

STUDI PENURUNAN TEMPERATURE PADA ALIRAN AIR PANAS DI PIPA SILINDER VERTIKAL MENGGUNAKAN PERSAMAAN EMPIRIS DENGAN VERIVIKASI

STUDY OF TEMPERATURE DECREASING IN HOT WATER FLOWS IN VERTICAL CYLINDER PIPE USING EMPIRICAL EQUATION WITH EXPERIMENTAL VERIVICATION

Kukuh Prasetyo¹, Tri Ayodha Ajiwiguna², M. Ramdhan Kirom³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung

prasetyo.kuh@gmail.com¹, tri.ayodha@gmail.com², jakasantang@gmail.com³

Abstrak

Peranan sistem perpipaan dalam industri saat ini sangatlah penting. Salah satu perannya adalah dalam pendistribusian fluida panas. Masalah yang sering dihadapi pada proses pendistribusian fluida ini adalah adanya penurunan temperatur fluida akibat terjadinya perpindahan kalor antara fluida dengan material di sekitarnya. Penurunan temperatur tersebut bisa diperkirakan dengan perhitungan menggunakan persamaan empiris. Namun persamaan empiris tersebut hanya bisa digunakan untuk temperatur yang konstan di sepanjang pipa, sedangkan pada kondisi sebenarnya temperatur pipa tidak selalu konstan. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sebuah sistem distribusi fluida pada pipa silinder vertikal untuk mengetahui penurunan temperatur yang terjadi pada sistem tersebut dan nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan persamaan empiris berdasarkan ketebalan insulator dan temperatur fluida. Perhitungan ini dilakukan dengan membagi pipa menjadi beberapa bagian agar persamaan empiris dapat diterapkan. Penelitian ini menggunakan polyfoam sebagai bahan insulasi dan tembaga sebagai bahan pipanya. Percobaan dilakukan dengan variasi tebal insulator 0 cm, 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm serta variasi temperatur fluida 40°C, 50°C, dan 60°C. Hasil akhir percobaan berupa temperatur aliran air saat keluar dari pipa uji dan hasil perbandingan dari tiap percobaan memiliki nilai eror terbesar 98,5%.

Kata kunci : perpindahan kalor, insulasi termal, persamaan empiris, silinder vertikal

Abstract

The role of piping systems in industry today is very important. One of the role is in the distribution of hot fluid. The problem that is often faced in this distribution process is fluid temperature reduction due to the heat transfer between the fluid and the surrounding material. The decreasing temperature can be estimated by calculation using the empirical equation. However, these empirical equations can only be used for constant temperature along pipes, whereas in actual conditions the pipe temperature is not always constant. In this research, a fluid distribution system in a vertical cylinder pipe is designed to determine the temperature reduction that occurs in the system and will be compared with calculations using empirical equations based on insulator thickness and fluid temperature. This calculation is done by dividing the pipe into sections so that empirical equations can be applied. This research uses polyfoam as insulation material and copper as pipe material. The experiment was carried out with variations in insulator thickness of 0 cm, 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm and fluid temperature variations of 40 ° C, 50 ° C, and 60 ° C. The final result of the experiment is the temperature of the water flow as it exits the pipe and the result of the comparison of each experiment has the biggest error value 98,5%.

Keywords: heat transfer, thermal insulation, empirical equation, vertical cylinder

1. Pendahuluan

Peranan sistem perpipaan dalam industri saat ini sangatlah penting. Salah satu perannya adalah dalam pendistribusian fluida panas baik itu berupa cair maupun gas. Masalah yang sering dialami pada proses pendistribusian fluida ini adalah adanya rugi kalor [1]. Adanya rugi kalor tersebut menyebabkan terjadinya penurunan temperatur fluida akibat perpindahan kalor antara fluida dengan material di sekitarnya. Perpindahan

