



## Evaluasi perpindahan panas dan efisiensi *superheater* pada unit *multi fuel boiler*

*Evaluation of superheater heat transfer and efficiency in multi fuel boiler*

J. R. H. Panjaitan<sup>1\*</sup>, J. S. Sihotang<sup>1</sup>, K. M. Sirait<sup>1</sup>, R. Pakpahan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia.

<sup>2</sup>PT. Toba Pulp Lestari, Kabupaten Toba, Sumatera Utara 20231, Indonesia.

\*E-mail: jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 24 November 2024

Accepted 08 February 2024

Available online 01 April 2024

#### Keywords:

Boiler

Heat exchanger

Superheater

The heat exchanger was used to carry out the heat exchange process between two fluids. One of the heat exchangers is the Multi Fuel Boiler. In multi-fuel boilers, there was a superheater which functions to convert saturated steam into dry steam. In this research, the evaluation of superheater heat transfer efficiency in Multi Fuel Boiler Units will be studied. The results showed that the highest heat transfer coefficient for the superheater was on day 6 at 141,942.81 W/m<sup>2</sup>K with 56.51% efficiency. Meanwhile, the highest superheater efficiency was 58.72% on day-7 with the heat transfer coefficient being 130,755.76 W/m<sup>2</sup>K. Factors such as steam temperature, flue gas temperature, steam and flue gas flow rate, heat transfer area and soot blower influence the heat transfer coefficient and efficiency of the superheater.



*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 14, No. 1, April 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

## 1. PENDAHULUAN

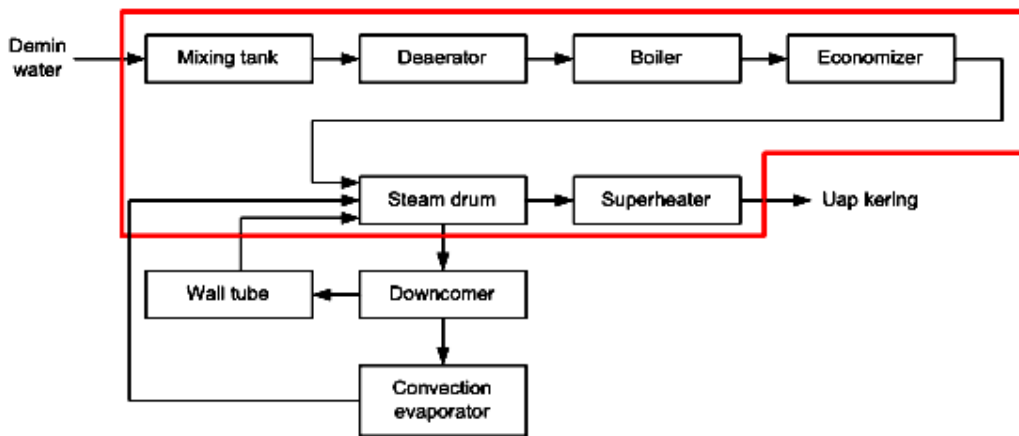
Peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran panas antara dua fluida yang memiliki temperature yang berbeda adalah *heat exchanger* atau alat penukar panas. (Juniarzal dkk., 2018). Perpindahan panas terjadi pada fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah dimana proses ini dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung (Putra, 2017). Tipe perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar panas adalah perpindahan panas konduksi dan konveksi (Yaqin dkk., 2022). Berdasarkan keunggulan pada alat penukar panas maka aplikasi heat exchanger sangat luas dalam industri seperti industri perminyakan, pabrik kimia, pembangkit listrik hingga radiator mobil (Suyatno dkk., 2017). Selain itu, alat penukar panas juga dapat digunakan untuk memproduksi selulosa nanofibril (Purnamasari dkk., 2021). Beberapa penelitian banyak yang merancang heat exchanger untuk menganalisis proses perpindahan panas yang terjadi (Kharisma, 2020) (Rasyid dkk., 2022) (Septian dkk., 2021).

