

Pengaruh laju aliran volume air pada *heat recovery* dengan tambahan 4 baling-baling dan pengarah arus

I Putu Sandi Raditya ^{1*}, Putu Wijaya Sunu ², I Dewa Made Cipta Santosa ³

¹ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

² Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

³ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

*Corresponding Author: sandiraditya99@gmail.com

Abstrak: Sistem pendingin atau refrigerasi merupakan proses pelepasan kalor dari suatu substansi dengan cara penurunan temperatur dan pemindahan panas ke substansi lainnya. Salah satu pemanfaatan yang ingin penulis coba lakukan adalah pemanfaatan panas refrigeran pada keluaran kompresor, yang di mana sebelum panas dibuang ke lingkungan melalui kondensor, refrigeran panas yang keluar dari kompresor dilewatkan pada sebuah tabung yang berisi air untuk diambil panasnya oleh air sebelum masuk ke komponen kondensor. Untuk mempercepat proses perpindahan kalor ditambahkan komponen baling-baling dan pengarah arus. Baling-baling dan pengarah arus diharapkan mampu untuk mempercepat proses perpindahan kalor dari refrigeran ke media lain yakni air. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen karena dilakukan dengan pengujian laju aliran volume air akibat pengaruh tambahan baling-baling dan pengarah arus pada *heat recovery* yang dilakukan di sebuah simulator AC split. Adapun pemasangan baling-baling dilakukan pada sebuah tabung yang diisi dengan media air yang dimana tabung akan dilewati oleh pipa refrigeran keluaran kompresor yang memiliki temperatur tinggi. Analisis akan dilakukan pada laju perpindahan panas sistem akibat variasi volume air. Dari pengujian yang dilakukan pada *heat recovery* AC Split dengan menggunakan baling-baling dan pengarah arus dan tanpa baling-baling dan pengarah arus menunjukkan bahwa perpindahan panas (Q_{real}) sebesar $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 3,81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Semakin besar volume air maka Q_{real} (laju perpindahan panas) yang dihasilkan semakin besar.

Kata kunci: perpindahan panas, *heat recovery*, baling-baling, ac split

Abstract: The cooling or refrigeration system is the process of releasing heat from a substance by lowering its temperature and transferring heat to another substance. One of the uses that the author wants to try is the use of refrigerant heat at the compressor output, where before the heat is discharged into the environment through the condenser, the hot refrigerant coming out of the compressor is passed through a tube containing water to be taken up by water before entering the condenser component. To speed up the heat transfer process, a propeller and a current guide are added. The propeller and current guide are expected to be able to activate the heat transfer process from the refrigerant to another medium, namely air. This study uses an experimental method because it is carried out by testing the flow rate of the volume of water due to the influence of additional propellers and current guides on heat recovery which is carried out in a split AC simulator. The installation of the propeller is carried out on a tube filled with water media where the tube will be passed by the compressor output refrigerant pipe which has a high temperature. The analysis will be carried out on the rate of heat transfer of the system due to variations in water volume. From the tests carried out on Split AC heat recovery using a propeller and a current guide and without a propeller and a current guide, it shows that the heat transfer (Q_{real}) is $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 3,81\text{ }^{\circ}\text{C}$. The greater the volume of water, the Q_{real} (heat transfer rate) produced is greater.

Keywords: heat transfer, heat recovery, propeller, ac split

Pendahuluan

Refrigerasi adalah suatu proses penyerapan panas dari suatu zat atau produk sehingga temperaturnya berada di bawah temperatur lingkungan. Mesin refrigerasi atau disebut juga mesin pendingin adalah mesin yang dapat menimbulkan efek refrigerasi tersebut, sedangkan refrigeran adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses penyerapan panas[1]. Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan siklus refrigerasi yang paling sering digunakan pada mesin pendingin. Fluida kerja atau refrigeran pada siklus refrigerasi kompresi uap diberikan tekanan. Kemudian tekanan fluida diturunkan agar fluida tersebut dapat menguap kembali [2]. AC Split memiliki dua bagian yaitu *indoor* dan *outdoor*, kompresor pada AC split ini terletak pada bagian *outdoor*nya dan memiliki kipas sebagai alat untuk mengurangi panas yang ada pada pipa kondensornya. Sedangkan pada bagian *indoor*nya terdapat pipa evaporator dan motor listrik yang berfungsi memutar *blower* dan kemudian dikeluarkan pada ruangan yang telah ditentukan sehingga ruangan tersebut menjadi dingin[3]. Alat penukar panas (*heat exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua buah fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperatur yaitu fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah [4]. Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah sebuah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua atau lebih fluida. Perkembangan alat penukar kalor menuju keringkasan ukuran, tetapi dengan kemampuan pertukaran kalornya yang semakin meningkat [5]. *Heat recovery* adalah penukar panas / pemulihan energi yang mentransfer panas dari output proses pada suhu tinggi ke bagian lain dari proses untuk tujuan tertentu, biasanya meningkatkan efisiensi[6]

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk proses perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material [7]. Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah benda yang bertemperatur rendah dalam suatu media padat atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum [8].

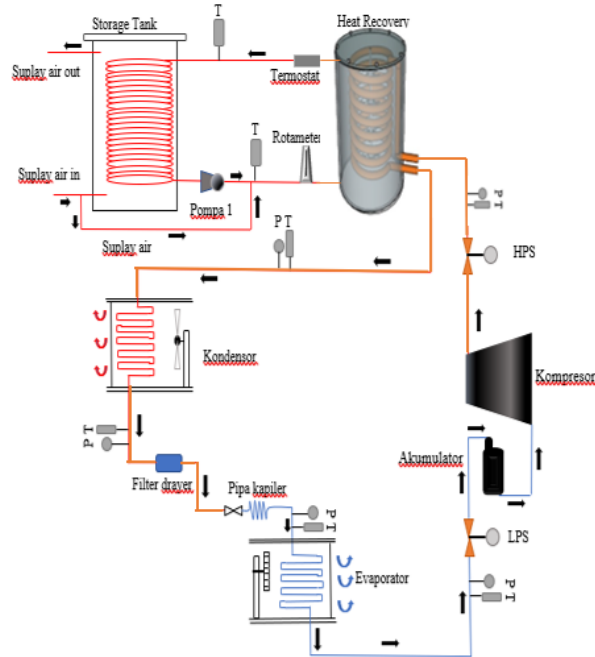
Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/ pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah pengurangan panas kompresor dari *heat recovery*, pendinginan dari secangkir kopi dan lain sebagainya. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*)[9]. Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut [10].