kalor merupakan ilmu yang mempelajari tentang penentuan laju perpindahan kalor dari material satu ke material lainnya akibat adanya perbedaan temperatur di antara kedua material tersebut untuk mencapai kesetimbangan termal. Terdapat tiga metode pada perpindahan kalor yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi [2]. Agar kalor dari fluida yang dialirkan melewati pipa tetap bisa dimanfaatkan, temperatur fluida harus tetap dijaga. Salah satu cara untuk mengurangi penurunan temperatur fluida dalam pipa adalah dengan penambahan insulasi. Bahan insulasi dengan nilai konduktivitas termal yang rendah memiliki kemampuan untuk mengurangi terjadinya kehilangan panas yang besar [3]. Untuk mengetahui temperatur fluida dalam pipa, bisa diperkirakan dengan menggunakan persamaan empiris yang sudah tersedia. Namun persamaan empiris yang tersedia saat ini hanya bisa digunakan untuk temperatur yang konstan di sepanjang pipa, sedangkan pada keadaan sebenarnya pada saat fluida panas mengalir di dalamnya temperatur pipa tidaklah konstan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan penggunaan persamaan empiris untuk memprakirakan penurunan temperatur pada pipa silinder vertikal.

2. Dasar Teori

2.1 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari tentang penentuan laju perpindahan kalor yang terjadi di antara material akibat adanya perbedaan temperatur dari kedua material tersebut. Selain mempelajari laju dari perpindahan kalor, ilmu ini juga mempelajari bagaimana perpindahan tersebut terjadi [4]. Mekanisme dari perpindahan kalor ini ada tiga yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi adalah proses perpindahan kalor jika kalor mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang temperaturnya lebih rendah dengan media penghantar panas tetap. Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida. Sedangkan radiasi adalah perpindahan kalor yang terjadi karena pancaran / sinaran / radiasi gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan perantara [5].

2.2 Konduksi Pada Silinder

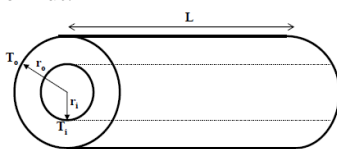
Konduksi pada pipa silinder terjadi pada bagian dalam pipa menuju bagian luar pipa karena bagian dalam pipa memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian luar pipa. Persamaan laju perpindahan kalor konduksi menurut persamaan *fourier* adalah sebagai berikut:

$$q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} = kA \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} = \frac{T_2 - T_1}{R_{th}} \quad (2.1)$$

dengan,

q_{cond}	= laju perpindahan panas konduksi (W)
k	= konduktivitas termal (W/m . K)
A	= luas permukaan (m ²)
R_{th}	= tahanan termal (K/W)
Δx	= tebal bahan (m)
T_1	= temperatur rendah (K)
T_2	= temperatur tinggi (K)

Laju perpindahan kalor konduksi pada silinder dapat diturunkan dari persamaan *fourier* adalah sebagai berikut:



$$R_{th} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \quad (2.2)$$

$$q_{cond} = 2\pi Lk \frac{T_1 - T_0}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.3)$$

Gambar 2.1 Silinder Berongga [5]

Dengan,

q_{cond}	= laju perpindahan panas konduksi (W)
k	= konduktivitas termal (W/m . K)
r_1	= jari jari dalam silinder (m)
r_0	= jari jari luar silinder (m)
L	= panjang silinder (m)
T_1	= Temperatur permukaan dalam silinder (K)
T_0	= Temperatur permukaan luar silinder (K)
R_{th}	= tahanan termal (K / W)

2.3 Konveksi Alami

Konveksi alami merupakan proses pertukaran kalor yang terjadi secara alami atau tidak adanya tenaga dari luar dan hanya melibatkan perbedaan temperatur, segala pergerakan fluida yang diakibatkan oleh lingkungan atau secara alami karena efek *buoyancy*, yang menunjukkan peningkatan temperatur fluida atau penurunan temperatur fluida, tidak seperti konveksi paksa yang menggunakan bantuan dari luar seperti pompa atau kipas [2].

