

# RANCANG BANGUN DAN ANALISA PERFORMA ALAT PENUKAR PANAS DOUBLE PIPE MENGGUNAKAN METODE LMTD: SEKALA LABORATORIUM

Handik Hendratama<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Institut Teknologi dan Sains Nahdliul Ulama Pasuruan Pasuruan Indonesia

Email: [handik@itsnupasuruan.ac.id](mailto:handik@itsnupasuruan.ac.id)

## Abstrak

Alat penukar panas merupakan alat yang dimanfaatkan untuk meningkatkan atau menurunkan suhu fluida. Salah satu jenis dari alat ini adalah jenis *double pipe*, jenis ini adalah jenis yang paling sederhana jika dibandingkan dengan jenis alat penukar panas yang lain, dimana fluida panas mengalir di bagian *inner-Tube* dan fluida dingin mengalir pada bagian *anulus*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa efisiensi alat penukar panas skala laboratorium dengan fluida panas dan fluida dingin air. Hasilnya menunjukkan efektifitas rata-rata peralatan ini adalah 20% hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan beberapa penelitian lainnya yang pada skala laboratorium hanya menunjukkan efisiensi maksimal pada 17%. *Fouling factor* merupakan hambatan yang menyebabkan turunnya efektifitas *heat exchanger*, semakin besar *fouling factor* maka semakin besar hambatan panas yang disebabkan oleh pipa. Pada penelitian ini menunjukkan besarnya *fouling factor* sebesar 0,006, nilai tersebut lebih besar jika dibandingkan konstanta *fouling factor* yang tersedia. Hasil penelitian menyatakan bahwa terdapat hubungan antara bilangan tidak berdimensi (bilangan Reynold) dengan jumlah panas yang ditransfer oleh fluida panas. Semakin besar nilai Reynold akan semakin besar juga panas yang ditransfer. Meskipun telah memiliki efisiensi yang tinggi namun peralatan ini masih belum dapat digunakan karena beberapa pertimbangan seperti efisiensi dan efektifitas yang rendah.

**Kata Kunci:** Perancangan, Analisa, Mikro Hidro.

## Abstract

A heat exchanger is a tool that is used to increase or reduce fluid temperatures. One type of this tool is a type of *double pipe*, this type is the simplest if compared to other types of heat exchanging devices, where hot fluid flows in the inner tube and cold fluid flows in the *anulus*. This study aims to analyze the efficiency of laboratory scale heat exchanging devices with water hot and cold fluids. The result shows the average effectiveness of this equipment is 20% this result is better when compared to several other studies which on the laboratory scale only show maximum efficiency at 17%. The *fouling factor* is an obstacle that causes a decrease in the effect of heat exchangers, the greater the *fouling factor*, the greater the heat resistance caused by the pipe. This study shows the amount of *Fouling factor* of 0.006, the value is greater than the available *Fouling Factor* constant. The results stated that there is a relationship between *Reynold numbers* with the amount of heat transferred by heat fluid. The greater the value of *Reynold* the greater the expressed heat. Even though it has high efficiency, this equipment can still not be used because of some considerations such as low efficiency and efficient.

**Keywords:** *fouling factor*, *Reynold*, and *double pipe*.

## PENDAHULUAN

Dalam industri kimia, proses pertukaran panas dilakukan dalam sebuah alat penukar panas atau disebut sebagai *heat exchanger* (Septian dkk, 2021). Jika ditinjau dari jumlah pipa yang ada, alat ini dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu *double pipe* dan *shell and tube*. Selain dari jumlah pipa, hal yang membedakan kedua jenis alat tersebut adalah jumlah panas yang dapat di transfer oleh alat tersebut, dimana jenis *shell and tube* dapat memindahkan panas lebih besar jika dibandingkan dengan jenis *double pipe* (Sunu, 2015).