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan melakukan pengujian langsung pada alat simulator AC Split dengan menambahkan komponen tambahan (baling-baling dan pengarah arus) pada *heat recovery* di Laboratorium Tata Udara Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali. Penelitian eksperimen ini dilakukan dengan pengujian laju perpindahan panas akibat pengaruh penggunaan baling-baling dan pengarah arus pada *heat recovery* yang dilakukan di sebuah simulator AC split. Adapun pemasangan baling-baling dan pengarah arus dilakukan pada sebuah tabung yang diisi dengan media air (fluida) yang mana tabung akan dilewati *pipeline* refrigeran keluaran kompresor yang memiliki temperatur tinggi akan masuk terlebih dahulu ke *heat recovery* untuk diserap panasnya setelah itu baru menuju ke kondensor. Analisis akan dilakukan pada laju perpindahan panas sistem akibat variasi volume air terhadap penambahan komponen baling-baling dan pengarah arus tersebut.

Penelitian ini dirancang secara bertahap yang mencakup tentang persiapan alat dan bahan, perancangan alat, pengerjaan alat, penginstalan kelistrikan modifikasi sistem pada *heat recovery*, pengosongan, pemvakuman, pengisian refrigeran, tes kebocoran pada instalasi, pengambilan data, pengolahan data yang diperoleh dan menganalisisnya dengan membandingkan pada sebuah tabel atau diagram. Proses pengosongan, pemvakuman, dan pengisian ini wajib dilakukan sebelum melakukan pengujian di mana langkah - langkah tersebut sangat menentukan perolehan data yang akurat. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan baling-baling dan pengarah arus pada *heat recovery* simulator AC split dilakukan sebuah pengukuran terhadap laju perpindahan panas dengan mengukur temperatur air dan refrigeran yang masuk dan keluar pada *heat recovery*.

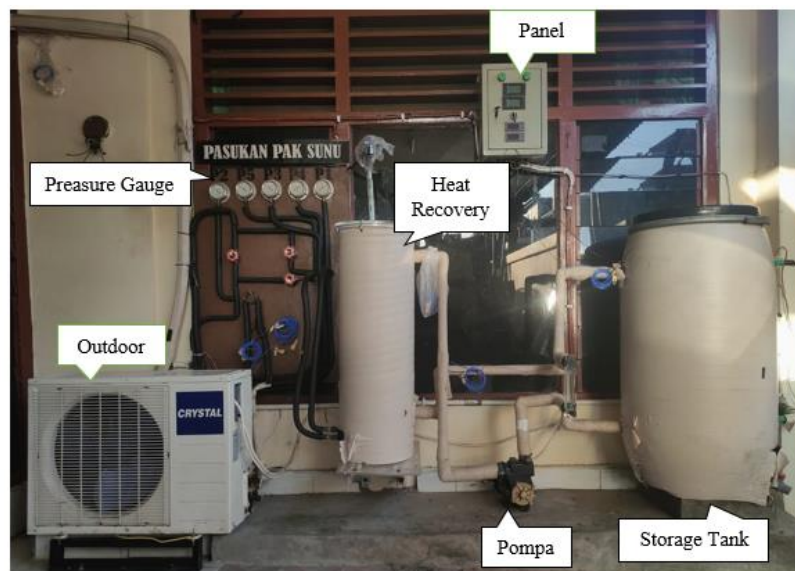
Pada tahap ini penulis melakukan pengujian terhadap pengaruh laju aliran volume air terhadap perpindahan panas dengan tambahan baling-baling pada *heat recovery* AC domestik berkapasitas 1 PK dengan desain dan pemodelan alat yang telah direncanakan. Desain dan pemodelan alat akan menjadi acuan dalam pembuatan dan penyusunan alat di lapangan. Dari desain dan pemodelan alat ini, penulis akan melakukan penempatan alat dan pengukuran-pengukuran pada tempat-tempat tertentu untuk kemudian dilakukan pengujian dari pengaruh penggunaan baling-baling pada *heat recovery* AC domestik berkapasitas 1 PK.



Gambar 1. Skema Simulator AC Split

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan mengenai pengaruh laju aliran volume air dengan penggunaan baling-baling terhadap perpindahan panas pada *heat recovery* AC split domestik berkapasitas 1 PK maka diperoleh instalasi penelitian seperti pada Gambar 2



Gambar 2. AC split dengan heat recovery

debit air 16 LPM = $0,000266\text{m}^3 / \text{s}$. Maka laju aliran masa air

$$\dot{m}_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} \cdot q_{\text{air}} \quad (\text{kg} / \text{s})$$

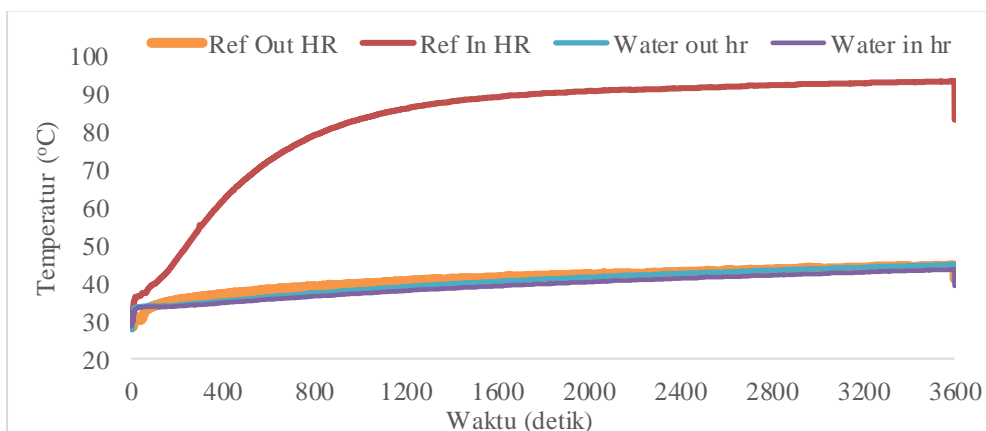
$$\dot{m}_{\text{air}} = 1000 \text{ (kg /m}^3\text{)} \cdot 0,000266 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = 0,266 \text{ kg /s}$$