Proses perpindahan energi secara konveksi melibatkan proses perpindahan kalor secara konduksi dan pergerakan fluida, semakin cepat pergerakan fluida maka semakin besar perpindahan kalor secara konveksi. Ketika tidak adanya pergerakan fluida, perpindahan kalor antara permukaan padat dan fluida menjadi konduksi murni. Laju perpindahan kalor untuk konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

dengan,

q_{conv}	= laju perpindahan panas konveksi (W)
h	= koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \cdot K$)
A_s	= luas permukaan (m^2)
T_s	= Temperatur permukaan benda padat (K)
T_∞	= Temperatur fluida konveksi (K)

Pada perpindahan kalor konveksi, nilai koefisien perpindahan kalor konveksi bergantung pada bilangan nusselt. Bilangan nusselt merupakan rasio perpindahan kalor antara konveksi dan konduksi normal terhadap bidang batas yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{hL}{k} = Nu$$

dengan,

h	= koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \cdot K$)
L	= panjang karakteristik (m)
k	= konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot K$)

Bilangan nusselt sendiri dipengaruhi oleh bilangan rayleigh (Ra) di mana bilangan rayleigh merupakan hasil perkalian dari bilangan grashof dan bilangan prandtl. Bilangan grashof (Gr) merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan rasio antara gaya apung fluida dengan viskositas kinematik. Sedangkan bilangan prandtl (Pr) merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan distribusi temperatur dan distribusi kecepatan aliran fluida.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Gr \cdot Pr = Ra$$

dengan,

g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
β	= koefisien ekspansi volume ($1/K$)
T_s	= Temperatur permukaan benda (K)
T_∞	= Temperatur fluida di luar batas lapisan termal (K)
L_c	= panjang karakteristik bidang (m)
ν	= viskositas kinematik fluida (m^2/s)
μ	= viskositas dinamik ($kg/m \cdot s$)
C_p	= kalor spesifik fluida pada tekanan tetap ($J/kg \cdot K$)
k	= konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot K$)

2.3.1 Konveksi Alami Pada Silinder Vertikal

Perpindahan kalor secara konveksi alami pada silinder vertikal memiliki persamaan bilangan nusselt yang dirumuskan sebagai berikut:



$$Nu = 0.6 \left\{ Ra \frac{d}{L} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

$$Ra \frac{d}{L} \geq 10^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 1.37 \left\{ Ra \frac{d}{L} \right\}^{0.16}$$

$$0.05 \leq Ra \frac{d}{L} \leq 10^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0.93 \left\{ Ra \frac{d}{L} \right\}^{0.05}$$

$$0.05 \geq Ra \frac{d}{L}$$

Gambar 2.2 Silinder Vertikal [6]

dengan,

- d = Diameter pipa (m)
- L = Panjang pipa (m)
- Nu = Bilangan nusselt
- Ra = Bilangan rayleigh

2.4 Insulasi Termal

Insulasi merupakan salah satu upaya untuk mengurangi laju perpindahan kalor. Bahan yang digunakan sebagai insulasi adalah material dengan nilai konduktivitas termal yang rendah. Insulasi ini digunakan untuk membatasi laju perpindahan kalor secara konduksi sebelum terjadinya perpindahan kalor secara konveksi dengan udara sehingga dapat mengurangi jumlah kalor yang hilang. Pada penelitian ini bahan yang digunakan sebagai insulasi adalah *polyfoam* karena memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah.

Konduktivitas termal merupakan perhitungan kapasitas hantar panas suatu material atau disebut dengan indeks hantar panas per unit luas konduksi per gradien temperatur dari suatu material [7]. Konduktivitas termal digunakan untuk menentukan kemampuan suatu benda dalam menghantarkan panas di mana semakin besar nilai konduktivitas termal suatu benda, maka semakin baik pula kemampuan benda tersebut dalam menghantarkan panas.