*Double pipe* merupakan alat penukar panas sederhana yang hanya terdiri dari dua pipa yang beda diameter (Sadighi Dizaji dkk, 2015). Pipa kecil yang berada di dalam pipa besar biasa disebut sebagai *Tube-side* atau *Inner tube* sedangkan pipa besar disebut sebagai *Shell-side* atau *Anulus* (Putra, 2017).

Terdapat dua jenis aliran yang terjadi pada alat penukar panas jenis ini. Pertama adalah jenis aliran searah (*cocurrent*) dimana fluida masuk dari arah yang sama sehingga pada bagian fluida masuk terjadi transfer panas antara fluida panas dengan suhu tinggi dengan fluida dingin dengan suhu rendah (Azwinur & Zulkifli, 2019; Ghani & Taufiqurrahman). Kedua jenis aliran berlawanan arah (*Countercurrent*) pada aliran ini fluida panas masuk pada satu ujung sedangkan fluida dingin masuk dari ujung yang lain (Khaled & Vafai, 2003; Yuniarti dkk, 2022).

Effisiensi alat penukar panas jenis double pipe dapat ditentukan dengan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD) (Wicaksono dkk, 2018). Metode ini didasarkan dari perbedaan suhu rata-rata fluida yang melalui alat penukar panas. Konsepnya membandingkan suhu fluida di awal dan di akhir proses transfer panas. Apabila transfer panas terjadi secara steady state maka jumlah panas yang ditransfer oleh fluida panas akan sama dengan jumlah panas yang diterima oleh fluida dingin (Guo dkk, 2010; Li dkk, 2017).

Evaluasi alat penukar panas menggunakan metode LMTD meliputi 2 jenis. Pertama fouling factor ( $R_d$ ) merupakan hambatan yang terjadi pada proses transfer panas yang diakibatkan oleh endapan atau kotoran pada dinding Inner-tube (Hendri dkk., 2018). Hambatan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu karakteristik fluida, suhu, jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan alat penukar panas, laju alir fluida dan lamanya waktu operasi. Kedua penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang dapat disebabkan oleh gaya gesekan fluida dengan permukaan pipa yang kasar (Caroline dan Rosid, 2022).

Studi literatur sebelumnya menunjukkan bahwa pengembangan dan peningkatan alat penukar panas jenis double pipe telah dilakukan. Pengembangan dengan pemanfaatan nano partikel dilakukan oleh (Abdulateef dkk, 2021; Gkountas dkk, 2021). Keduanya meningkatkan efisiensi pertukaran panas menggunakan larutan nanofluid. Hasilnya penambahan nanofluida meningkatkan transfer panas pada peralatan penukar panas.

Penelitian ini melakukan pengujian alat penukar panas skala laboratorium menggunakan air sebagai fluida panas dan fluida dingin. Ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai  $R_d$  dan  $\epsilon$  pipa aluminium sebagai material *inner-Tube*. Selain itu penelitian ini juga menentukan hubungan bilangan tiak berdimensi dengan jumlah transfer panas yang terjadi.

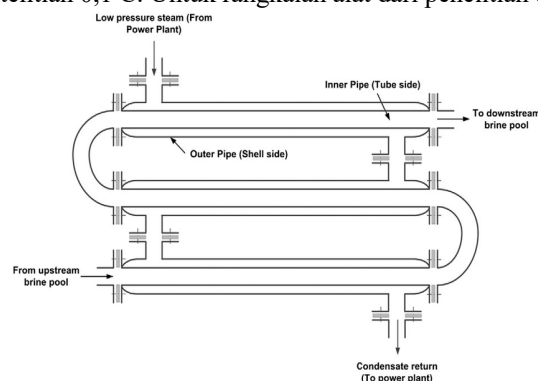
## METODE

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode rancangan acak lengkap dengan dua variabel independen dan dua variabel dependen. Variabel dependen yang digunakan pada penelitian ini adalah laju aliran fluida panas dan suhu masuk fluida panas. Sedangkan variabel dependen yang digunakan adalah suhu keluar fluida panas dan suhu keluar fluida dingin. Untuk laju aliran fluida dingin, jenis aliran dan suhu masuk fluida dingin digunakan sebagai variabel kontrol.