Pada penelitian ini telah dilakukan variasi aliran volume air yaitu 12 LPM,14 LPM,16 LPM,18 LPM dengan menggunakan baling-baling dan pengarah arus dan tanpa menggunakan baling-baling dan pengarah arus pada *heat recovery*. Berikut adalah data hasil pengukuran temperatur di *heat recovery* dengan baling-baling dan pengarah arus pada laju aliran massa air $0,266 \text{ kg/s}$ yang dapat diterangkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Data hasil pengujian *heat recovery* dengan 4 baling-baling dan pengarah arus pada laju aliran massa air $0,266 \text{ kg/s}$

| Place | Ref | Ref | Water | Water |
|-----------|-------------|------------|-------------|------------|
| | Out HR (°C) | In HR (°C) | Out HR (°C) | In HR (°C) |
| 1 | 28,3 | 28,2 | 29,1 | 28,6 |
| 2 | 28,3 | 28,2 | 29,1 | 32,4 |
| 3 | 28,3 | 29,4 | 27,6 | 32,4 |
| 4 | 28,3 | 30,3 | 29,9 | 32,4 |
| 5 | 28,4 | 31,3 | 31,8 | 32,4 |
| 6 | 28,5 | 32,1 | 31,8 | 31 |
| 7 | 28,7 | 33,2 | 32,6 | 29,7 |
| 8 | 28,7 | 33,2 | 32,6 | 29,7 |
| 9 | 29 | 34,3 | 32,6 | 29,7 |
| 10 | 29,2 | 34,9 | 33,3 | 31,1 |
| • | • | • | • | • |
| • | • | • | • | • |
| • | • | • | • | • |
| 3600 | 44,5 | 93,2 | 44,9 | 43,6 |
| Rata-rata | 41,026 | 82,972 | 40,244 | 39,181 |

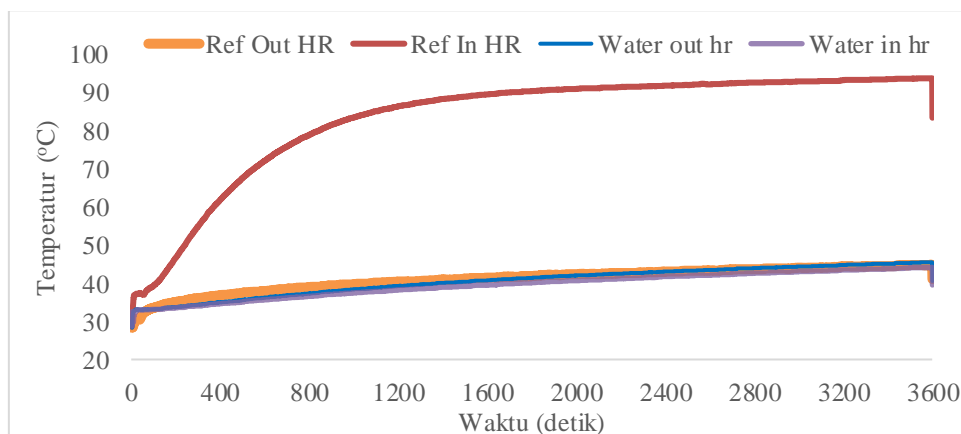


Gambar 3 Temperatur *heat recovery* dengan baling-baling pada laju aliran massa air $0,266 \text{ kg/s}$

Data hasil pengukuran temperature di *heat recovery* tanpa baling-baling dan pengarah arus pada laju massa air $0,266 \text{ kg/s}$ yang dapat diterangkan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Data hasil pengujian *heat recovery* tanpa 4 baling-baling dan pengarah arus pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

| Place | Ref | Ref | Water | Water |
|-----------|-------------|------------|-------------|------------|
| | Out HR (°C) | In HR (°C) | Out HR (°C) | In HR (°C) |
| 1 | 28,3 | 28,6 | 29,9 | 28,7 |
| 2 | 28,3 | 28,6 | 29,9 | 28,7 |
| 3 | 28,3 | 29,8 | 29,9 | 28,7 |
| 4 | 28,3 | 31,2 | 28,3 | 32,5 |
| 5 | 28,4 | 31,2 | 29,2 | 32,5 |
| 6 | 28,4 | 32,6 | 31,2 | 32,5 |
| 7 | 28,4 | 33,2 | 32 | 30,7 |
| 8 | 28,6 | 34,1 | 32 | 29,7 |
| 9 | 28,7 | 34,9 | 32,6 | 29,7 |
| 10 | 29 | 36 | 32,6 | 29,7 |
| • | • | • | • | • |
| • | • | • | • | • |
| • | • | • | • | • |
| 3600 | 44,7 | 93,5 | 45,4 | 44,1 |
| Rata-rata | 40,999 | 83,204 | 40,508 | 39,465 |



Gambar 4 Temperatur *heat recovery* tanpa baling-baling pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

Berdasarkan nilai dari data rata - rata yang telah diperoleh dari hasil pengujian pada AC split dengan *heat recovery*, maka data tersebut dapat dimasukkan kedalam rumus untuk mendapatkan nilai efektivitas dan ΔT LMTD dari *heat recovery*. Berikut perhitungan dalam mencari nilai efektivitas dan ΔT LMTD dari *heat recovery* pada masing - masing hasil pengujian.

Berikut adalah hasil dari rata - rata Tabel dan data dari temperatur *heat recovery* yang akan dimasukkan kedalam rumus:

- T Water Out HR = 40,244 °C
- T Water In HR = 39,181 °C
- T Ref In HR = 82,972 °C
- T Ref Out HR = 41,026 °C
- Cp air = 4,18 kJ / kg
- Cp refrigerant pair = 1,351 kJ / kg
- pair = 1000 kg / m³

Dari data di atas maka dapat dicari nilai efektivitas dan ΔT LMTD *heat recovery*.

a. LMTD

$$\begin{aligned} \text{LMTD} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}\right)} \\ &= \frac{(82,972 - 40,244) - (41,026 - 39,181)}{\ln\left(\frac{82,972 - 40,244}{41,026 - 39,181}\right)} \\ &= \frac{40,883}{3,1423} = 13,01053 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

B Nilai efektivitas perpindahan panas (ϵ)

$$\epsilon = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{maks}}}$$

$$Q_{\text{real}} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot C_{p_{\text{air}}} \cdot \Delta T$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{real}} &= (\rho_{\text{air}} \cdot q_{\text{air}}) \cdot C_{p_{\text{air}}} \cdot (T_{c \text{ out}} - T_{c \text{ in}}) \\ &= (1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 16 \text{ LPM}) \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot (40,244 - 39,181) \\ &= (1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,016 \text{ m}^3/\text{mnt}) \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 1,063^\circ\text{C} \\ &= (1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00026666 \text{ m}^3/\text{s}) \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 1,063^\circ\text{C} \\ &= 0,26666 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 1,063 \\ &= 1,18486 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{maks}} = C_{\text{min}} \cdot (T_{\text{ho}} - T_{\text{co}})$$

Dimana C_{min} adalah harga terkecil dari C_h atau C_c

$$C_{\text{min}} = C_h = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot c_{p_{\text{ref}}} \quad \text{apabila } C_h < C_c$$

$$C_{\text{min}} = C_c = \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{p_{\text{air}}} \quad \text{apabila } C_c < C_h$$

Maka untuk mengetahui nilai C_{min} harus dicari nilai \dot{m}_{ref} terlebih dahulu dengan rumus :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ref}} &= \frac{Q_{\text{real}}}{(T_{\text{hin}} - T_{\text{hout}}) C_{p_{\text{ref}}}} \\ &= \frac{1,18486 \text{ kJ/s}}{(82,972 - 41,026) \cdot 1,351 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}} \\ &= \frac{1,18486 \text{ kJ/s}}{(41,946^\circ\text{C}) \cdot 1,351 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}} \\ &= \frac{1,18486 \text{ kJ/s}}{56,6690 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,02090 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{p_{\text{air}}} \\ &= 0,026666 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \\ &= 1,11463 \text{ kJ/s } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_h &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot c_{p_{\text{ref}}} \\ &= 0,02090 \text{ kg/s} \cdot 1,351 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \\ &= 0,028235 \text{ kJ/s } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas $C_h = 0,028235 \text{ kJ/s } ^\circ\text{C} < C_c = 1,11463 \text{ kJ/s } ^\circ\text{C}$ maka

$$C_{\text{min}} = C_h$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= C_{\text{min}} \cdot (T_{\text{hi}} - T_{\text{ci}}) \\ &= 0,028235 \text{ kJ/s } ^\circ\text{C} \cdot (82,972 - 39,181) \\ &= 1,2364 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{maks}}} \\ &= \frac{1,18486 \text{ kJ/s}}{1,2364 \text{ kJ/s}} = 0,96 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan pada pengujian perbandingan penggunaan baling-baling dengan tanpa baling-baling pada *heat recovery* dapat diterangkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 di bawah ini.

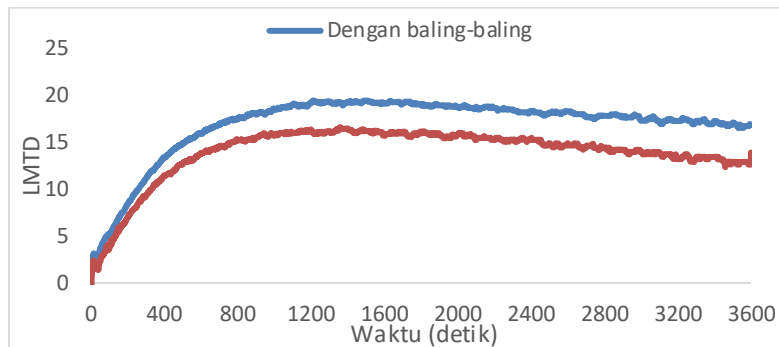
Tabel 3 Tabel hasil pengujian *heat recovery* dengan 4 baling-baling dan pengarah arus pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

| Place | LMTD | Q _{real} (kJ/s) | Effectiveness |
|-----------|----------|-----------------------------|---------------|
| 1 | 1,217 | -0,0004 | 0,134580 |
| 2 | 1,217 | -0,0004 | 0,134580 |
| 3 | 1,674 | -0,0004 | 0,450552 |
| 4 | 2,659 | 0,0002 | 0,493462 |
| 5 | 2,474 | 0,0015 | 0,548763 |
| 6 | 2,543 | 0,0015 | 0,536001 |
| 7 | 3,363 | 0,0009 | 0,577958 |
| 8 | 3,691 | 0,0009 | 0,597505 |
| 9 | 3,005 | -0,0004 | 0,685363 |
| 10 | 3,465 | -0,0004 | 0,672902 |
| • | • | • | • |
| • | • | • | • |
| • | • | • | • |
| 3600 | 15,547 | 0,0011 | 0,709175 |
| Rata-rata | 16,55078 | 0,00088 | 0,67328 |

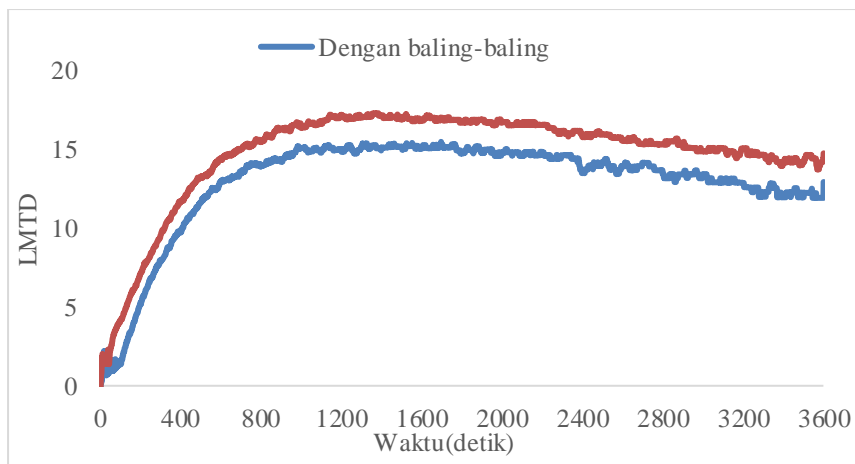
Tabel 4 Tabel hasil pengujian *heat recovery* tanpa 4 baling-baling dan pengarah arus pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

| Place | LMTD | Q _{real} (kJ/s) | Effectiveness |
|-----------|----------|-----------------------------|---------------|
| 1 | -0,764 | 0,0009 | -12,000000 |
| 2 | -0,764 | 0,0009 | -12,000000 |
| 3 | -0,577 | 0,0009 | 3,000000 |
| 4 | 1,536 | 0,0017 | 0,550000 |
| 5 | 1,682 | 0,0017 | 0,523810 |
| 6 | 1,455 | 0,0032 | 0,750000 |
| 7 | 1,979 | 0,0034 | 0,619718 |
| 8 | 2,268 | 0,0031 | 0,573389 |
| 9 | 1,985 | 0,0043 | 0,708861 |
| 10 | 2,638 | 0,0043 | 0,622222 |
| • | • | • | • |
| • | • | • | • |
| • | • | • | • |
| 3600 | 10,835 | 0,0010 | 0,731202 |
| Rata-rata | 12,26570 | 0,00084 | 0,70181 |

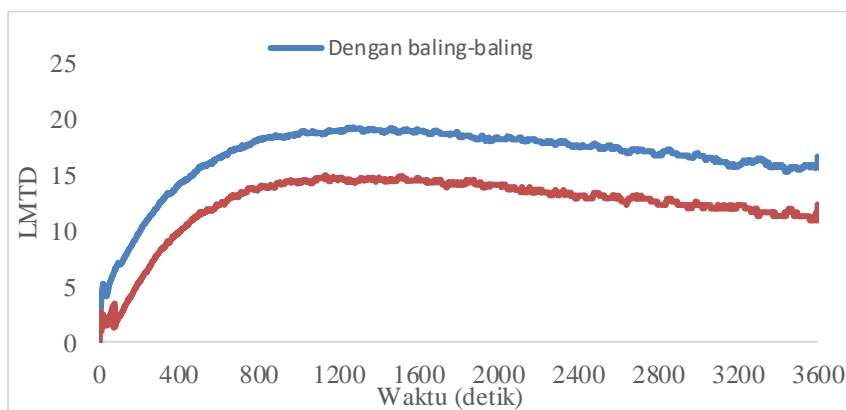
Berdasarkan data dan perhitungan yang telah diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan pada *heat recovery*, maka data yang diperoleh itu selanjutnya di input ke dalam suatu grafik perbandingan penggunaan baling-baling dengan tanpa baling-baling pada berbagai variasi debit air untuk dapat dilihat seberapa besar panas yang dapat ditransfer. Untuk menghitung ΔT LMTD digunakan grafik perbandingan dari grafik *time series*. Berikut dapat digambarkan perbandingan perubahan temperatur yang terjadi pada pengujian perbandingan penggunaan baling-baling dengan tanpa baling-baling pada grafik sebagai berikut.



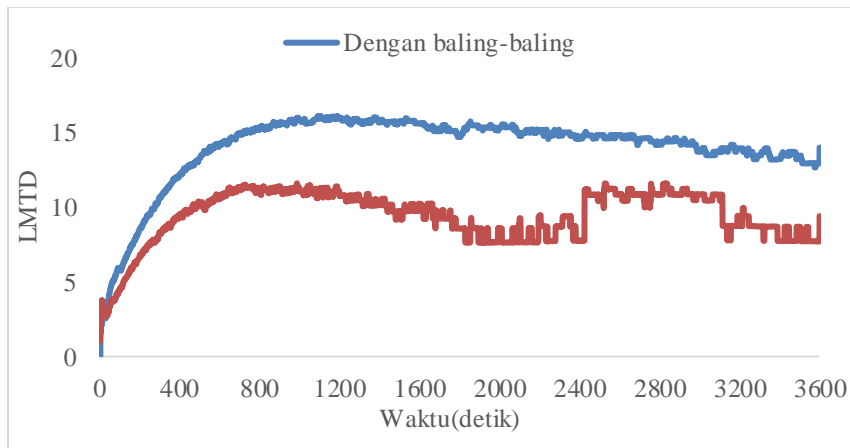
Gambar 5 Perbandingan LMTD menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,200 kg/s



Gambar 6 Perbandingan LMTD menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,233 kg/s



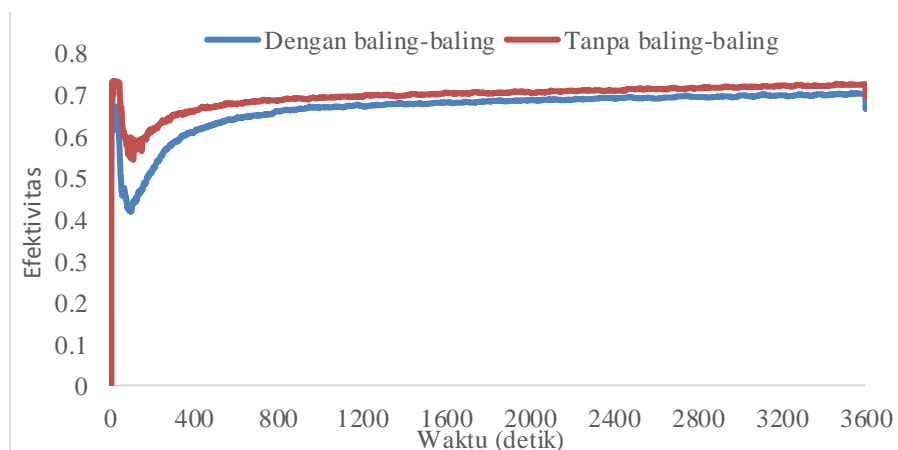
Gambar 7 Perbandingan LMTD menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,266 kg/s



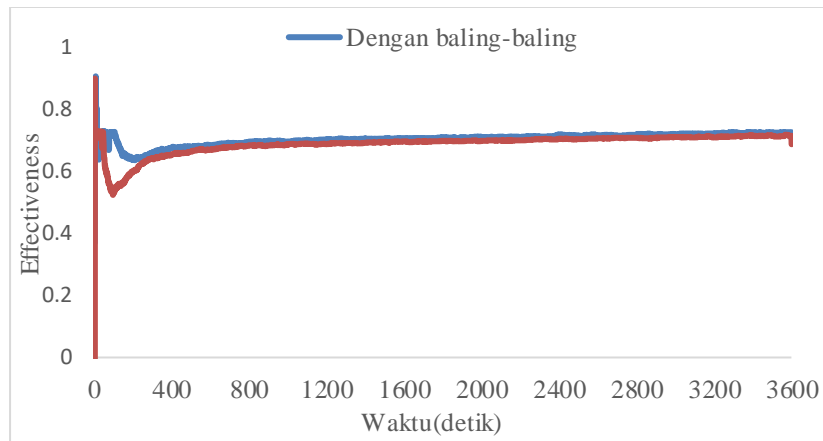
Gambar 8 Perbandingan LMTD menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,300 kg/s

LMTD adalah rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran panas dan dingin di setiap akhir *exchanger*. Dari grafik 5 sampai grafik 8 dapat dilihat perubahan temperatur pada *heat recovery*, di mana data yang terlihat pada grafik menyatakan nilai LMTD dengan menggunakan baling-baling lebih besar daripada tanpa menggunakan baling-baling. Hal ini menyatakan bahwa saat *heat recovery* menggunakan baling-baling lebih efektif untuk membantu terjadinya perpindahan panas. Nilai LMTD pada laju massa air 0,200 kg/s memperoleh peningkatan panas sebesar 2,97 °C, pada laju massa air 0,233 kg/s memperoleh penurunan panas sebesar -1,81 °C, untuk laju massa air 0,266 kg/s peningkatan panas sebesar 4,28 °C, dan pada laju massa air 0,300 kg/s memperoleh peningkatan panas sebesar 4,59 °C.

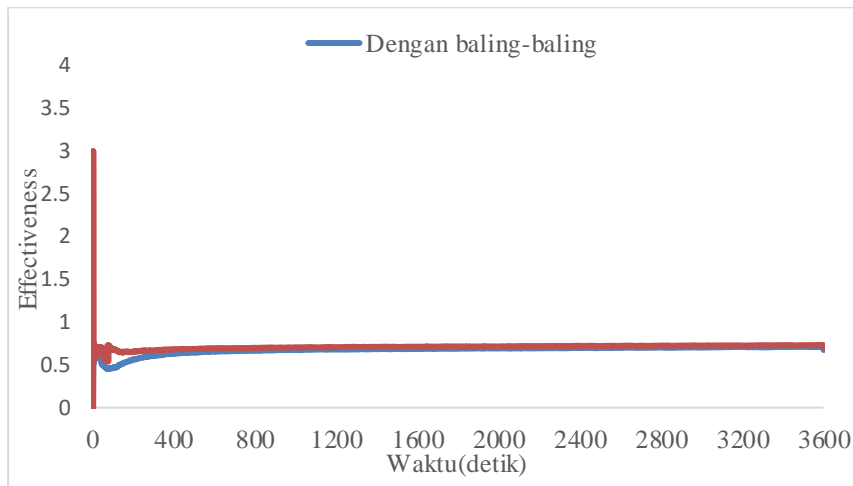
Data perhitungan nilai efektivitas setiap variasi laju massa air baik yang menggunakan baling-baling maupun tanpa baling-baling terlampir pada lampiran 1 sampai 8. Berikut dapat digambarkan perbandingan nilai efektivitas pada pengujian perbandingan penggunaan baling-baling dengan tanpa baling-baling pada grafik sebagai berikut.



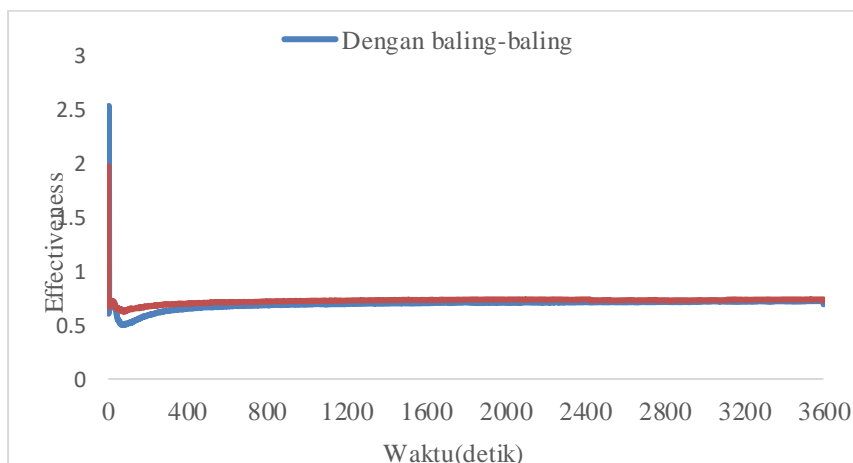
Gambar 9 Perbandingan nilai efektivitas menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,200 kg/s



Gambar 10 Perbandingan nilai efektivitas menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,233 kg/s



Gambar 11 Perbandingan nilai efektivitas menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

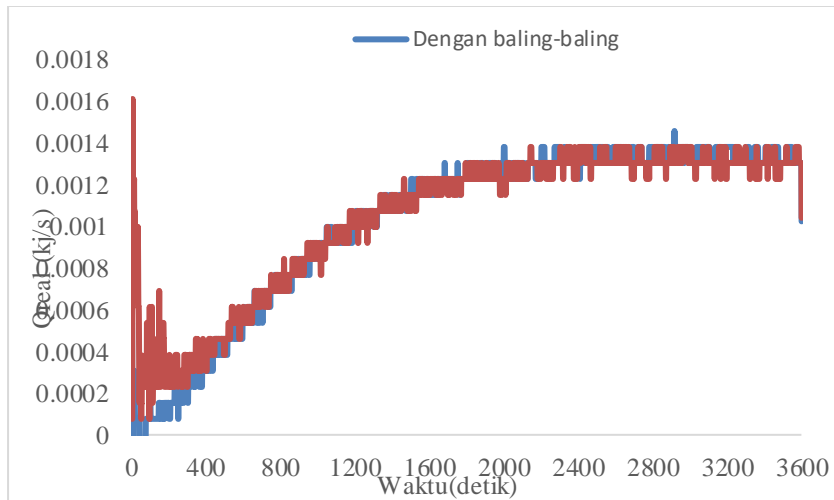


Gambar 12 Perbandingan nilai efektivitas menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,300 kg/s

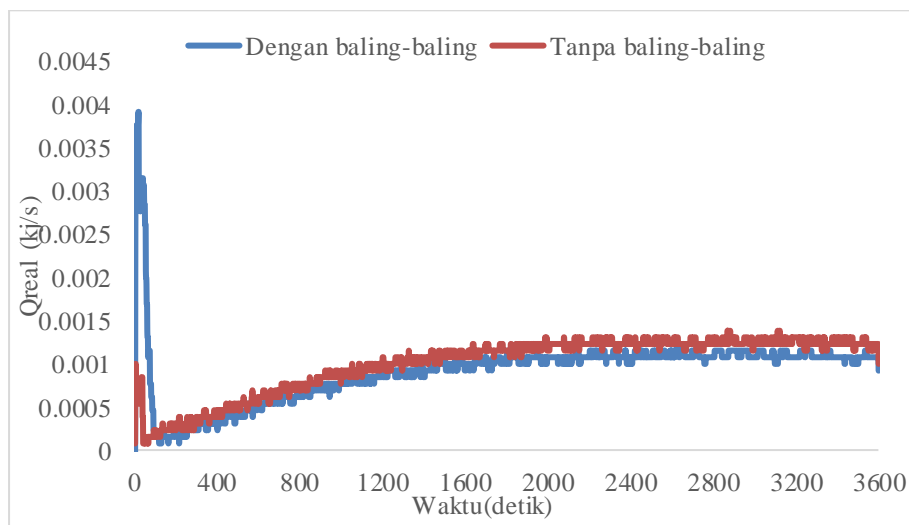
Dari grafik 9 sampai grafik 12 dapat dilihat perbandingan nilai efektivitas, di mana data yang terlihat pada grafik menyatakan nilai efektivitas dengan menggunakan baling-baling lebih kecil dari pada tidak menggunakan baling-baling. Hal ini menyatakan bahwa saat *heat recovery* menggunakan baling-baling lebih efektif untuk membantu terjadinya perpindahan panas. Nilai efektivitas pada laju massa air 0,200 kg/s

memperoleh penurunan panas sebesar $-0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, pada laju massa air $0,233\text{ kg/s}$ peningkatan panas sebesar $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, untuk laju massa air $0,266\text{ kg/s}$ penurunan panas sebesar $-0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan pada laju massa air $0,300\text{ kg/s}$ memperoleh penurunan panas sebesar $-0,003\text{ }^{\circ}\text{C}$.

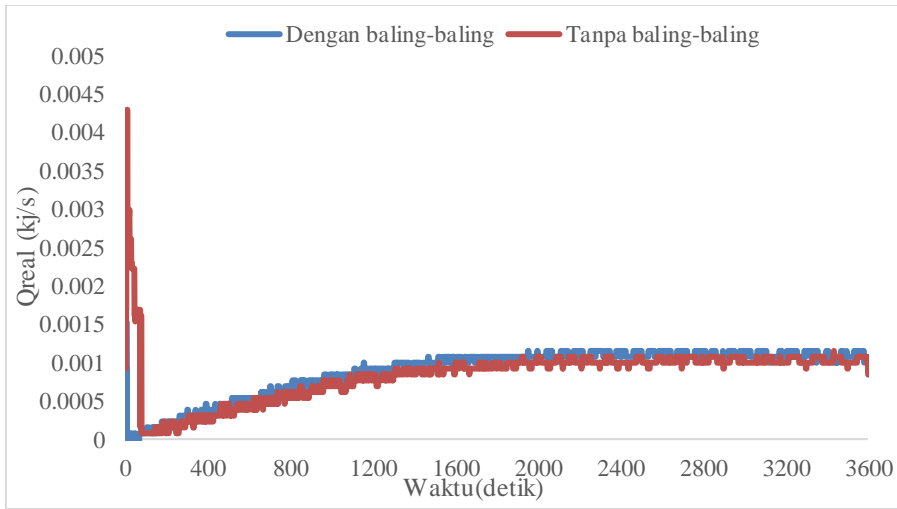
Data perhitungan Q_{real} dari setiap variasi laju aliran massa air dengan menggunakan baling-baling dan tanpa baling-baling terlampir pada lampiran 1 sampai dengan lampiran 8. Berikut dapat digambarkan perbandingan Q_{real} atau laju perpindahan panas pada pengujian perbandingan penggunaan baling-baling dengan tanpa baling-baling pada grafik sebagai berikut.



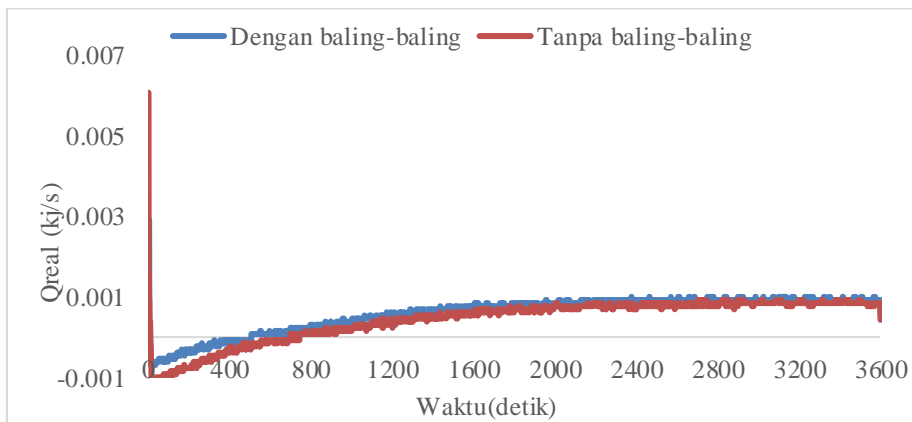
Gambar 13 Perbandingan Q_{real} menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air $0,200\text{ kg/s}$



Gambar 14 Perbandingan Q_{real} menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air $0,233\text{ kg/s}$

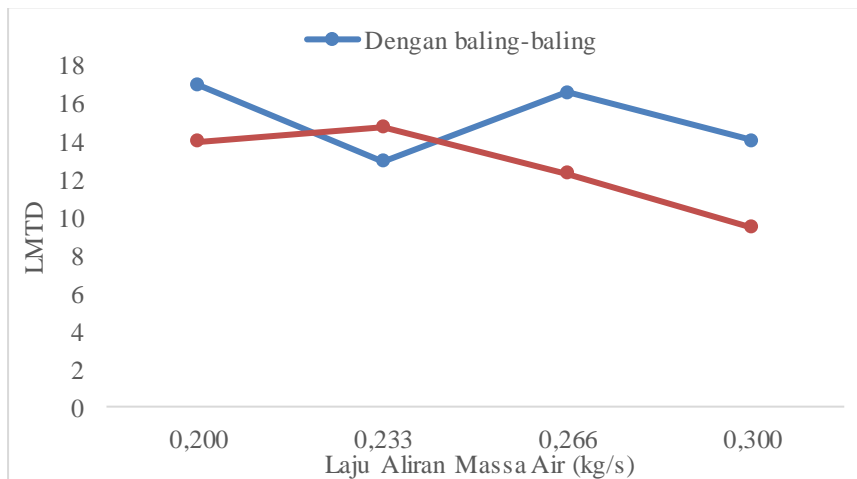


Gambar 15 Perbandingan Q_{real} menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,266 kg/s

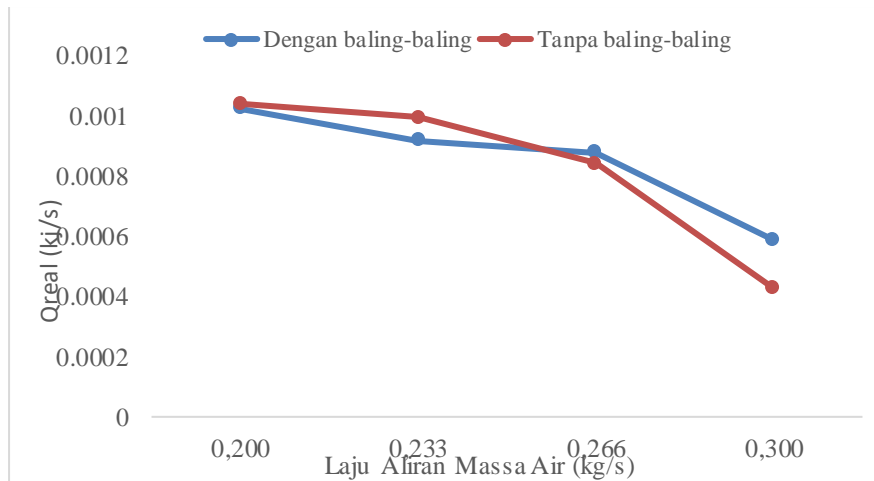


Gambar 16 Perbandingan Q_{real} menggunakan baling-baling dan tanpa menggunakan baling-baling pada laju aliran massa air 0,300 kg/s

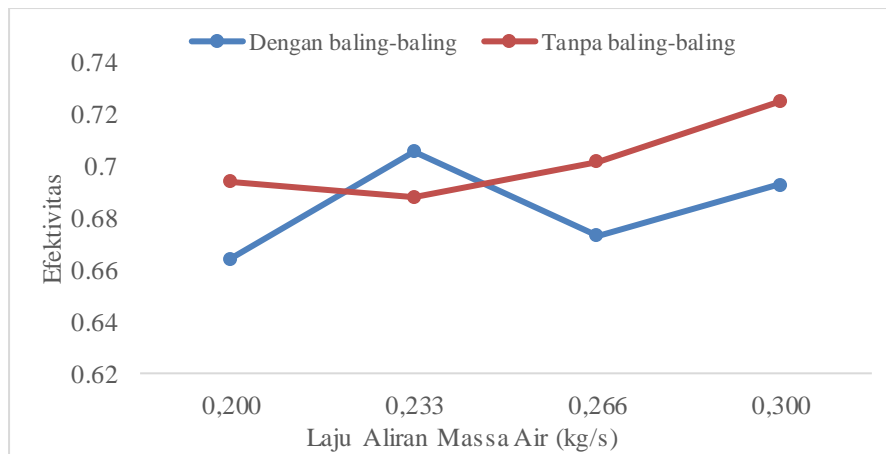
Dari grafik 13 sampai grafik 16 dapat dilihat perbandingan Q_{real} , di mana data yang terlihat pada grafik menyatakan Q_{real} menggunakan baling-baling lebih besar dari pada tanpa menggunakan baling-baling. Hal ini menyatakan bahwa saat *heat recovery* menggunakan baling-baling laju perpindahan panas lebih besar dari tanpa menggunakan baling-baling. Q_{real} pada laju massa air 0,200 kg/s memperoleh kenaikan panas sebesar $-1,70\text{ }^{\circ}\text{C}$, pada laju massa air 0,233 kg/s peningkatan panas sebesar $-7,80\text{ }^{\circ}\text{C}$, untuk laju massa air 0,266 kg/s peningkatan panas sebesar $3,81\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan pada laju massa air 0,300 kg/s memperoleh peningkatan panas sebesar $0,0001\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 17 Perbandingan LMTD menggunakan baling-baling dan tanpa baling-baling dengan variasi laju aliran massa air



Gambar 18 Perbandingan Q_{real} menggunakan baling-baling dan tanpa baling-baling dengan variasi laju aliran massa air



Gambar 19 Perbandingan efektivitas menggunakan baling-baling dan tanpa baling-baling dengan variasi laju aliran massa air

Dari grafik 3 sampai grafik 19 dapat dilihat perubahan temperatur pada *heat recovery*, di mana data yang terlihat pada grafik menyatakan bahwa saat *heat recovery* tanpa menggunakan baling-baling lebih efektif untuk membantu terjadinya perpindahan panas dikarenakan aliran air yang turun lebih terpusar.

Simpulan

Dari pengujian yang dilakukan pada *heat recovery* AC Split dengan menggunakan baling-baling dan pengarah arus memperoleh laju perpindahan panas (Q_{real}) sebesar $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C} - 3,81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dari pengujian pengaruh laju aliran volume air yang telah dilakukan dapat disimpulkan semakin besar volume air maka hasil Q_{real} (laju perpindahan panas) semakin besar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan, bimbingan, arahan dan dukungan dari Bapak dosen pembimbing 1 dan bapak dosen pembimbing 2 sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik. Juga teman sejawat yang telah memberikan masukan serta dukungan dan juga seluruh dosen dan staf akademik yang telah membantu dalam memberikan fasilitas dan ilmunya untuk penyelesaian penelitian ini.

Referensi

- [1] Ashar Ariffin, 2021, 13 Komponen AC dan Fungsinya, <https://www.carailmu.com/2021/06/komponen-ac-dan-fungsinya.html>
- [2] Mesin, J. T., Teknik, F., & Jember, U. (2016). *Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember*.
- [3] Suamir, I.N. 2015. *Teknologi Refrigerasi*. Politeknik Negeri Bali, Badung-Bali.
- [4] Susila, I.D.M. 2015. *Termodinamika Teknik*. Politeknik Negeri Bali, Badung-Bali.
- [5] Putra, K.U.A. 2015. *Pengujian Heat Recorvery Untuk Berbagai Refrigeran*. Proyek Akhir. Politeknik Negeri Bali, Badung-Bali.
- [6] Endra, W. 2015. Studi Eksperimental Peningkatan Perpindahan Panas Aliran Turbulen pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Perforated Twisted Tape Insert with Parallel Wings. *Rotasi*. 17 (3): 120 – 129.
- [7] Istanto, T. 2011. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Sisipan Pita Terpilin Berlubang. *Jurnal Fakultas Teknik Uneversitas Sebelas Maret*. 10 (1): 7 – 14.
- [8] Wibowo, B.S., dkk. 2018. Laju Perpindahan Kalor Konveksi Di Inner Tube Pada Pipa Konsentrik Saluran Annular Dengan Twisted Tape Insert Pada Nanofluida Titanium Oxide (TiO₂) Dengan Fluida Dasar Oli Termo Xt32. *Jurnal Universitas Bangka Belitung*. ISBN 978-602-61545-0-7: 90 – 192.
- [9] Yaningsih, I. 2016. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Trapezoidal-Cut Twisted Tape Insert. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret*. 10 (2): 95 – 104.
- [10] Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer*. Amaricas: McGraw-Hill