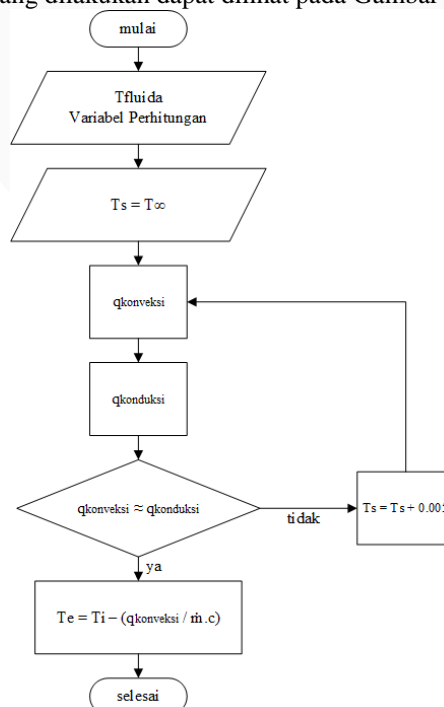
3. Pembahasan

3.1 Perhitungan dengan Persamaan Empiris

Perhitungan dilakukan menggunakan softwar R Studio dengan variabel perhitungan seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Percepatan Gravitasi	9,8 m/s ²
Viskositas Udara	1,562x10-5 m ² /s
Prandtl	0,7296
Konduktivitas Udara	0,02551 W/m . K
Temperatur Udara	27°C
Panjang Pipa	1 m
Diameter Pipa	1,27 cm
Tebal Pipa	0,5 mm
Konduktivitas Tembaga	401 W/m . K
Konduktivitas Insulator	0,0033 W/m . K
Debit Air	0,4 lpm
Densitas Air	1000 kg/m ³
Kalor Jenis Air	4200 J/kg . K

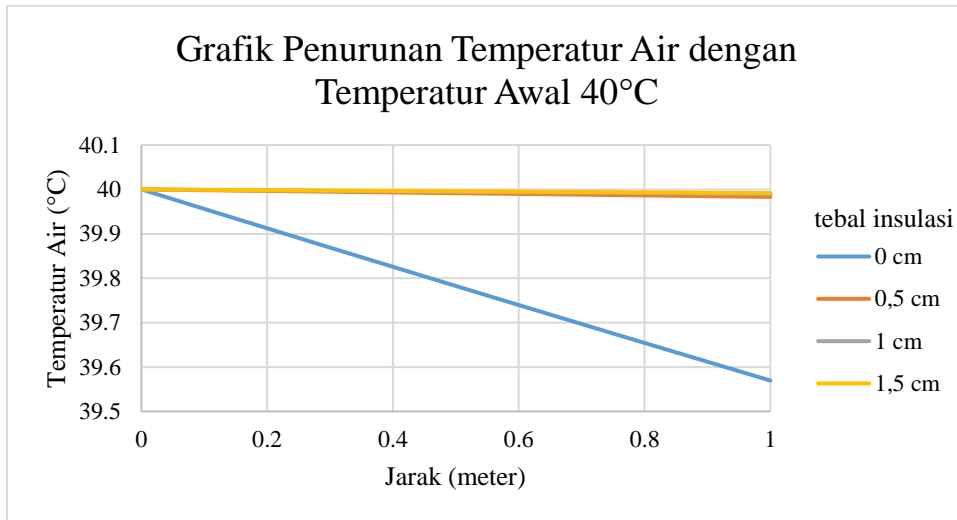
Algoritma dari perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1