### A. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat penukar panas double pipe dengan diameter inner-Tube 4 mm dan pipa anulus 12,7 mm. Material yang digunakan pada inner-Tube adalah pipa aluminium dengan ketebalan 0,1 mm dengan panjang 90 cm berjumlah 4 buah. Sedangkan Anulus menggunakan pipa PVC dengan ketebalan 0,5 mm. Penggunaan material PVC bertujuan untuk mengurangi jumlah panas yang keluar ke lingkungan akibat dari beda suhu antara fluida dingin dengan suhu lingkungan.

Laju aliran fluida diukur secara manual menggunakan gelas ukur sehingga diperoleh satuan mL/s. Untuk menjaga suhu masuk fluida panas digunakan termostat digital tipe XH-W3001. Dan untuk mengetahui suhu fluida lain digunakan termometer digital dengan tingkat ketelitian 0,1 °C. Untuk rangkaian alat dari penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat *Double pipe* yang digunakan pada penelitian

### B. Prosedur

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menghubungkan jaringan pemipaan dengan jenis aliran cocurrent.
- Menghidupkan pompa aliran fluida panas sebelum dilakukan pemanasan.
- Mengatur valve dan Menentukan waktu yang dibutuhkan oleh fluida untuk mencapai volume 100 mL.
- Mematikan pompa dan melakukan pemanasan fluida hingga suhu yang diharapkan.
- Menghidupkan pompa aliran fluida dingin
- Mengatur valve dan menentukan waktu yang dibutuhkan oleh fluida untuk mencapai volume 100 mL.

- g. Menghidupkan pompa fluida panas ketika tercapai suhu yang diharapkan.
- h. Menunggu hingga suhu *steady state*.
- i. Mencatat suhu keluaran fluida panas dan fluida dingin.

### C. Metode perhitungan

Tahapan penyelesaian menggunakan metode LMTD adalah sebagai berikut ini (Harini, 2017):

- a. Memperkirakan suhu keluar fluida panas pada kondisi steady state

$$Q_{Hw} = Q_{Cw} \quad (1)$$

Karena kapasitas panas fluida yang mengalir sama maka diperoleh

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut dapat ditentukan suhu keluar dari fluida panas.

- b. LMTD

Karena jenis aliran yang terjadi pada penelitian ini adalah cocurrent maka diperoleh

$$\Delta T_1 = T_{Hw\ in} - T_{Cw\ in} \quad (3)$$

$$\Delta T_2 = T_{Hw\ in} - T_{Cw\ in} \quad (4)$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5)$$

- c. Design overall coefficient ( $U_d$ )

$$U_d = \frac{Q}{A \cdot LMTD} \quad (6)$$

- d. Menentukan laju alir massa pada inner-Tube dan anulus

$$G_t = \frac{W}{A} \quad (7)$$

- e. Menentukan Diameter ekuivalen (D.Q. Kern, 1965)

$$D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} \quad (8)$$

- f. Menentukan bilangan Reynold pada inner-Tube dan anulus

$$Re = \frac{DG_t}{\mu} \quad (9)$$

- g. Menentukan nilai jH

jH ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara Re, L/D dan jH pada gambar 24(D.Q. Kern, 1965).

- h. Menentukan nilai  $h_i$

$$h_i = jH \frac{k}{D} \left( \frac{cp \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \phi \quad (10)$$

- i. Menentukan nilai  $h_o$

$$h_o = jH \frac{k}{D_e} \left( \frac{cp \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \phi \quad (11)$$

- j. Clean overall coefficient ( $U_c$ )

$$U_c = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{2\pi Lk} + \frac{1}{h_o}} \quad (12)$$

- k. Foulling factor

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \quad (13)$$

- l. Penentuan efektifitas alat penukar panas

$$\varepsilon = \frac{U_d}{U_c} \quad (14)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh data sebagai berikut:

