to support welfare in agriculture. *Heat exchanger* E-2501 is a tool used as heat transfer and functions as a heater in the phosphoric acid production process. The purpose of this research is to evaluate E-2501 which is influenced by several factors, namely the calculation of heat transfer efficiency, *fouling factor*, and *pressure drop*. The research methodology used is observation for 5 days to obtain E-2501 operating conditions consisting of temperature, fluid pressure, and flow rate. The results of the E-2501 evaluation are heat transfer efficiency of 74.98%, *fouling factor* of 0.0134 Btu/hr.ft².°F, *pressure drop* on the *shell* of 5.8 x 10⁻¹⁷ Psi and *pressure drop* on the *tube* of 2.3548 Psi. This study can be concluded that E-2501 is able to operate quite well despite experiencing a decrease in performance. Therefore, PT Petrokimia Gresik is expected to continue to improve E-2501 maintenance periodically by cleaning and repairing so that the production process runs optimally.

Keywords: heat exchanger, phosphoric acid, heat efficiency, *fouling factor*, *pressure drop*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan daerah tropis dan negara agraris yang memiliki sektor pertanian yang cukup unggul [1]. PT Petrokimia Gresik adalah salah satu produsen pupuk terlengkap yang ada di Indonesia, yang berlokasi di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik adalah salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang dinaungi oleh PT Pupuk Indonesia *Holding Company*. PT Petrokimia Gresik bergerak di bidang produksi pupuk, bahan-bahan kimia, jasa konstruksi, dan *engineering* [2]. Salah satu unit produksi yang terdapat di PT Petrokimia Gresik adalah Pabrik III A dimana terdapat beberapa sub unit yang terbagi lagi yaitu asam fosfat dengan kapasitas produksi 172.450 ton/tahun, asam sulfat, ZA II, AlF_3 dan *Cement Retarder* [3]. Pabrik III A adalah salah satu elemen produksi penting dengan bahan baku utama dalam pembuatan pupuk majemuk seperti NPK dengan merk dagang Phonska, ZK (Kalium Sulfat), petrorganik non-majemuk antara lain CO_2 cair, CO_2 padat (*dry ice*), ammonia, asam sulfat, asam fosfat, AlF_3 (aluminium florida), *gypsum*, N_2 , O_2 dan juga produk samping [4].

Pada PT Petrokimia Gresik terdapat beberapa alat yang memiliki peran penting dalam produksi, salah satu alat penting yang terdapat di pabrik asam fosfat yaitu *heat exchanger* (E-2501). Semakin lama penggunaan alat dalam industri maka efisiensi kinerja semakin menurun, maka dari itu evaluasi kinerja alat harus dilakukan [5]. Evaluasi bertujuan untuk mengetahui sebab terjadinya penurunan kinerja pada alat *heat exchanger* (E-2501) [6] berdasarkan hasil analisis efisiensi yang dilakukan. *Basic process* unit pada asam fosfat yaitu *phosphate rock* dari *circular storage* yang dipisahkan dengan menggunakan *ball mill* yang direaksikan dengan asam sulfat, *return acid*, dan *recycle slurry* menjadi produk berupa asam fosfat. Pada proses *hemihydrate slurry* dikirim pada pan filter 1 dengan melakukan penyaringan sebagai pemisahan *hemihydrate cake*, *first filtrate* (P_2O_5) sebesar 45% dan *return acid* (P_2O_5) sebesar 33%. Hasil *filter cake* 1 yang berasal dari *hemihydrate cake* dilarutkan dan direaksikan dengan asam sulfat menjadi *dihydrate* dalam *hydration tank 1*. Selanjutnya, *dihydrate slurry* dari *hydration tank 2* dikirim menuju *pan filter 2*. Hasil *cake* dikirim ke *phospho gypsum storage* atau menuju proses *purified gypsum plant* dengan menggunakan alat conveyor. Pada gas *fluorine* yang berasal dari *digester*, *filtration* dan *hydration tank* diserap pada *fluorine scrubber* dengan menggunakan *recycle water* dari *fume scrubber* yang menghasilkan *fluosilic acid* (H_2SiF_6) melalui reaksi silika dan air (H_2O). *First filtrate* dari *filter acid storage tank* dilakukan sirkulasi yang dilewatkan pada *heater* yang masuk pada *vaporizer* dengan memekatkan konsentrasi P_2O_5 menjadi 54% dan dikirim menuju *cooling tank*. Hasil *phosphoric acid* disirkulasikan ke *acid cooler* dengan mendinginkan suhu dari $88^\circ C$ menjadi $65^\circ C$. *Acid product* yang telah didinginkan akan dipompa menuju *clarifier* dan dialirkan secara *over flow* menuju *cooler tank* (TK-2511), produk tersebut dikirim menuju *acid storage tank* yaitu *tank yard area* [7].

Pada tahun 2019, Sada melakukan evaluasi kinerja *heat exchanger* (E-2501) pada unit asam fosfat Departemen Produksi III A PT Petrokimia Gresik. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa *heat exchanger* (E-2501) memiliki prinsip kerja yaitu pemanasan aliran fluida H_3PO_4 dengan menggunakan *steam*. Jika *heat exchanger* dalam keadaan baru, permukaan logam pipa pemanas masih dalam keadaan bersih. Setelah dioperasikan dalam beberapa waktu, lapisan kerak akan terbentuk dan menyebabkan permukaan pipa menjadi

kotor. Lapisan kerak tersebut berdampak pada koefisien perpindahan panas [8]. Hasil analisis perhitungan Sada menunjukkan bahwa *heat exchanger* masih dikatakan layak digunakan karena nilai *fouling factor* sebesar 0,0126 Btu/jam.ft².F. Sedangkan, hasil *pressure drop (shell)* menunjukkan nilai sebesar 0,43 Psi dan *pressure drop (tube)* sebesar 2,35 Psi. Hasil tersebut masih memasuki rentang nilai yang diizinkan oleh Kern. Penelitian tersebut menyampaikan bahwa *heat exchanger* masih layak digunakan karena efisiensi data aktual sebesar 88,27% [9]. Penelitian yang dilakukan kali ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi *heat exchanger* (E-2501) yang mempertimbangkan beberapa faktor yaitu perhitungan efisiensi perpindahan panas, *fouling factor*, dan *pressure drop* pada bagian produksi Asam Fosfat Departemen Produksi III A PT Petrokimia Gresik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan dalam mengevaluasi *heat exchanger* (E-2501) menggunakan metode studi literatur, teknik pengumpulan data dan perhitungan nilai efisiensi pada *heat exchanger* (E-2501) bagian Asam Fosfat Departemen Produksi III A PT Petrokimia Gresik. Detail dari masing-masing tahapan dijelaskan sebagai berikut:

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari pengamatan selama 5 hari pada tanggal 12 hingga 16 Juli 2023 dari *control room* yang meliputi data suhu, tekanan dan laju alir di Departemen III A Pabrik Asam Fosfat I PT Petrokimia Gresik. Perhitungan efisiensi kinerja alat *heat exchanger* yang dapat dilakukan dengan menggunakan metode Kern [10].

2.2. Perhitungan Evaluasi Kinerja Heat Exchanger E-2501 dengan Metode Kern (1983)

Efisiensi panas merupakan nilai perbandingan dari panas yang dimanfaatkan dengan panas yang masuk ke dalam sistem. Efisiensi adalah salah satu indikator penting yang bertujuan untuk mengetahui seberapa baik hasil konversi dari energi atau pertukaran panas yang terjadi. Prinsip kerja *heat exchanger* (E-2501) yaitu memindahkan panas dari dua fluida dengan suhu yang berbeda. *Heat exchanger* (E-2501) Departemen III A Pabrik Asam Fosfat I PT Petrokimia Gresik memindahkan panas dari *steam* ke fluida dingin H₃PO₄. Langkah analisis perhitungan efisiensi *heat exchanger* adalah sebagai berikut:

- Analisis properti fluida, neraca massa, dan neraca panas
Penentuan properti dapat digunakan sebagai perhitungan neraca panas.
Perhitungan neraca panas adalah sebagai berikut:

$$Q_{Hot} = Q_{Cold} \quad (1)$$

$$W_{Hot} \cdot C_{P1} \cdot (T_1 - T_2) = W_{Cold} \cdot C_{P2} \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Keterangan:

Q = Jumlah panas pindah (Btu/hour)

W = Laju massa fluida (lb/hour)

C_{P1} = *Specific heat steam* (Btu/lb.°F)

C_{P2} = *Specific heat H₃PO₄* (Btu/lb.°F)

T₁ = Suhu masuk *steam* (°F)

T₂ = Suhu keluar *steam* (°F)

t₁ = Suhu masuk H₃PO₄ (°F)

t₂ = Suhu keluar H₃PO₄ (°F)

- Perhitungan nilai *Logarithmic Mean Temperature Difference* (ΔT_{LMTD})

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.3 \log \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} \quad (3)$$

Keterangan:

$$\Delta t_1 = T_2 - t_1$$

$$\Delta t_2 = T_1 - t_2$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{t_1 - t_1} \quad (5)$$

F_T adalah faktor koreksi dari Gambar 19 pada Kern [10]

$$\Delta T = \Delta T_{LMTD} \cdot F_T \quad (6)$$

- Perhitungan *Caloric Temperature*

Nilai K_C dan F_C dari plot grafik Gambar 17 pada Kern [10]

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{T_1 - t_2}{T_2 - T_1} \quad (7)$$

$$T_C = T_2 + (F_C(T_1 - T_2)) \quad (8)$$

$$T_C = T_1 + (F_C(t_2 - t_1)) \quad (9)$$

- Perhitungan *flow area, mass velocity, dan Reynold Number* (Re)

Flow area pada *shell and tube*:

$$a_s = \frac{ID_S \cdot C' \cdot B}{144 \cdot Pt} \quad (10)$$

$$a_t = \frac{N_t \cdot a'}{144 \cdot n} \quad (11)$$

$$G = \frac{W_{s/t}}{a_{s/t}} \quad (12)$$

Keterangan:

a_s = *Flow area shell* (ft²)

a_t = *Flow area tube* (ft²)

ID_S = *Internal Diameter Shell* (in)

C' = *Clearence* (in)

Pt = *Tube Potch* (in)

B = *Baffle Space* (in)

N_t = *Jumlah tube*

N = *Jumlah Passes*

G = *Mass velocity* (lb/hour.ft²)

Bilangan Reynold:

$$N_{Re} = \frac{D \cdot G}{\mu} \quad (13)$$

- Perhitungan nilai koefisien perpindahan konveksi

Perhitungan nilai koefisien h_o , h_i , dan h_{io} memerlukan data konduktivitas termal fluida (k) dari Gambar 16, sedangkan j_H dari Gambar 24 dan Gambar 28 pada Kern [10]

$$h_o = j_{Hs} \cdot \frac{k}{De} \cdot \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \phi_s \quad (14)$$

$$h_o = j_{Ht} \cdot \frac{k}{ID} \cdot \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \phi_t \quad (15)$$

$$h_{io} = h_i \cdot \frac{ID}{OD} \quad (16)$$

$$\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (17)$$

μ_w adalah viskositas fluida pada suhu *tube wall temperature* (T_w)

$$T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_o}{\phi_s} + \frac{h_{io}}{\phi_t}} \cdot (T_c - t_c) \quad (18)$$

- Perhitungan *fouling factor* (R_d)

$$U_d = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \quad (19)$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \quad (20)$$

$$A = a'' \cdot L \cdot N_t$$

Keterangan:

a'' = *External surface per linear foot* pada Kern [10]

L = *Length tube*

N_t = Jumlah *tube*

- Perhitungan *pressure drop* (ΔP)

Shell:

$$N + 1 = \frac{12 \cdot L}{B} \quad (21)$$

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot ID_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot De \cdot Sg \cdot \phi_s} \quad (22)$$

Tube:

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot ID_t \cdot Sg \cdot \phi_t} \quad (23)$$

$$\Delta P_n = \frac{4n}{s} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (24)$$

Nilai $\frac{v^2}{2g}$ dari Gambar 27 pada Kern [10]

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_t + \Delta P_n \quad (25)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi desain dan aktual *Heat Exchanger* (E-2501) pada PT Petrokimia Gresik dapat dilihat pada Tabel 1 – 4 sebagai berikut:

Tabel 1. Data operasi desain *Heat Exchanger* (E-2501)

Keterangan	Tube Side	Shell Side
<i>Fluid</i>	H ₃ PO ₄	Steam
<i>Flowrate</i> (ton/h)	60,2	13,35
Densitas (kg/m ³)	1494,1	947,3
Viskositas (cp)	1,802	0,243
Konduktivitas (Kcal/h.m.°C)	0,464	0,586
<i>Heat Capacity</i> (kcal/Kg°C)	5,5	1,014
Suhu Masuk (°C)	50,00	110
Suhu Masuk (°F)	122,0	230

Keterangan	Tube Side	Shell Side
Suhu Keluar (°C)	88	110
Suhu Keluar (°F)	190,4	230

Tabel 2. Data spesifikasi desain *Heat Exchanger* (E-2501)

Keterangan	Tube Side	Shell Side
<i>Number of Passe</i>	1	1
<i>Operating Pressure</i> (kg/cm ² G)	1,2	10,70
<i>Pressure Drop</i> (Psi)	1,7	-
Φ	3,2	8,1
<i>SG (Spesific Gravity)</i>	1,7	0,00008
<i>Fouling Factor</i> 0,0682 h.ft ² .F/Btu		
<i>LTMTD Corrected</i> 39,3		
<i>Bundle od 421 tubes in Graphite, OD 50,8 mm ID Shell 38,1 in</i>		
<i>Tube length</i> = 6123 mm	<i>Pitch</i> 57,8	
<i>Baffle spacing</i> = 950 mm	<i>Cut</i> 45%	

Tabel 3. Data operasi aktual *Heat Exchanger* (E-2501)

Keterangan	12 Juli	13 Juli	14 Juli	15 Juli	16 Juli
Suhu Masuk H ₃ PO ₄ (°C)	100	100	100	100	100
Suhu Keluar H ₃ PO ₄ (°C)	112	115	110	108	118
Suhu Masuk <i>Steam</i> (°F)	145	155	152	150	154
Suhu Keluar <i>Steam</i> (°F)	114	117	113	117	110
Konsentrasi H ₃ PO ₄ (%)	50,86	52,61	52,99	52,13	51,52
<i>Flowrate</i> H ₃ PO ₄ (kg/hour)	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000
<i>Flowrate</i> <i>Steam</i> (kg/hour)	12.200	8.400	11.900	8.000	12.500

Tabel 4. Hasil perhitungan pada *Heat Exchanger* (E-2501)

Keterangan	Hasil Perhitungan Rata – rata
Efisiensi Panas (%)	75
<i>Fouling Factor</i> (Btu/jam.ft ² .°F)	0,0134
<i>Pressure Drop Shell</i> (Psi)	5,8 x 10 ⁻¹⁷
<i>Pressure Drop Tube</i> (Psi)	2,3457

Penelitian kali ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung pada Tabel 1 untuk *Heat Exchanger* (E-2501). Pengambilan data dilakukan selama 5 hari dan dirata-rata yang bertujuan untuk mengetahui hasil pengoperasian. Analisis yang dilakukan pertama kali pada penelitian ini adalah menghitung efisiensi panas. Efisiensi panas adalah nilai perbandingan

dari panas yang dimanfaatkan dengan panas yang masuk ke dalam sistem. Didapatkan hasil pada Tabel 3 dan Tabel 4 analisis efisiensi panas untuk data desain dan data aktual pada tanggal 12 – 16 Juli 2023 yaitu sebesar 77% untuk data desain dan sebesar 75% untuk data aktual. Dari analisis tersebut, efisiensi panas data aktual mengalami penurunan dibandingkan data desain. Hal tersebut dikarenakan terjadi penyumbatan aliran pada beberapa *tube*, akibat penggunaan yang terlalu lama [11]. Hal tersebut juga disebabkan oleh *scalling* pada beberapa *tube* yang mengakibatkan pertukaran panas kurang maksimal [12] sehingga berpengaruh terhadap peningkatan biaya perawatan [13]. Peningkatan performa perlu dilakukan dengan cara pembersihan menggunakan *water cleaning* sebanyak 2 kali selama 1 bulan [14] dan pemberian *plug* pada *tube* jika terjadi kebocoran atau kerusakan pada *heat exchanger* [15]. Penggantian insulasi termal disepanjang fluida saat proses pada alat *heat exchanger* perlu dilakukan juga agar perpindahan panas lebih maksimal [16].

Selain efisiensi panas, analisis *fouling factor* (Rd) juga diperlukan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekotoran pada *heat exchanger* [17]. *Fouling factor* merupakan suatu padatan atau hambatan yang terdapat di permukaan alat penukar panas [18]. Hasil analisis nilai *fouling factor* untuk data desain dan data aktual pada tanggal 12 – 16 Juli 2023 yaitu sebesar 0,0682 Btu/jam.ft².°F untuk data desain dan sebesar 0,0134 Btu/jam.ft².°F untuk data aktual. Dari analisis tersebut, *fouling factor* aktual jauh lebih rendah daripada desain. Hal tersebut menunjukkan bahwa *heat exchanger* masih berfungsi dengan baik apabila ditinjau dari sisi nilai *fouling factor*.

Nilai *pressure drop* (ΔP) dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu tekanan, kecepatan fluida, *flowrate*, diameter, temperatur dan viskositas pada aliran fluida [19]. Hasil analisis *pressure drop* untuk data desain dan data aktual pada tanggal 12 – 16 Juli 2023 yaitu sebesar $9,9 \times 10^{-17}$ untuk *shell* pada data desain dan sebesar 2,3548 Psi untuk *tube* pada data desain, dengan perbandingan yaitu sebesar $5,8 \times 10^{-17}$ Psi untuk *shell* pada data aktual dan sebesar 2,3548 Psi untuk *tube* pada data aktual. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* dari data aktual lebih rendah dari nilai *pressure drop* data desain. Sehingga, berdasarkan tinjauan analisis nilai *pressure drop*, operasi *heat exchanger* masih menunjukkan performa yang baik. Pada umumnya, apabila *heat exchanger* memiliki nilai efisiensi yang turun dibandingkan data desain maka nilai *pressure drop* akan tinggi. Akan tetapi, kondisi yang berbeda ditemukan pada Heat Exchanger (E-2501). Hal ini dipengaruhi oleh *flowrate* data aktual yang dibawah nilai data desain.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan rata-rata efisiensi panas aktual sebesar 75% yang mengalami penurunan dibandingkan dengan data desain. Nilai *fouling factor* (Rd) aktual sebesar 0,0134 Btu/jam.ft².F dibawah nilai data desain sebesar 0,0682 Btu/jam.ft².F yang menunjukkan performa baik. Nilai *pressure drop* (ΔP) dari *shell* pada data aktual sebesar $5,8 \times 10^{-17}$ Psi dan hasil *pressure drop* (ΔP) dari *shell* pada data desain sebesar $9,9 \times 10^{-17}$ Psi. Sedangkan, data *pressure drop* (dP) dari *tube* pada data aktual sebesar 2,3547 Psi dan data *pressure drop* (ΔP) dari *tube* pada data desain sebesar 2,3548 Psi. Sehingga, nilai *pressure drop* tidak terjadi masalah.

Untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dari kinerja alat *Heat Exchanger* (E-2501), pembersihan dan perawatan perlu dilakukan secara rutin karena pengotor yang ada dalam beberapa *tube* di *heat exchanger* dapat mempengaruhi performa pertukaran panasnya.

REFERENSI

- [1] A. W. Maulana, D. Rochdiani, dan Sudrajat, "Analisis Agroindustri Tahu (Studi Kasus Desa Cisadap)," *Jurnal Ilmu Mahasiswa Agroinfo Galuh*, vol. 7, hal. 237–243, 2020.
- [2] M. D. Mahendra, "Laporan Magang Industri Pt. Petrokimia Gresik", *Program Studi S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2021.
- [3] A. P. Putri dan C. P. Lestari, "Laporan Kerja Praktek PT. Petrokimia Gresik Bagian Perencanaan dan Pengendalian Departemen Produksi III A", no. 1500020151, 2017.
- [4] T. Firmansyah Firdaus, "Laporan Kerja Praktek Departemen Produksi II A PT Petrokimia Gresik", *Departemen Teknik Kimia Universitas Internasional Semen Indonesia Gresik 2*, no. 2031710052, 2021.
- [5] E. N. N. A. Ansar, A. Maylia, A. Chumaidi, dan A. Kresmagus, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (E-3101) Pada Pabrik Alf3 Departemen Produksi III B Pt Petrokimia Gresik," *Jurnal Distilat Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 218–223, 2023.
- [6] D. P. Nugroho, S. Rulianah, R. Raharjo, dan C. Sindhuwati, "Evaluasi Faktor Kekotoran Pada Heat Exchanger – 03 Crude Distillation Unit Di Ppsdm Migas Cepu," *Jurnal Distilat Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 64–71, 2023.
- [7] S. Febrianti, "Laporan Kerja Praktik Implementasi Strategi New Product Development Di Departement Riset PT Petrokimia Gresik," *Indonesia High Education.*, vol. 3, no. 1, hal. 1689–1699, 2021.
- [8] D. Ivananda, R. D. Ahmad, dan M. A. I. Iswara, "Analisis Koefisien Perpindahan Panas Alat Double Pipe Heat Exchanger Berbasis Computational Fluid Dynamics," *Jurnal Distilat Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, hal. 240–250, 2023.
- [9] A. W. Sada, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger E-2501 Pada Unit Asam Fosfat Departemen Produksi III A PT. Petrokimia Gresik," *UPN Veteran Yogyakarta*, vol. 3.4, hal. 26, 2019.
- [10] A. D. Kraus, "D. Q. Kern Process Heat Transfer," *Process, Enhanced, and Multiphase Heat Transfer*, 1996.
- [11] I. E. Rahayu, S. N. Izzah, dan M. R. Hidayat, "Analisis Kinerja Heat Exchanger Pada Preheater Cdu V Di Kilang Ru V Balikpapan," *Jurusan Teknik Kimia Vokasional*, vol. 1, no. 1, hal. 1–9, 2021.
- [12] R. J. Prabaswara, S. Rulianah, C. Sindhuwati, dan R. Raharjo, "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit Ppsdm Migas Cepu," *Jurnal Distilat Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 505–513, 2023.
- [13] A. Shahab dan A. Wahyuningsi, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger - 003 Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (Ppsdm Migas Cepu)," *Jurnal Innovation Knowledge*, vol. 2, no. 8, hal. 3229–3242, 2023.
- [14] L.-A. dan Ohio, "Heat Exchanger Heat Exchanger," *Van Nostrand's Sci. Encycl.*, vol. 20,

- no. 01, hal. 1–5, 2008.
- [15] Muchammad, “Analisis Penurunan Performa Heat Exchanger Stabilizer Reboiler 011E120 di PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap,” *Momentum*, vol. 13, no. 2, hal. 72–77, 2017.
- [16] N. Aurelia, L. Cundari, dan W. Mangkoto, “Studi Kasus Terhadap Alat Penukar Kalor 127-C PUSRI IV Berbasis Simulasi Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI) Dengan Variabel Jumlah Plug dan Material Tube,” *Fakt. Exacta*, vol. 15, no. 4, hal. 223, 2023.
- [17] M. R. Zain, “Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (He - 4000) Dengan Metode Kern,” *Jurnal Distilat Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 415–421, 2023.
- [18] I. A. Setiorini dan A. F. Faputri, “Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Jenis Kondensor 1110-C Tipe Shell and Tube Berdasarkan Nilai Fouling Factor Pada Unit Purifikasi Di Ammonia Plant Pt X,” *Jurusan Teknik Patra Akad.*, vol. 14, no. 01, hal. 23–30, 2023.
- [19] B. Armansyah, “Analisis Pressure Drop Akibat Terjadinya Friction Dengan Persamaan Bernoulli Pada Aliran Pipa Sumur Gas Lapangan Pnn,” *Jurusan Teknik Perminyakan*, vol. 1, no. 1, hal. 1–38, 2021.