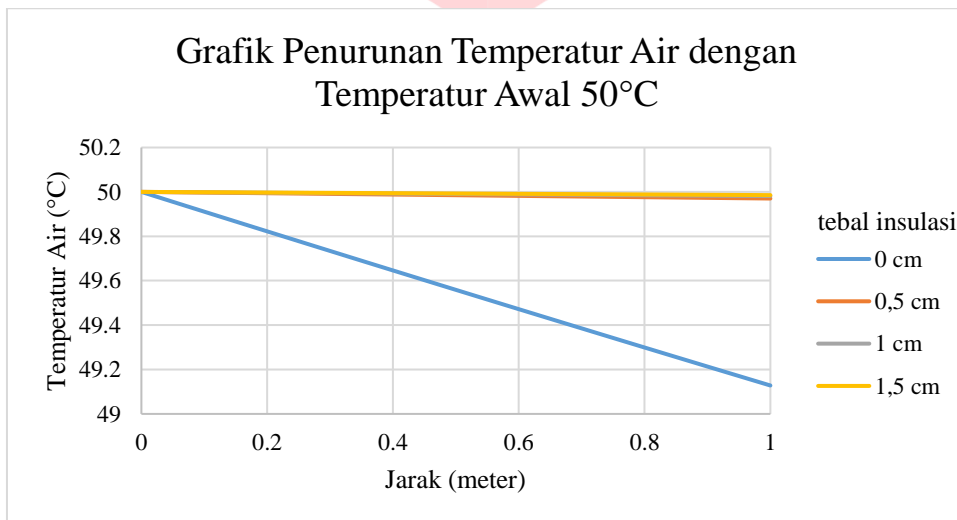
Gambar 3.1 Diagram Alir Perhitungan

Algoritma tersebut digunakan untuk menghitung satu bagian partisi dimana T_e yang telah diperoleh akan dijadikan T_{fluida} atau T_i pada partisi selanjutnya.

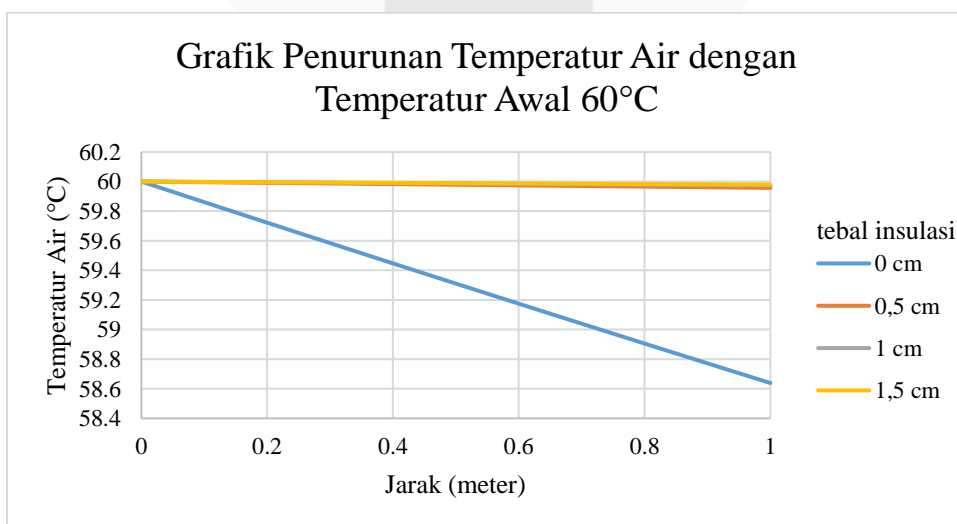
Hasil perhitungan penurunan temperatur air yang dilakukan adalah seperti yang ditunjukkan pada Grafik 3.1 sampai 3.3.



Grafik 3.1 Penurunan Temperatur Air dengan Temperatur Awal 40°C



Grafik 3.2 Penurunan Temperatur Air dengan Temperatur Awal 50°C

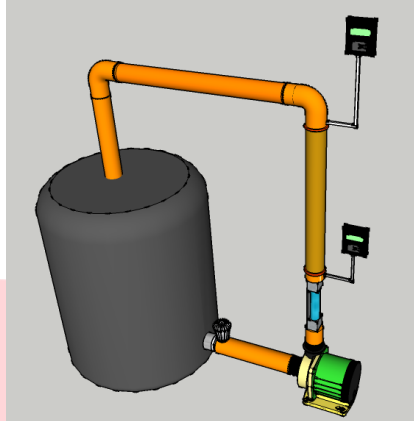


Grafik 3.3 Penurunan Temperatur Air dengan Temperatur Awal 60°C

3.2 Pengambilan Data Eksperimen

Pengambilan data eksperimen dilakukan menggunakan *thermocouple* GM1312 tipe-K. Eksperimen dilakukan pada pipa berbahan tembaga dengan panjang 1m, tebal 0,5 mm dan diameter 1,27 cm pada temperatur lingkungan 27°C dan laju fluida 0,4 lpm. Evaluasi berdasarkan ketebalan insulator dilakukan dengan variasi ketebalan 0,5 cm, 1 cm, dan 1,5 cm serta variasi temperatur fluida 40°C, 50°C, dan 60°C. Data yang diperoleh dari eksperimen ini adalah temperatur air saat masuk dan keluar dari pipa uji.