**Tabel 1.** Data hasil pengamatan

Suhu fluida panas masuk °F	Suhu fluida panas keluar F	Suhu fluida dingin masuk F	Suhu fluida dingin keluar F
Laju aliran 40,87 lb/hr			
104	95,48652	82,4	85,82
122	112,5904	82,4	86,18
140	126,5577	82,4	87,8
Laju aliran 74,84 lb/hr			
104	99,10583	82,4	86
122	116,3717	82,4	86,54
140	131,6799	82,4	88,52
Laju aliran 101,74 lb/hr			
104	99,86	82,4	86,54
122	116,06	82,4	88,34
140	133,52	82,4	88,88
Laju aliran 120,24 lb/hr			
104	100,0398	82,4	87,08
122	116,6689	82,4	88,7
140	134,212	82,4	89,24
Laju aliran 132,30 lb/hr			
104	100,6777	82,4	86,72
122	116,8782	82,4	89,06
140	134,186	82,4	89,96

Dari hasil penelitian tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai dari efisiensi alat penukar panas yang telah di buat. Hasilnya efisiensi rata-rata dari alat penukar panas adalah 20%. Alat ini memiliki efisiensi lebih besar jika dibandingkan dengan alat yang dibuat Gani dan Taufiqurrahman (2021) yang hanya memperoleh efisiensi 17,86% saja. Hal ini terjadi karena material inner-tube yang dipergunakan berbeda . Pada penelitian ini menggunakan jenis alluminium yang memiliki konduktivitas termal lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan stainless steel (Laraswati, 2018). Akibatnya jumlah panas yang ditransfer memberikan nilai yang lebih besar jika dibandingkan penelitian tersebut.

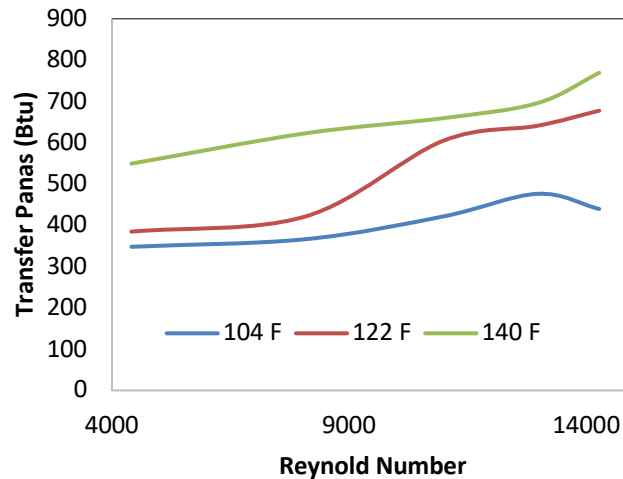
Selanjutnya dari penelitian tersebut dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai efisiensi dari peralatan penukar panas. Untuk tahapan yang dilakukan seperti pada metode penelitian. Hasil dari perhitungan disajikan pada Tabel 2. Selain menunjukkan nilai dari efisiensi alat penukar panas, tabel tersebut juga menunjukkan nilai dari *dirt factor* dengan rata-rata hambatan panas pada pipa adalah 0,006.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan efisiensi dari alat penukar panas

LMTD	Rd	U <sub>d</sub>	U <sub>c</sub>	ε
14,84	0,002	192,79	317,38	60,74
32,56	0,007	97,13	317,38	30,60
47,56	0,007	95,00	317,38	29,93
17,00	0,004	177,17	704,32	25,15
34,49	0,009	100,44	704,32	14,26
50,03	0,008	102,34	704,32	14,53
17,13	0,004	202,23	1163,99	17,37
33,31	0,006	149,21	1163,99	12,82
50,85	0,009	106,63	1163,99	9,16
16,91	0,003	231,50	1163,99	19,89
33,45	0,005	157,58	1163,99	13,54
51,03	0,008	112,15	1163,99	9,64
17,50	0,004	206,51	1163,99	17,74

### A. Hubungan antara satuan tidak berdimensi dengan jumlah perpindahan panas

Gambar 1, menunjukkan hubungan antara jumlah panas yang ditransfer dengan bilangan tidak berdimensi. Bilangan tidak berdimensi yang dijelaskan disini adalah bilangan reynold yang merupakan fungsi dari laju aliran fluida panas, viskositas dan kapasitas panas. Namun, pada penelitian ini fluida panas dan dingin yang digunakan adalah air maka, nilai dari viskositas dan kapasitas panas tidak berpengaruh terhadap perubahan reynold number. Hasil uji statistika menunjukkan hasil yang signifikan pada probability 5% dengan tingkat linieritas sebesar 90%.

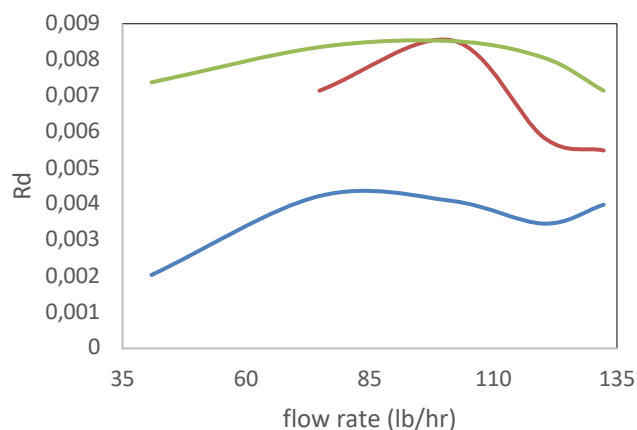


**Gambar 1.** Hubungan antara laju fluida panas terhadap jumlah panas yang ditransfer pada alat penukar panas

Selain menunjukkan tentang hubungan antara jumlah panas yang ditransfer dengan bilangan tidak berdimensi, Gambar 1 juga menjelaskan tentang bagaimana aliran fluida dalam tube terjadi. Kita mengenal adanya 3 jenis aliran yaitu laminar, transisi dan turbulen (Simanjuntak et al., 2018). Pada penelitian ini laju aliran yang dipilih adalah laju aliran turbulen yang merupakan laju aliran yang banyak digunakan sebagai dasar perhitungan dalam perancangan alat teknik kimia. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya bilangan reynold yang lebih besar dari 4000.

### B. Hubungan antara fouling factor dengan laju aliran fluda panas

Nilai *fouling factor* maksimal terjadi pada laju aliran 101.74 lb/hr. Dan memiliki kecenderungan menurun dengan penngkatan dan penurunan laju aliran. Hasil juga menunjukkan tingkat kestabilan nilai  $R_d$  yang lebih baik jika dibandingkan pada suhu yang rendah, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hubungan antara laju fluida panas terhadap jumlah panas yang ditransfer pada alat penukar panas

## PENUTUP

### Simpulan

- Rata-rata efisiensi yang diperoleh dari alat yang dirancang adalah 20%.
- Reynold number sebagai satuan tidak berdimensi memiliki pengaruh terhadap trnsfer panas pada alat pnukar panas.

- c. Nilai  $R_d$  sebagai hambatan termal terbesar terjadi pada laju aliran 101,74 dengan suhu 144F.
- d. Efisiensi dan efektifitas dari alat yang dirancang belum memenuhi persyaratan untuk dapat diterapkan di laboratorium.

### Saran

Hendaknya pengkajian terhadap alat penukar panas jenis double pipe heat exchanger lebih ditingkatkan lagi guna meningkatkan pemanfaatan dan aplikasi dari alat penukar panas jenis ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulateef, A. M., Jaszczur, M., Hassan, Q., Anish, R., Niyas, H., Sopian, K., & Abdulateef, J. (2021). Enhancing the melting of phase change material using a fins–nanoparticle combination in a triplex tube heat exchanger. *Journal of Energy Storage*, 35, 102227. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102227>
- Azwinur, A., & Zulkifli, Z. (2019). Kaji Eksperimental Pengaruh Baffle Pada Alat Penukar Panas Aliran Searah Dalam Upaya Optimasi Sistem Pengering. *Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(1), 8. <https://doi.org/10.24853/sintek.13.1.8-14>
- Caroline, C., & Rosid, I. A. (2022). Pengukuran efisiensi perpindahan panas pada heat exchanger shell and tube dengan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD). *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 7. <https://doi.org/10.28989/senatik.v7i0.458>
- D.Q. Kern. (1965). *Proses Heat Transfer* (Vol. 21). Mc Graw-Hi. [https://sv.20file.org/up1/423\\_0.pdf](https://sv.20file.org/up1/423_0.pdf)
- Gani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (n.d.). Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe. 2(2), 8.
- Ghani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (n.d.). Rancang Bangun Alat Praktikum Heat Exchanger Tipe Pipa Ganda. 2(2), 5.
- Gkountas, A. A., Benos, L. Th., Sofiadis, G. N., & Sarris, I. E. (2021). A printed-circuit heat exchanger consideration by exploiting an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–water nanofluid: Effect of the nanoparticles interfacial layer on heat transfer. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, 100818. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100818>
- Guo, Z. Y., Liu, X. B., Tao, W. Q., & Shah, R. K. (2010). Effectiveness–thermal resistance method for heat exchanger design and analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(13–14), 2877–2884. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.02.008>
- Harini. (2017). Analisis Perhitungan Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Pipa Ganda Di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 4(2), 51–61. <https://doi.org/10.21009/JKEM.4.2.1>
- Hendri, Suhengki, & Amru Fathony Lubis. (2018). Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler Cfb Pltu Sebalang. *Power Plant*, 6(1), 48–57. <https://doi.org/10.33322/powerplant.v6i1.72>
- Khaled, A.-R. A., & Vafai, K. (2003). The role of porous media in modeling flow and heat transfer in biological tissues. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(26), 4989–5003. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(03\)00301-6](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(03)00301-6)
- Laraswati, D. A. (2018). Rancang Bangun Kit Percobaan Konduktivitas Termal Berbasis Mikrokontroler. 5.
- Li, H., Huang, H., Xu, G., Wen, J., & Wu, H. (2017). Performance analysis of a novel compact air–air heat exchanger for aircraft gas turbine engine using LMTD method. *Applied Thermal Engineering*, 116, 445–455. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.003>
- Putra, I. (2017). Studi perhitungan heat exchanger type shell and tube dehumidifier biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas. *Jurnal POLIMESIN*, 15(2), 42. <https://doi.org/10.30811/jpl.v15i2.373>
- Sadighi Dizaji, H., Jafarmadar, S., & Mobadersani, F. (2015). Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.05.009>
- Septian, B., Aziz, A., & Rey, P. D. (2021). Desain Dan Rancang Bangun Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger ) Jenis Shell Dan Tube. 03(1), 8.
- Simanjuntak, J. P., Lisyanto, Daryanto, E., & Tambunan, B. H. (2018). Producer gas production of Indonesian biomass in fixed-bed downdraft gasifier as an alternative fuels for internal combustion engines. *Journal of Physics: Conference Series*, 970, 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/970/1/012019>
- Sunu, P. W. (2015). Efektifitas Perpindahan Panas Pada Double Pipe Heat Exchanger Dengan Groove. 7.
- Wicaksono, C., Wijanarko, E., Simanullang, O. H., & Tahad, A. (2018). Perancangan Eco Heat Exchanger Type 1-2 Shell And Tube dan Pengaruh Jumlah Baffle Terhadap Transfer Panas. *Jurnal Chemurgy*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.30872/cmng.v1i1.1136>
- Yuniarti, R., Achmad, F., Listyadevi, Y. L., Angraini, L., & Tazkia, M. A. (2022). Pengaruh Temperatur Dan Arah Aliran Terhadap Efektivitas Penukar Panas Ntu ( $\epsilon$ -Ntu) Pada Alat Penukar Panas Tipe Plate And Frame. 11(1), 8.