*Multi-fuel boiler* merupakan salah satu jenis alat penukar panas. *Boiler* tipe ini memanfaatkan berbagai jenis bahan bakar biomassa seperti kulit kayu, cangkang sawit, dan serabut kelapa sawit untuk membangkitkan steam. Uap yang dihasilkan pada boiler ini digunakan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit listrik. *Multi-fuel boiler* terdiri dari beberapa sistem antara lain *solid fuel system*, *oil system*, *air and flue gas system*, dan *water and steam system*. *Water and steam* berfungsi untuk mengubah air demin menjadi uap kering. Pada *water and steam system* terdapat *superheater* yang berfungsi untuk mengubah uap jenuh menjadi uap kering.

Superheater adalah alat yang digunakan untuk menghilangkan kadar air dalam uap dengan cara menaikkan suhu uap jenuh hingga menjadi uap panas lanjut. Uap panas lanjut yang dihasilkan merupakan uap yang tidak akan mengembun ketika digunakan. Penggunaan uap panas lanjut ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya oleh terjadinya pukulan balik atau *back stroke* yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja peralatan (Endriyana dan Ichsani, 2013). Superheater sudah digunakan sejak awal penggunaan mesin uap yang memiliki tujuan untuk meningkatkan energi panas yang terkandung di dalam uap sehingga efisiensi pemanasan meningkat (Ningsih dkk., 2018). Superheater diaplikasikan luas pada pembangkit listrik tenaga uap.

Penelitian mengenai superheater telah banyak dilakukan dalam menganalisis kegagalan operasinya seperti kerusakan pada pipa dan kontrol suhu. (Moelbak, 1999) (Nugroho dkk., 2017) (Adrian dkk., 2016) (Akbar dkk., 2023) (Saputro dan Nurbanasari, 2023) (Sukadi and Novarini, 2017) (Gupta dan Chattopadhyaya, 2017) (Mukhlis dkk., 2019) (Rusnaldy dkk., 2022). Akan tetapi belum ada yang meneliti koefisien perpindahan panas dan efisiensi superheater dengan media steam dan flue gas. Oleh sebab itu, pada penelitian ini diteliti penentuan koefisien perpindahan panas dan efisiensi superheater pada unit multi fuel boiler (MFB) di PT. Toba Pulp Lestari. Tbk. Superheater merupakan bagian di dalam sistem boiler yang berfungsi memanaskan uap jenuh hingga menjadi uap kering. Uap kering atau bisa disebut uap superheater adalah uap yang memiliki tingkat kelembaban yang rendah dan temperatur tinggi.

## 2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Water and steam system pada multi-fuel boiler

Proses produksi steam dari demin water pada water and steam system pada multi-fuel boiler dapat dilihat pada gambar 1. Demin water hasil pengolahan dari Demineralization Plant masuk kedalam Mixing Tank bersamaan dengan Condensate yang berasal dari Condensate Tank. Kemudian, air keluaran Mixing Tank akan dipompa dengan menggunakan Boiler Feed Pump menuju Deaerator. Deaerator berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen dalam air umpan. Feed Water memasuki Boiler melalui Feed Water Tank, kemudian menuju Economizer dengan tujuan untuk memanaskan air umpan. Air keluaran dari Economizer akan masuk menuju Steam Drum untuk memisahkan steam dan air dari Economizer. Air dari Steam Drum akan melewati Downcomer, aliran Downcomer sebagian menuju Convection Evaporator dan aliran lainnya menuju pipa-pipa pada dinding furnace atau disebut Wall Tube. Air umpan hasil pemanasan Wall Tube disirkulasikan kembali menuju Steam Drum. Sedangkan, steam dalam Steam Drum dalam keadaan Saturated Steam keluar menuju Superheater 1, 2, dan 3 untuk dipanaskan menjadi Superheated Steam melalui kontak antara flue gas dan dinding Superheater.

### 2.1 Analisis Perhitungan Perpindahan Panas

Beban termal untuk setiap pengukuran yang diterima oleh fluida dingin di Superheater yaitu  $Q_c$ , diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Harini, 2017):

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \tag{1}$$

Dimana  $Q_c$  adalah Kalor yang diterima oleh aliran fluida dingin (kW),  $m_c$  adalah laju aliran massa fluida dingin (kg/s),  $C_{pc}$  adalah Konstanta panas fluida dingin (kJ/kg.K),  $T_{co}$  adalah temperatur aliran fluida dingin masuk Superheater (K)  $T_{ci}$  adalah Temperatur aliran fluida dingin keluar Superheater (K).

Beban termal untuk setiap pengukuran yang diterima oleh fluida panas di *Superheater* yaitu  $Q_h$ , diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Harini, 2017):

$$Q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) \quad (2)$$

$Q_h$  adalah kalor yang diterima oleh aliran fluida panas (kW),  $m_h$  adalah laju aliran massa fluida panas (kg/s),  $C_{ph}$  adalah konstanta panas fluida panas (kJ/kg.K),  $T_{hi}$  adalah temperatur aliran fluida panas masuk *Superheater* (K),  $T_{ho}$  adalah temperatur aliran fluida panas keluar *Superheater* (K).

*Log mean temperature difference*/beda temperatur rata-rata logaritmik dapat dicari dengan menggunakan rumus (Kern, 1996):

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})}} \quad (3)$$

Koefisien perpindahan panas global di dalam *Superheater* yaitu  $U$ , adalah diperoleh dari persamaan (Kern, 1996):

$$U = \frac{\Delta Q}{A \cdot LMTD} \quad (4)$$

$U$  adalah Koefisien global perpindahan panas dalam *Superheater* ( $W/m^2.K$ ),  $Q$  adalah Laju energi panas (W),  $A$  adalah Luas total perpindahan panas di dalam *Superheater* ( $m^2$ ),  $LMTD$  adalah Beda Temperatur Rata-rata Logaritmik (K)

Efisiensi pada *Superheater* dapat dicari dengan menggunakan rumus (Kern, 1996):

$$\eta = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (5)$$

$\eta$  adalah efisiensi (%),  $T_{hi}$  adalah Temperature gas buang masuk *superheater*,  $T_{ho}$  adalah temperature gas buang keluar *superheater*,  $T_{ci}$  adalah temperature air masuk *superheater*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data temperatur *superheater*

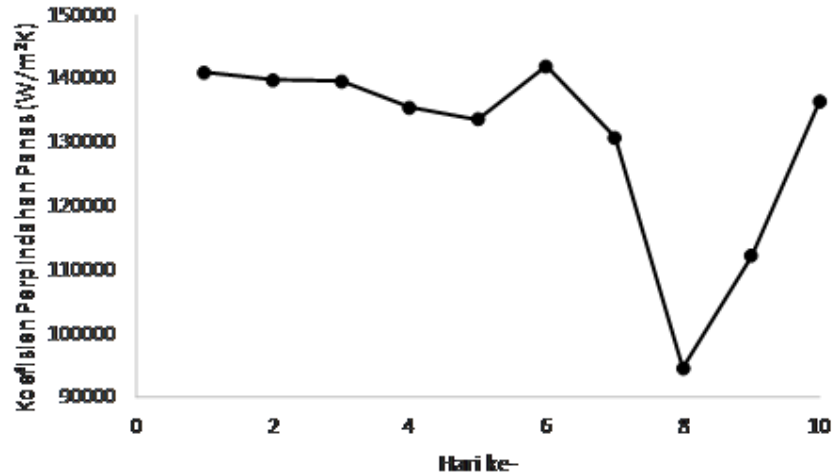
Hari ke-	Steam system (°K)			Flue gases system (°K)				Massa steam (kg/s)	Massa flue gas (kg/s)
	Inlet heater	super	Outlet heater	super	Inlet heater	super	Outlet heater		
1	536,3		741,6		1036,2		751,0	20,9111	92515,3
2	529,3		744,1		1059,7		753,3	21,7778	90201,8
3	532,2		743,7		1047,5		747,6	19,9306	88666,2
4	531,0		744,3		1039,5		758,1	21,9889	92598,5
5	530,5		743,2		1044,4		756,3	21,4194	89856,1
6	536,9		745,1		1018,8		746,5	17,2139	92942,2
7	538,6		747,1		1038,8		745,1	18,6333	81397,5
8	530,1		747,4		1128,6		819,0	37,2861	74725,1
9	534,4		747,6		1083,6		807,1	32,3111	90699,8
10	529,6		742,1		1050,6		761,6	24,0583	93765,4

#### 3.1 Koefisien perpindahan panas

Koefisien perpindahan panas *superheater* menunjukkan besarnya kinerja *superheater* dalam operasi perpindahan panas terhadap fluida. Koefisien perpindahan panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur *steam* masuk dan keluar *superheater*, temperatur *flue gas* masuk dan keluar *superheater*, laju alir *steam* dan *flue gas*, serta luas daerah perpindahan panas. Hasil koefisien perpindahan panas dari *superheater* dapat dilihat pada gambar 2.

Koefisien perpindahan panas global pada *superheater* selama sepuluh hari berada pada rata-rata 130.534,54  $W/m^2.K$ . koefisien perpindahan panas global tertinggi terjadi pada hari ke-6 yaitu sebesar 141942,81  $W/m^2.K$ . Sedangkan nilai koefisien perpindahan panas global terendah terjadi pada hari ke-8 yaitu sebesar 94571,07  $W/m^2.K$ . Perpindahan panas ini terjadi diantara fluida *steam* dan *flue gas* dimana keduanya memiliki perbedaan temperatur. Koefisien perpindahan panas yang rendah dapat dipengaruhi oleh proses *sootblower*. *Sootblower* merupakan proses *maintenance* yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran atau abu dari tube-tube pada *multi fuel boiler*. Pengotor perlu dihilangkan karena semakin banyak pengotor maka akan semakin kecil efektivitas perpindahan panas (Fitriana dkk., 2021). *Sootblower* dapat digunakan untuk menghilangkan kotoran atau abu yang menempel pada permukaan pipa dengan medium seperti uap, gelombang suara, gas dan lainnya.

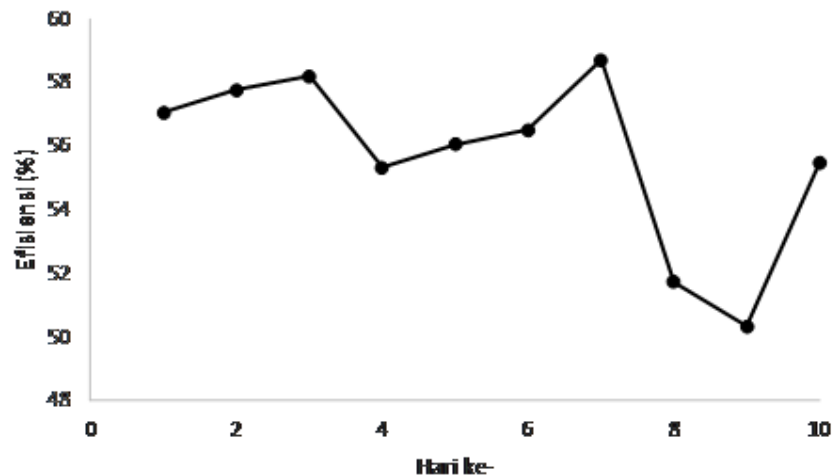
Operasi *sootblower* harus dilakukan tepat waktu karena jika *sootblower* tidak dilakukan secara rutin maka kotoran akan menempel dan menumpuk pada pipa sedangkan jika *sootblower* terlalu sering dilakukan maka akan mengakibatkan terjadinya erosi pada permukaan pipa (Rusnaldy dkk., 2022). Oleh sebab itu, operasi *sootblower* akan mempengaruhi temperatur dan laju alir pada *superheater* yang membuat kinerja *superheater* menjadi kurang optimal dan menyebabkan laju perpindahan panas yang kurang baik.



Gambar 2. Koefisien perpindahan panas pada *superheater*

### 3.2 Efisiensi *superheater*

Efisiensi *superheater* merupakan efektivitas perpindahan panas dalam meningkatkan temperatur steam dengan memanfaatkan panas *flue gas* yang masuk. Efisiensi dari *superheater* dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Efisiensi *superheater*

Efisiensi *superheater* selama sepuluh hari berada pada rata-rata 55,72%. Efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke-7 yaitu sebesar 58,72%. Sedangkan nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-9 yaitu sebesar 50,35%. Efisiensi *superheater* menunjukkan besarnya energi yang terambil dari total jumlah energi yang diserap. Perubahan efisiensi *superheater* menunjukkan perpindahan panas yang terjadi dimana semakin besar efisiensi *superheater* maka panas gas sisa (*flue gas*) yang berpindah akan semakin banyak (Ningsih dkk., 2018). Temperatur gas berbanding terbalik dengan efisiensi *Superheater* dimana semakin tinggi temperatur gas buang maka akan rendah efisiensi *superheater*. Efisiensi tertinggi sebesar 58,71% diperoleh pada temperature steam

keluaran superheater 747,1 K. Sedangkan efisiensi terendah 50,34% diperoleh pada temperature steam keluaran superheater 747,6 K.

#### 4. KESIMPULAN

Evaluasi perpindahan panas dan efisiensi *superheater* pada *unit multi fuel boiler* diteliti pada penelitian ini. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan koefisien perpindahan panas global *superheater* tertinggi terdapat pada hari ke-6 sebesar 141.942,81 W/m<sup>2</sup>K dengan efisiensi 56,51%. Efisiensi *superheater* tertinggi terdapat pada hari ke-7 sebesar 58,72% dengan koefisien perpindahan panas sebesar 130.755,76 W/m<sup>2</sup>K. Koefisien perpindahan panas dan efisiensi dari *Superheater* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur steam masuk dan keluar *superheater*, temperatur flue gas masuk dan keluar *Superheater*, laju alir steam dan flue gas, serta luas daerah perpindahan panas. Selain itu, koefisien perpindahan panas juga dapat dipengaruhi oleh proses *sootblower* yang merupakan proses maintenance yang untuk menghilangkan kotoran atau abu dari tube-tube pada multi fuel boiler.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, J., Noerochim, L., Kurniawan, B.A., Analisa kerusakan superheater tube boiler tipe ASTM A213 grade T11 pada pembangkit listrik tenaga uap, *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 148 – 151, 2016.
- Akbar, S., Nursyifaulkhair, D., Nurdiwijayanto, L., Noviyanto, A., Rochman, N.T., High-temperature failure of steel boiler tube secondary superheater in a power plant, *Sinergi*, 27(1), 1 – 6, 2023.
- Endriyana, V.W., Ichسانی, D., Analisis unjuk kerja secondary superheater PLTGU dan evaluasi peluang peningkatan effectiveness dengan cara variasi jarak, jumlah dan diameter tube, *Jurnal Teknik Pomits*, 2(3), 388 – 391, 2013.
- Fitriana, S.L., Arini, N.R., Fadilah, W.N., Studi numerik pengaruh fouling terhadap peforma superheater dengan metode CFD. Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) ke-VII, 7(1), 303 – 310, 2021.
- Gupta, G.K., Chattopadhyaya, S., Critical failure analysis of superheater tubes of coal-based boiler. *Journal of Mechanical Engineering*, 63(5), 287 – 299, 2017.
- Harini, 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, 2017.
- Juniarzal, F. K., Ridwan, E., Ulfiana, A., Analisis perbandingan heat exchanger jenis shell and tube dan plate pada ST, Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, 568 – 570, 2018.
- Kern, D.Q., Process heat transfer, International Student Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1996.
- Kharisma, A.A., Perancangan heat exchanger tipe shell dan tube secara metode matematis dan simulasi software, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(2), 27 – 30, 2020.
- Moelbak, T., Advance control of superheater steam temperatures – an evaluation based on practical applications, *Control Engineering Practice*, 7, 1 – 10, 1999.
- Mukhlis, Munir, M.M., Ari, M., K, H.B., R, I.K., Analisa kegagalan superheater tube boiler berpelapis baja tahan karat pendekatan metalografi dan komposisi kimia, Seminar Master, 4(1), 253 – 256, 2019.
- Ningsih, T.H., Fiveriati, A., Ghoni, A., Proses produksi superheater tube yoshimin boiler H-3500 tipe CAP120T/H. *Otopro*, 14(1), 35 – 38, 2018.
- Nugroho, S., Sulardjaka, Hadid, G.A., Failure analysis on pipeline welded joint of venting isolation high pressure superheater tube, *Prosiding SNTTM XVI*, 81 – 86, 2017.
- Purnamasari, H.N., Kurniawan, T., Nandiyanto, A.B.D., Design of shell and tube type heat exchanger for nanofibril cellulose production process. *International Journal of Research and Applied Technology*, 1(2), 318 – 329, 2021.
- Putra, I. Studi perhitungan heat exchanger type shell and tube dehumidifier biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas, *Jurnal Polimesin*, 12(2), 42 – 45, 2017.
- Rasyid, R. F., Prajogo, S., Syafitri, A., Perancangan heat exchanger tipe shell and tube menggunakan helical baffles pada proses gasifikasi batu bara kapasitas 30000 Nm<sup>3</sup>/h, *Prosiding The 13<sup>th</sup> Industrial Research Workshop and National Seminar*, 830 – 833, 2021.
- Rusnaldy, Tauviquirrahman, M., Iskandar, N., Analisis kerusakan pada secondary superheater tube di sistem boiler pada power plant akibat proses soot blowing. *Rotasi*, 24(4), 41 – 48, 2022.
- Saputro, I.T., Nurbanasari, M., Analisis kegagalan secondary superheater tube pada PLTU batubara kapasitas 600 MW, *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 474 – 483, 2023.
- Septian, B., Aziz, A., Rey, P.D. Desain dan rancang bangun alat penukar kalor (heat exchanger) jenis shell dan tube, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 3(1), 53 – 56, 2021.
- Sukadi, Novarini, Analisa kegagalan pipa superheater pada boiler tipe pipa air. *Teknika*, 4(2), 113 – 116, 2017.
- Suyatno, Riupassa, H., Bayani, A.J., Analisis perpindahan panas pada heat exchanger tipe TI47D menggunakan sirip duri bentuk kerucut, *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 63-75, 2017.

- Yaqin, R.I., Huda, M., Tumpu, M., Priharanto, Y.E., Siahaan, J.P., Demeianto, B., Priyambodo, B.H., Umar, M.L., Analisa perpindahan panas heat exchanger mesin induk (studi kasus: KM. Sumber Mutiara), *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 53 – 56, 2022.
- Nulhakim, Uji unjuk kerja pendingin ruangan berbasis thermoelectric cooling, *Jurnal Simeteris*, 8(1), 85-90, 2017.
- Tan, G., Zhao, D., Study of thermoelectric space cooling system integrated with phase change material, *Jurnal Applied Thermal Engineering*, 86, 187-198, 2015.
- Widianto, T.N., Hakim, A.R., Performansi pendingin termoelektrik alat transportasi ikan segar pada berbagai tegangan, *Jurnal Agritech*, 36(4), 485-490, 2016.
- Widianto, T.N., Hermawan, W., Utomo, B.S.B., Uji coba peti ikan segar berpendingin untuk pedagang ikan keliling, *Jurnal JPB Perikanan*, 9(2), 185-191, 2014.