Berikut merupakan rancangan sistem pengaliran air yang telah dibuat:



Gambar 3.2 Rancangan Sistem Pengaliran Air

3.3 Hasil Pengujian dan Analisis

Tebal insulasi (cm)	Temperatur Awal (°C)	Perhitungan		Eksperimen		Eror Prediksi (%)
		Temperatur Akhir (°C)	ΔT	Temperatur Akhir (°C)	ΔT	
0	40	39,57	0,43	39,10	0,90	52,2
	50	49,13	0,87	48,53	1,47	40,8
	60	58,64	1,36	57,95	2,05	33,6
0,5	40	39,98	0,02	39,27	0,73	97,2
	50	49,97	0,03	48,73	1,27	97,6
	60	59,96	0,04	58,37	1,63	97,5
1	40	39,99	0,01	39,40	0,60	98,3
	50	49,98	0,02	48,87	1,13	98,2
	60	59,97	0,03	58,57	1,43	97,9
1,5	40	39,99	0,01	39,45	0,55	98,1
	50	49,98	0,02	48,90	1,10	98,1
	60	59,98	0,02	58,60	1,40	98,5

Dari tabel tersebut terlihat bahwa ketebalan insulasi berpengaruh pada penurunan temperatur fluida baik pada data hasil eksperimen maupun pada data hasil perhitungan, dimana semakin tebal insulasi yang digunakan maka penurunan temperatur fluida yang terjadi semakin mengecil. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tebal insulasi maka rugi kalor yang terjadi semakin kecil ditandai dengan penurunan temperatur fluida yang terjadi.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dibuat sistem pengaliran air sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan. Perhitungan menggunakan persamaan empiris telah dilakukan dengan membagi pipa uji menjadi beberapa bagian untuk mengetahui penurunan temperatur aliran air yang terjadi pada pipa uji. Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui ketebalan optimum dari insulasi yang dicapai pada sistem ini adalah 0,5 cm. hal tersebut menunjukkan bahwa apabila ketebalan insulasi ditambah, tidak akan memberikan pengaruh yang besar pada rugi kalor yang terjadi. Perbandingan hasil akhir dari perhitungan dan eksperimen pada penelitian ini memiliki nilai eror terbesar 98,5%. Selisih antara kedua hasil tersebut adalah karena data perhitungan didapatkan dengan menggunakan variabel yang konstan atau memenuhi kondisi ideal, sedangkan pada kondisi sebenarnya variabel variabel tersebut dapat berubah oleh adanya faktor lingkungan yang mempengaruhi nilai dari variabel tersebut. Selain itu, akurasi dari persamaan empiris yang digunakan juga berpengaruh pada hasil akhir dari perhitungan yang dilakukan.

Referensi

- [1] Mulyana, Cukup. dkk. (2014). *Perhitungan Heat Loss Pada Pipa Transmisi UAP di PLTU Cilacap*. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Fisika Universitas Padjadajran.
- [2] Cengel, Y. A. (2003). *Heat Transfer : A Practical Approach*. New York: McGraw Hill Education (Asia).
- [3] Pikra, Ghalya. dkk. (2010). *Analisis Rugi Rugi Panas pada Tangki Penyimpan Panas dalam Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Matahari*. Bandung: Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik – LIPI.
- [4] Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer (Tenth Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Buchori, Luqman. *Perpindahan Panas (Heat Transfer)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [6] Long, Chris., & Sayma, Naser. (2009). *Heat Transfer*. bookboon.
- [7] Falcon, Rafael. (2008). *Analisis Karakteristik Termal dan Resistansi Konduktor pada Kabel Inti Ganda NYM 2 x 1.5 mm²*. Depok: Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro.