

**PENGARUH LAJU MASSA ALIR UDARA TERHADAP UNJUK  
KERJA *PROTOTYPE* MESIN PENDINGIN BERBASIS  
TERMoeLEKTRIK DENGAN *EVAPORATIVE COOLING***

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**WIRA BUANA SP  
NIM. 155060200111043**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**

**PENGARUH LAJU MASSA ALIR UDARA TERHADAP  
UNJUK KERJA *PROTOTYPE* MESIN PENDINGIN BERBASIS  
TERMoeLEKTRIK DENGAN *EVAPORATIVE COOLING***

**WIRA BUANA SP**

**SKRIPSI**





**PENGARUH LAJU MASSA ALIR UDARA TERHADAP UNJUK  
KERJA *PROTOTYPE* MESIN PENDINGIN BERBASIS  
TERMOELEKTRIK DENGAN *EVAPORATIVE COOLING***

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH LAJU MASSA ALIR UDARA TERHADAP UNJUK  
KERJA *PROTOTYPE* MESIN PENDINGIN BERBASIS  
TERMOELEKTRIK DENGAN *EVAPORATIVE COOLING***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**WIRA BUANA SP**  
**NIM. 155060200111043**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada  
tanggal 28 Juni 2019 .

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.**  
**NIP. 19740121 199903 1 001**

  
**Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
**NIP. 19740930 200012 1 001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi S1**

  
**Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
**NIP. 19740930 200012 1 001**



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 28 Juni 2019

Mahasiswa



Wira Buana SP

NIM. 155060200111043

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

### JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Unjuk Kerja *Prototype* Mesin Pendingin Berbasis Termoelektrik dengan *Evaporative Cooling*

Nama Mahasiswa : WIRA BUANA SP  
NIM : 155060200111043  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat (bila ada) : Teknik Konversi Energi

### KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.  
Anggota : Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

### TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.  
Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.  
Dosen Penguji 3 : Khairul Anam, ST., M.Sc.  
Tanggal Ujian : 19 Juni 2019  
SK Penguji : 1188/UN10.F07/SK/2019

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan limpahan rahmat dan berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Unjuk Kerja *Prototype* Mesin Pendingin Berbasis Termoelektrik dengan *Evaporative Cooling*"**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S-1 dan selaku Dosen Pembimbing 2 serta Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi
3. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 1.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
6. Kepala Laboratorium & teman-teman asisten Laboratorium Mesin Pendingin yang telah memeberikan dukungan dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Ayah saya Ir. Marusaha Sitorus, Ibu saya Maria Grotty Sitohang S.Pd., serta adik saya Sonia Majestica, Wuri Handayani Sitorus, dan Wahyu Chrisdia Sitorus yang mendoakan serta memberi dukungan baik berupa material maupun moral.
8. Ricky dan Hebron Simamora sebagai rekan tim atas segala upaya saling melengkapi dan membantu diantara kita dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Sahabat-sahabat yang telah memberi semangat moral serta dukungan doa.
10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2015 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
11. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung dengan saya, sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini, terimakasih atas segala bentuk dan bantuannya yang telah diberikan kepada saya.

repository.ub.ac.id

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik dan saran yang bersifat membangun di kemudian hari. Semoga dapat memunculkan ide-ide baru, dan semangat untuk mengembangkannya dan bermanfaat bagi semua pihak. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Mei 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Mesin Pendingin .....	5
2.3 Termodinamika dan Aplikasi .....	6
2.4 Persamaan Energi Aliran Mantap ( <i>Steady</i> ) .....	7
2.5 Laju Massa Alir .....	8
2.6 Psikometri .....	9
2.7 Perpindahan Kalor .....	11
2.7.1 Perpindahan Kalor Konduksi .....	11
2.7.2 Perpindahan Kalor Konveksi .....	11
2.7.3 Perpindahan Kalor Radiasi .....	12
2.8 <i>Thermoelectric</i> .....	12
2.9 Efek pada Termoelektrik .....	13
2.9.1 Efek Seebeck .....	13
2.9.2 Efek Peltier .....	14
2.9.3 Efek Thompson .....	15
2.10 <i>Heatsink</i> .....	16
2.11 <i>Evaporative Cooling</i> .....	16
2.12 <i>Coefficient of Performance (COP) Termoelektrik dan Evaporative cooling</i> ...	17



2.13	Hipotesis .....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>23</b>
3.1	Metode Penelitian.....	23
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	23
3.3	Variabel-Variabel Penelitian.....	23
3.4	Instalasi Penelitian .....	24
3.5	Alat-Alat Penelitian.....	26
3.5.1	Mesin Pendingin Berbasis <i>Thermoelectric Cooler</i> dengan <i>Evaporative Cooling</i> .....	26
3.5.2	Alat Ukur .....	30
3.6	Langkah-Langkah Penelitian .....	32
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>35</b>
4.1	Analisis Data .....	35
4.1.1	Data Hasil Penelitian .....	35
4.1.2	Perhitungan Data .....	35
4.1.3	Hasil Perhitungan.....	39
4.2	Hasil dan Pembahasan.....	40
4.2.1	Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan COP Ideal .....	40
4.2.2	Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan COP Aktual .....	41
4.2.3	Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan Penurunan Temperatur .....	42
4.2.4	Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan Kelembapan Relatif .....	43
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>45</b>
5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil COP Ideal.....	39
Tabel 4.2	Hasil COP Aktual.....	39
Tabel 4.3	Hasil Penurunan Temperatur.....	39
Tabel 4.4	Hasil Kelembapan .....	39



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Keseimbangan energi pada laju aliran <i>steady</i> .....	7
Gambar 2.2	<i>Thermoelectric</i> .....	13
Gambar 2.3	Efek Seeback.....	14
Gambar 2.4	Efek Peltier .....	15
Gambar 2.5	<i>Evaporative cooling</i> .....	17
Gambar 3.1	Instalasi penelitian .....	24
Gambar 3.2	<i>Thermoelectric cooler</i> .....	26
Gambar 3.3	<i>Heatsink</i> .....	27
Gambar 3.4	<i>Power supply</i> .....	28
Gambar 3.5	<i>Control panel</i> .....	28
Gambar 3.6	<i>Blower</i> .....	29
Gambar 3.7	Ruang penyekat ( <i>Duct</i> ) .....	29
Gambar 3.8	Jerami padi .....	30
Gambar 3.9	Termometer digital .....	30
Gambar 3.10	<i>Hygrometer</i> dan termometer digital.....	30
Gambar 3.11	AVO meter .....	31
Gambar 3.12	<i>Anemometer</i> .....	31
Gambar 3.13	<i>Stopwatch</i> .....	32
Gambar 3.14	Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 4.1	Hubungan antara laju massa alir dengan COP ideal.....	40
Gambar 4.2	Hubungan antara laju massa alir dengan COP aktual .....	41
Gambar 4.3	Hubungan antara laju massa alir dengan penurunan temperatur .....	42
Gambar 4.4	Hubungan antara laju massa alir dengan kelembapan relatif .....	43



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Laju Massa Alir 0,013 kg/s
- Lampiran 2 Data Laju Massa Alir 0,016 kg/s
- Lampiran 3 Data Laju Massa Alir 0,018 kg/s
- Lampiran 4 Data Arus Listrik



## RINGKASAN

**Wira Buana SP**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2019, Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Unjuk Kerja *Prototype* Mesin Pendingin Berbasis Termoelektrik dengan *Evaporative Cooling*. Dosen Pembimbing: Dr.Eng Nurkholis Hamidi., ST., M.Eng. dan Dr.Eng. Mega Nur Sasongko ST., MT.

Pada saat ini teknologi mesin pendingin berkembang sangat pesat. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya inovasi yang dilakukan dalam dunia pengkondisian udara. Namun pada saat ini penggunaan mesin pendingin masih banyak menggunakan mesin pendingin siklus kompresi uap yang mana masih menggunakan refrigeran, dimana refrigeran tersebut dampaknya berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu perlu dicari suatu alat pengkondisian udara yang ramah lingkungan, murah, dan hemat biaya. Salah satu inovasinya yakni menggunakan termoelektrik yang dikombinasikan dengan *evaporative cooling*. Termoelektrik adalah alat yang menggunakan prinsip efek peltier yaitu efek termoelektrik karena adanya aliran listrik pada 2 jenis material semikonduktor yang berbeda sehingga menghasilkan sisi dingin dan sisi panas. Serta *evaporative cooling* adalah alat yang digunakan sebagai media untuk menyerap dan menguapkan air sehingga terjadi penurunan temperatur dan peningkatan kelembapan. Penggunaan alat ini sangat cocok untuk wilayah gersang yang memiliki musim panas dan kering, begitu pula untuk penyimpanan buah dan sayuran yang membutuhkan kelembapan tinggi.

Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah laju massa alir udara yang akan dialirkan oleh blower kedalam saluran termoelektrik dan *evaporative cooling* yaitu 0,013 kg/s : 0,016 kg/s : 0,018 kg/s adapun variabel terikatnya adalah COP, penurunan temperatur dan kelembapan relatif udara serta variabel yang dikontrol pada penelitian ini yaitu menggunakan termoelektrik sebanyak 5 buah. Pada penelitian ini menggunakan termoelektrik dengan tipe TEC1-12706 dengan bahan dasar *Bismuth Telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) dan *Antimony Telluride* ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ). yang digunakan untuk proses penyerapan dan pelepasan kalornya. Penggunaan TEC1-12706 ini karena mudah didapatkan di pasaran dan juga murah. Penggunaan TEC dikombinasikan dengan *Evaporative cooling* untuk mendapatkan penurunan temperatur yang lebih signifikan. *Evaporative cooling* yang digunakan terbuat dari jerami padi yang memiliki sifat mudah menyerap air, yang nantinya bantalan dari jerami padi yang menyerap air tersebut akan dilewati oleh udara setelah saluran TEC untuk diuapkan sehingga terjadi penurunan temperatur kembali setelah dari saluran TEC. Pada penelitian ini ingin diketahui pengaruh laju massa alir udara terhadap unjuk kerja dari *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. Unjuk kerja yang ingin ditinjau adalah nilai COP ideal, COP aktual, penurunan temperatur, dan kelembapan udara.

Hasil dari penelitian diperoleh bahwa dengan bertambahnya laju massa alir udara maka COP ideal dan COP aktual juga akan meningkat. Hal ini dapat dilihat pada laju massa alir udara 0,013 kg/s ; 0,016 kg/s ; 0,018 kg/s memiliki COP ideal berturut-turut yaitu 0,575 : 0,644 : 0,717 dan memiliki COP aktual 0,349 : 0,445 : 0,540. Begitupula halnya dengan penurunan temperatur yang semakin meningkat pula, berturut-turut yaitu 3,900 °C : 4,217 °C : 4,417 °C serta peningkatan kelembapan setelah melalui termoelektrik dan *evaporative cooling* dan konstan pada nilai kelembapan maksimum sebesar 99%.

**Kata Kunci:** Mesin Pendingin, Termoelektrik, *Evaporative Cooling*, COP

## SUMMARY

**Wira Buana SP**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, May 2019, *Effect of the rate of air flow mass on the performance of thermoelectric-based cooling machines with evaporative cooling prototypes*. Supervisor: Dr.Eng Nurkholis Hamidi., ST., M.Eng. and Dr.Eng. Mega Nur Sasongko ST., MT.

At present the cooling machine technology is developing very rapidly. This can be seen by the increasing number of innovations carried out in the world of air conditioning. But at this time the use of cooling machines still uses a lot of cooling vapor cycle engine which still uses refrigerants, where the refrigerant has a dangerous impact on the environment. Therefore it is necessary to look for an air conditioning device that is environmentally friendly, inexpensive, and cost effective. One of the innovations is using thermoelectric combined with evaporative cooling. Thermoelectric is a device that uses the principle of the peltier effect, namely the thermoelectric effect because of the flow of electricity in 2 different types of semiconductor materials resulting in cold and hot sides. As well as evaporative cooling is a device that is used as a medium to absorb and evaporate water so that a decrease in temperature and an increase in humidity. The use of this tool is perfect for arid regions that have summer and dry conditions, as well as for storing fruits and vegetables that require high humidity.

In this study the independent variable is the rate of air flow mass that will be flowed by the blower into the thermoelectric channel and evaporative cooling which is 0,013 kg/s : 0,016 kg/s : 0,018 kg/s while the dependent variable is COP, a decrease in temperature and relative humidity and variables which is controlled in this study is using a thermoelectric of 5 pieces. In this study using thermoelectric type TEC1-12706 with the basic ingredients of Bismuth Telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) and Antimony Telluride ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ). which is used for the process of absorption and release of heat. The use of TEC1-12706 is because it is easily available on the market and also cheap. The use of TEC combined with Evaporative cooling to obtain a more significant decrease in temperature. Evaporative cooling that is used is made from rice straw which has an easy to absorb water, which later the padding from rice straw that absorbs the water will be skipped by air after the TEC channel is evaporated so that the temperature drops again after from the TEC channel. In this study, we want to know the influence of the rate of air flow mass on the performance of thermoelectric-based cooling machines and evaporative cooling prototypes. The performance that wants to be reviewed is the ideal COP value, actual COP, decrease in temperature, and air humidity

The results of the study obtained that by increasing the rate of air flow mass, the ideal COP and the actual COP will also increase. This can be seen at the rate of air flow mass of 0,013 kg/s : 0,016 kg/s : 0,018 kg/s has an ideal COP in a row which is 0,575 : 0,644 : 0,717 and has an actual COP of 0,349 : 0,445 : 0,540. Likewise, the case with a decrease in temperature is also increasing, respectively, namely 3,900 °C : 4,217 °C : 4,417 °C and an increase in humidity after thermoelectric and evaporative cooling and constant at a maximum humidity value of 99%.

**Keyword:** Cooling Machine, Thermoelectric, Evaporative Cooling, COP



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



# SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

022/UN10.F07.12.21/PP/2019

Nomor :

Sertifikat ini diberikan kepada :

**WIRA BUANA SP**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH LAJU MASSA ALIR UDARA TERHADAP UNJUK KERJA  
PROTOTYPE MESIN PENDINGIN BERBASIS TERMOELEKTRIK DENGAN  
EVAPORATIVE COOLING**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **28 JUN 2019**

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
**Ir. Djaroef B. Darmadi, MT., Ph.D**  
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT**  
NIP. 19740930 200012 1 001

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang ini, perkembangan dan kemajuan teknologi dibidang permesinan sedang meningkat pesat. Seperti halnya dibidang mesin pendingin atau mesin pengondisian udara yang semakin banyak digunakan di berbagai bidang seperti industri, perkantoran, maupun otomotif. Pastinya semakin banyak inovasi-inovasi yang ditemukan untuk mengembangkan performa dari mesin pendingin tersebut. Mesin pendingin merupakan mesin pengondisian udara yang dapat mengatur temperatur sesuai yang diinginkan.

Pada umumnya mesin pendingin saat ini masih banyak menggunakan prinsip mesin pendingin konvensional dengan siklus kompresi uap dengan menggunakan 4 komponen utama yakni, evaporator, kompresor, kondensor, dan katub ekspansi. Biasanya perawatan untuk mesin pendingin konvensional ini masih cukup sulit serta mahal untuk pembelian refrigeran dan perawatannya.

Pada saat ini penggunaan mesin pendingin masih banyak yang memakai substansi refrigeran. Refrigeran merupakan suatu media pembawa kalor yang dapat diubah bentuknya dari cair menjadi gas maupun sebaliknya dengan cara menyerap dan melepas kalor yang digunakan pada siklus mesin pendingin konvensional. Tetapi, pemakaian refrigeran berbahaya bagi lingkungan dikarenakan zat yang terkandung didalam refrigeran pada umumnya yang terbuat dari zat holokarbon dan hidrokarbon dapat meningkatkan pemanasan bumi (*global warming*) dan dapat merusak lapisan ozon yang akan mengakibatkan terjadinya radiasi ultraviolet yang berbahaya bagi kehidupan manusia (Anwar, 2016). Sehingga penelitian ini tidak menggunakan refrigeran, melainkan menggunakan *thermoelectric cooler* dan *evaporative cooling*.

Pada umumnya *thermoelectric cooler* berfungsi untuk mendinginkan udara yang melewatinya dengan menggunakan prinsip efek Peltier. *Thermoelectric cooler* memanfaatkan efek Peltier tersebut dengan mengalirkan arus dari dua buah pertemuan logam semikonduktor dari bahan *Bismuth Telleuride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) sebagai semikonduktor tipe - p dan *Antimony Telleuride* ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) sebagai semikonduktor tipe - n yang akan menyerap kalor pada salah satu sisi pertemuannya dan terjadi pelepasan kalor pada sisi pertemuan yang lain. Penggunaan *thermoelectric cooler* dan *evaporative cooling* dapat

menghilangkan pengaruh negatif seperti penipisan lapisan ozon dan dapat mengurangi biaya perawatannya.

Pada umumnya *evaporative cooling* merupakan suatu proses pendinginan udara yang melewati suatu permukaan yang basah dengan prinsip menguapkan air dari permukaan basah tersebut sehingga temperatur udara dilingkungan sekitar akan menjadi lebih rendah. *Evaporative cooling* biasanya menggunakan bahan yang memiliki sifat berpori yang mampu menyerap air dan mudah untuk dilewati oleh udara. Penggunaan *thermoelectric cooler* yang dikombinasikan dengan *evaporative cooling* akan berpengaruh pada perubahan temperatur, kelembapan relatif, serta *coefficient of performance* (COP).

Penggunaan mesin pendingin *thermoelectric cooler* dengan *evaporative cooling* sangat berguna pada wilayah yang gersang, serta memiliki musim panas dan kering. Dikarenakan penggunaan mesin pendingin ini selain dapat menurunkan temperatur, alat ini juga dapat meningkatkan kelembapan relatif udara disekitarnya. Begitu pula pada penyimpanan buah dan sayuran yang membutuhkan kelembapan relatif yang cukup tinggi agar tahan dan tidak membusuk. Untuk pengawetan buah dan sayuran kelembapan yang di rekomendasikan pada umumnya 85-95% (Lazzarin, 2012).

Banyak faktor-faktor yang berpengaruh dalam peningkatan unjuk kerja dari *thermoelectric cooler*, sama halnya dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yilmagozlu (2015) yang menyimpulkan bahwa dengan “meningkatkan *fan speed* akan meningkatkan laju perpindahan kalor, juga akan meningkatkan *coefficient of performance* (COP) dari *thermoelectric cooler* tersebut”. Namun pada penelitian tersebut tidak dikombinasikan dengan *evaporative cooling* setelah saluran *thermoelectric cooler* yang dilalui udara. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi salah satu cara untuk mengetahui pengaruh laju massa alir udara terhadap perubahan temperatur, kelembapan relatif, dan *coefficient of performance* (COP) dari *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh laju massa alir udara terhadap *coefficient of performance* (COP) pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*?
2. Bagaimana pengaruh laju massa alir udara terhadap penurunan temperatur dan kelembapan relatif udara pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar masalah masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini lebih terfokus. Maka, penulis membuat beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan TEC1-12706.
2. Pada instalasi penelitian dikondisikan tidak ada terjadi kebocoran.
3. Aliran udara pada sepanjang saluran (*duct*) dalam kondisi *steady state*.
4. Tidak membahas kerugian energi disepanjang aliran.
5. *Evaporative cooling* dikondisikan dalam keadaan basah.
6. Suhu dan kelembapan udara sekitar ruangan dianggap konstan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju massa alir udara terhadap *Coefficient of Performance* (COP), penurunan temperatur, dan kelembapan relatif pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Memberikan solusi dan inovasi kepada masyarakat luas bahwa *thermoelectric cooler* dan *evaporative cooling* dapat digunakan sebagai mesin pengondisian udara yang ramah lingkungan serta dengan harga yang terjangkau.
2. Dapat digunakan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa. Khususnya mahasiswa teknik mesin dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan mesin pendingin.
3. Dapat digunakan sebagai referensi dalam sistem pendinginan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Ada banyak faktor-faktor yang mempengaruhi nilai COP dari mesin pendingin *thermoelectric cooler*. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yilmazoglu (2015), pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa “*thermoelectric cooler* yang digunakan akan mengalami perubahan suhu pada sisi panas maupun sisi dingin. Dengan adanya peningkatan tegangan pada *thermoelectric cooler* maka perbedaan temperatur juga meningkat”. Penambahan tegangan dan kecepatan kipas (*fan speed*) akan berpengaruh terhadap penurunan temperaturnya serta *Coefficient of Performance* (COP) dari *thermoelectric cooler* tersebut.

Berbeda dengan penelitian kali ini yang mengkombinasikan antara *thermoelectric cooler* dengan *evaporatif cooling*. Sedangkan Lin et al (2016), pada penelitian tersebut “*thermoelectric cooler* diaplikasikan lagi sebagai sistem pendinginan udara. Penelitian tersebut mengkombinasikan *thermoelectric cooler* dengan *water-cooler heatsink*, sehingga terjadi penurunan temperatur yang semakin besar”.

Pada penelitian Yusuf (2017), menyimpulkan bahwa “kinerja *heatsink* juga mempengaruhi arus yang bekerja pada peltier. Semakin baik *heatsink* yang digunakan maka arus yang mengalir akan semakin besar”. Dengan demikian semakin baik arus yang mengalir maka kapasitas pendinginan juga akan semakin besar. Sehingga dengan bertambahnya kapasitas pendinginan maka COP nya juga akan meningkat.

### 2.2 Mesin Pendingin

Mesin pendingin adalah salah satu mesin konversi energi yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari *reservoir* dengan temperatur rendah menuju *reservoir* temperatur yang lebih tinggi dengan bantuan kerja dari luar. Dengan kata lain mesin pendingin adalah mesin yang digunakan untuk mendinginkan ruangan.

Menurut siklus kerjanya, mesin pendingin konvensional dibagi menjadi dua, antara lain:

1. Siklus pendingin kompresi uap (*Vapour compression refrigeration cycle*).
2. Siklus pendingin absorpsi (*Absorption refrigeration cycle*).

## 2.3 Termodinamika dan Aplikasi

Termodinamika berasal dari bahasa Yunani yaitu, *thermos* adalah panas dan *dynamic* yang berarti sebuah perubahan. Kajian ilmu termodinamika adalah ilmu yang mempelajari bagaimana merencanakan suatu bentuk perubahan energi atau kalor untuk dapat digunakan dalam dunia teknik khususnya dalam bidang teknik mesin.

Termodinamika banyak digunakan untuk membantu kehidupan sehari-hari. Sama halnya dengan pengaplikasian termodinamika tersebut dalam mesin pendingin atau mesin pengondisian udara. Dalam hal pengondisian udara, sifat-sifat termodinamika sangat dibutuhkan dalam sistem tersebut. Sehingga dapat menentukan acuan kuantitatif dari mesin tersebut. Pada penelitian ini, sifat-sifat termodinamika yang digunakan antara lain ;

### 1. Temperatur

Temperatur atau suhu ( $T$ ) dari sesuatu zat yang menyatakan keadaan termal dan kemampuannya untuk bertukar energi dengan material lain yang saling bersentuhan satu sama lain. Biasanya suatu material yang memiliki temperatur lebih tinggi maka akan memberikan energi kepada material lain yang temperaturnya lebih rendah. Titik acuan bagi skala Celsius pada titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ) dan titik didih air ( $100^{\circ}\text{C}$ ). Sedangkan untuk suhu absolut ( $T$ ) adalah derajat yang diukur di atas suhu nol absolut yang dinyatakan dengan Kelvin ( $K$ ): yaitu  $T = 0^{\circ}\text{C} + 273$  (Stoecker, 1996, p.14).

### 2. Rapat massa dan volume spesifik

Rapat massa atau massa jenis ( $\rho$ ) adalah jumlah massa yang terkandung dalam setiap satu satuan volume. Volume spesifik ( $v$ ) adalah kebalikan dari massa jenis, volume yang terkandung dalam setiap satu satuan massa. Rapat massa atau massa jenis udara pada tekanan 1 atm dengan suhu  $25^{\circ}\text{C}$  mempunyai rapat massa  $1,2 \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$  (Stoecker, 1996, p.15).

### 3. Entalpi

Entalpi ( $h$ ) adalah jumlah kandungan energi panas atau kalor yang dikandung oleh suatu zat per-satuan massa ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ). Perubahan entalpi ( $\Delta h$ ) adalah jumlah kalor yang ditambahkan atau diambil per-satuan massa melalui proses-proses tertentu. Entalpi dapat menyatakan laju perpindahan kalor untuk proses penguapan maupun pengembunan.

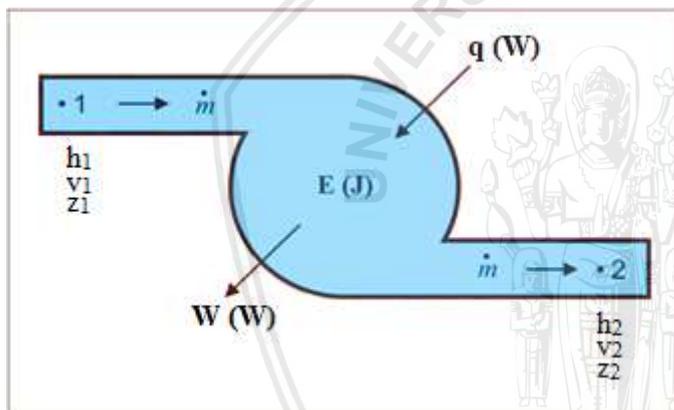
### 4. Kalor spesifik

Kalor spesifik adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu dalam satuan massa sebesar 1K. Dan tiap material pasti memiliki kalor spesifik yang

berbeda. Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap ( $c_v$ ) dan kalor spesifik pada tekanan tetap ( $c_p$ ). Kalor spesifik pada tekanan tetap ( $c_p$ ) merupakan kalor spesifik yang sering digunakan pada proses pemanasan dan refrigerasi (Stoecker, 1996, p.15).

#### 2.4 Persamaan Energi Aliran Mantap (*Steady*)

Dalam sistem pengkondisian udara, laju aliran massa tidak berubah seiring dengan adanya perubahan waktu, dengan demikian laju aliran yang terjadi dapat dianggap mantap (*steady*). Keseimbangan energi dapat dinyatakan, besarnya energi yang masuk bersamaan dengan aliran di titik 1 ditambah dengan besarnya energi berupa kalor yang masuk. Kemudian dikurangi dengan besarnya energi dalam bentuk kerja yang dihasilkan dan dikurangi dengan energi yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi di dalam volume kendali.



Gambar 2.1 Keseimbangan energi pada laju aliran *steady*  
Sumber: Stoecker (1996:20)

Hal tersebut dapat dijelaskan secara matematik seperti pada persamaan 2-1.

$$\dot{m} \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) + q - \dot{m} \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right) - W = \frac{dE}{dt} \quad (2-1)$$

Sumber: Stoecker (1994, p.20)

Keterangan:

$\dot{m}$  = Laju aliran massa ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$h$  = Entalpi ( $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ )

$V$  = Kecepatan ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

$z$  = Ketinggian (m)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$q$  = Laju aliran energi dalam bentuk kalor (W)

$W$  = Laju aliran energi dalam bentuk kerja ( $\frac{J}{s}$ )

$E$  = Energi dalam sistem (J)

Dengan demikian pada aliran *steady* tidak ada perubahan laju aliran massa pada sistem, maka laju aliran masuk pada titik 1 sama dengan laju aliran massa keluar pada titik 2 dengan demikian tidak ada perubahan energi sistem terhadap waktu sehingga  $\frac{dE}{dt} = 0$ , dan persamaan energi aliran mantap menjadi seperti pada persamaan 2-2:

$$\dot{m} \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) + q = \dot{m} \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right) + W \quad (2-2)$$

Sumber: Stoecker (1994, p.21)

Keterangan:

$\dot{m}$  = Laju aliran massa ( $\frac{kg}{s}$ )

$h$  = Entalpi ( $\frac{J}{kg}$ )

$V$  = Kecepatan ( $\frac{m}{s}$ )

$z$  = Ketinggian (m)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \frac{m}{s^2}$ )

$q$  = Laju aliran energi dalam bentuk kalor (W)

$W$  = Laju aliran energi dalam bentuk kerja ( $\frac{J}{s}$ )

## 2.5 Laju Massa Alir

Laju massa alir adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu. Laju massa alir juga disebut fluks massa atau arus massa dimana dalam satuan internasional (SI) satuannya adalah kilogram per sekon dan simbol yang digunakan adalah ( $\dot{m}$ ).

Menghitung laju massa alir dapat digunakan untuk mengetahui massa suatu aliran yang mengalir tiap detiknya yang biasanya dipengaruhi oleh kecepatan aliran, jenis aliran, dan besar kecilnya penampang yang dialiri fluida tersebut. Untuk mengetahui laju massa alir suatu fluida dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut.

$$\dot{m} = \frac{A \cdot V}{V_d} \quad (2-3)$$

Sumber : Sahid (2017, p.6)

Keterangan :

$\dot{m}$  = Laju massa alir ( $\frac{kg}{s}$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

$V$  = Kecepatan aliran fluida ( $\frac{m}{s}$ )

$V_d$  = Volume jenis ( $\frac{m^3}{kg}$ )

## 2.6 Psikometri

Psikometri merupakan kajian ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air, yang mempunyai peranan penting di dalam bidang teknologi pengkondisian udara. Udara pada atmosfer tidak seluruhnya kering, namun merupakan campuran antara udara dan uap air. Pada beberapa proses pengkondisian udara kadang uap air sengaja dikurangi kandungannya didalam udara namun sebagian lagi terkadang di tambahkan. Psikometri memiliki peranan penting dalam sistem refrigerasi dan sistem pengkondisian udara. Dalam psikometri ada beberapa istilah dan simbol antara lain:

### 1. Temperatur Bola Kering (*Dry Bulb Temperature*)

Temperatur bola kering adalah temperatur udara yang diukur menggunakan termometer yang terkena udara bebas namun harus terjaga dari radiasi sinar matahari maupun embun. Temperatur bola kering juga sering disebut sebagai temperatur udara sebenarnya.

### 2. Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperature*)

Temperatur bola basah adalah temperatur yang diukur bila udara didinginkan pada tekanan konstan sampai jenuh (100% kelembaban). Termometer bola basah aktual menggambarkan suatu temperatur yang mendekati temperatur bola basah yang sebenarnya (termodinamik). Pada saat kondisi udara dalam keadaan tidak jenuh, temperatur bola basah lebih rendah dibandingkan dengan temperatur bola kering, namun bila udara dalam kondisi jenuh sempurna, suhu bola basah akan sama dengan suhu bola kering. Dikarenakan tidak ada terjadi proses penguapan dari air yang terkandung didalam kain basah.

### 3. Kelembapan Relatif ( $\phi$ )

Kelembapan relatif ( $\phi$ ) biasanya dinyatakan dalam persen, merupakan perbandingan antara tekanan parsial aktual yang diterima uap air pada suatu volume udara tertentu dengan tekanan jenuh dari air tersebut pada saat suhu yang sama. Kelembapan relatif ( $\phi$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} = \frac{p_s}{p_w} \quad (2-4)$$

Sumber: Stoecker (1994, p.40)

Keterangan:

$\phi$  = Kelembaban relatif (%)

$p_s$  = Tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

$p_w$  = Tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama (Pa)

#### 4. Rasio Kelembaban (*Humidity Ratio*)

Rasio kelembaban ( $W$ ) merupakan massa uap air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Pada sistem pengkondisian udara, untuk mengetahui rasio kelembaban dapat digunakan persamaan gas ideal. Maka persamaan rasio kelembaban dapat dinyatakan dengan rumus seperti pada persamaan 2-5:

$$W = \frac{\text{kg}_{\text{uap air}}}{\text{kg}_{\text{udara kering}}} = \frac{p_s R_s T}{p_a R_a T} = \frac{\frac{p_s}{R_s}}{\frac{(p_t - p_s)}{R_a}} \quad (2-5)$$

Sumber: Stoecker (1994, p.41)

Keterangan:

$W$  = rasio kelembaban  $\left( \frac{\text{kg}_{\text{uap air}}}{\text{kg}_{\text{udara kering}}} \right)$

$V$  = volume sembarang campuran udara-uap ( $\text{m}^3$ )

$p_t$  = tekanan atmosfer =  $p_a + p_s$  (Pa)

$p_a$  = tekanan parsial udara kering (Pa)

$R_a$  = tetapan gas untuk udara kering  $\left( 287 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \right)$

$R_s$  = tetapan gas untuk uap-air  $\left( 461,5 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \right)$

$I$  = suhu absolut campuran udara-uap (K)

$P_s$  = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

Kemudian nilai  $R_a$  dan  $R_s$  didistribusikan ke dalam persamaan (2-5), maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$W = \left( \frac{287}{461,5} \right) \frac{p_s}{p_t - p_s} = 0,622 \frac{p_s}{p_t - p_s} \quad (2-6)$$

Sumber: Stoecker (1994, p.41)

Keterangan :

$W$  = rasio kelembaban  $\left( \frac{\text{kg}_{\text{uap air}}}{\text{kg}_{\text{udara kering}}} \right)$

$p_t$  = tekanan atmosfer =  $p_a + p_s$  (Pa)

$P_s$  = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

### 5. Volume Spesifik (*Specific Volume*)

Volume spesifik merupakan volume udara campuran dengan satuan meter kubik per setiap kilogram udara kering. Dengan kata lain sebagai meter kubik campuran perkilogram dari udara keringnya. Dikarenakan volumenya diisi dengan substansi yang sama.

### 6. Titik Embun (*Dew Point*)

Titik embun adalah temperatur dimana campuran uap-gas menjadi jenuh ketika didinginkan pada tekanan total konstan tanpa kontak dengan cairan. Ketika udara ruang mengalami saturasi (jenuh) maka besarnya temperatur bola kering sama dengan temperatur bola basah demikian pula suhu pengembunannya.

## 2.7 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah ilmu yang mempelajari suatu laju perpindahan panas atau kalor dari media bertemperatur tinggi ke media bertemperatur lebih rendah yang biasa disebut sumber dan penerima. Perpindahan kalor diklasifikasikan menjadi 3 macam, antara lain: konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.7.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi melalui material padat atau *solid* tanpa diikuti dengan perpindahan partikel-partikel dari material tersebut. Besarnya nilai perpindahan kalor secara konduksi didapat dengan rumus seperti pada persamaan 2-7.

$$Q = k \cdot A \cdot \left(-\frac{dt}{dx}\right) \quad (2-7)$$

Sumber: Cengel (2009, p.65)

Keterangan:

Q = Energi Kalor (W)

k = Koefisien perpindahan kalor konduksi ( $\frac{W}{m.K}$ )

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

$\frac{dt}{dx}$  = Gradien temperatur ( $\frac{K}{m}$ )

### 2.7.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui aliran yang zat perantara atau partikel-partikelnya ikut berpindah. Jika partikel berpindah akan mengakibatkan kalor merambat, maka terjadilah konveksi. Konveksi biasanya terjadi pada zat cair atau gas.

Konveksi bebas merupakan perpindahan kalor yang terjadi karena perbedaan massa jenis dari fluida itu sendiri. Sedangkan konveksi paksa merupakan perpindahan panas yang terjadi dikarenakan adanya pengaruh gaya dari luar untuk menggerakkan fluida, misalnya dengan penambahan *blower* atau kipas.

Perpindahan kalor secara konveksi di rumuskan seperti pada persamaan 2-8.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2-8)$$

Sumber: Cengel (2009, p.335)

Keterangan:

Q = Energi Kalor (W)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ )

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

$T_s$  = Temperatur permukaan (K)

$T_\infty$  = Temperatur ambient (K)

### 2.7.3 Perpindahan Kalor Radiasi

Berbeda dengan perpindahan konduksi dan konveksi yang menggunakan media untuk mentransfer kalornya. Sedangkan perpindahan kalor radiasi merupakan perpindahan kalor yang terjadi tanpa zat perantara atau media. Radiasi biasanya disertai dengan cahaya. Energi ditransfer melalui foton dalam gelombang elektromagnetik.

Perpindahan kalor radiasi dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = \sigma \cdot e \cdot A \cdot T^4 \quad (2-9)$$

Sumber: Cengel (2009, p.565)

Keterangan:

Q = Laju perpindahan radiasi (W)

$\sigma$  = Koefisien emisivitas

e = Konstanta Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,672 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ )

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

T = Temperatur permukaan (K)

## 2.8 Thermoelectric

Termoelektrik (*thermoelectric*) adalah suatu fenomena konversi dari perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin atau pemanas. Jika terdapat perbedaan temperatur antar sisi yang satu dengan

yang lainnya, maka akan timbul tegangan listrik searah yang keluar dari modul tersebut. Sebaliknya, jika tegangan listrik searah diberikan ke modul tersebut. Sisi yang dingin dapat digunakan sebagai pendingin dan sisi yang panas dapat digunakan sebagai pemanas.

Tegangan termoelektrik terinduksi yang ditimbulkan dalam suatu rangkaian yang terdiri dari dua material semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe – n dan semikonduktor tipe – p. Semikonduktor tipe – n adalah jenis semikonduktor dengan atom-atom tambahan yang di tambahkan ke lattice (kristal latis) yang mempunyai kelebihan 1 elektron dari yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan ikatan valensi. Jadi material mempunyai elektron negatif ekstra di dalam *lattice*. Semikonduktor tipe – p adalah jenis semikonduktor dengan atom-atom tambahan yang kekurangan 1 elektron untuk ditambahkan ke *lattice* agar memenuhi kebutuhan ikatan valensi. Hal ini menimbulkan *hole* (lubang) positif terhadap *lattice*, *thermoelectric cooler* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Thermoelectric  
Sumber: Priyambada (2012)

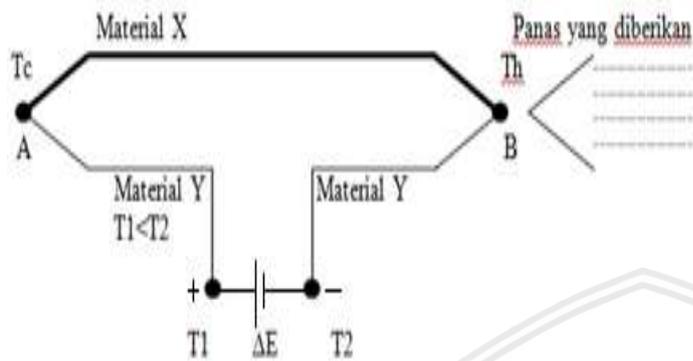
## 2.9 Efek Pada Termoelektrik

Pada rangkaian termoelektrik terdapat tiga macam gaya gerak listrik (ggl, *emf*= *electromotive force*), yaitu ggl Seebeck, yang disebabkan oleh perbedaan temperatur dua material logam yang berbeda, ggl Peltier yang disebabkan arus yang mengalir di dalam rangkaian, serta ggl Thomson yang disebabkan oleh adanya gradien temperatur pada material.

### 2.9.1 Efek Seebeck

Konduktor pada termokopel merupakan dua material berbeda ditunjukkan sebagai material X dan material Y. Dalam penerapan pengukuran temperatur, termokopel A digunakan sebagai referensi dan dijaga pada suatu temperatur dingin relatif ( $T_c$ ). Termokopel B digunakan untuk mengukur titik yang ingin diketahui temperaturnya ( $T_h$ ),

yang dalam contoh ini, lebih tinggi dari temperatur  $T_c$ . Dengan kalor yang diaplikasikan pada termokopel B, tegangan akan mengalir melewati terminal  $T_1$  dan  $T_2$ . Tegangan ini ( $V_0$ ), yang dikenal sebagai ggl Seebeck, dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3 serta dinyatakan seperti pada persamaan 2-10.



Gambar 2.3 Efek Seebeck  
Sumber: Habibi (2017,p.16)

$$V_0 = \alpha_{XY} \cdot (T_H - T_C) \quad (2-10)$$

Sumber: Habibi (2017, p.16)

Keterangan:

$V_0$  = Tegangan *output power supply* (Volt)

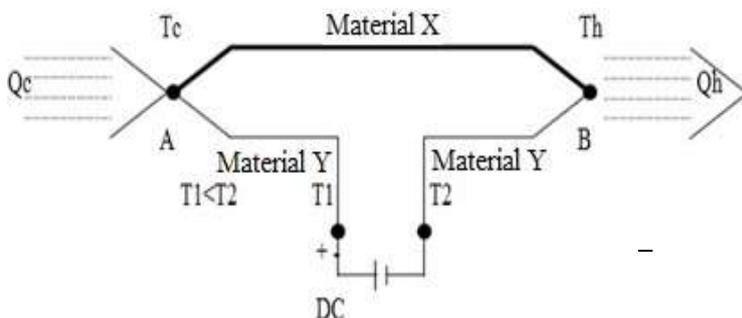
$\alpha_{XY}$  = Koefisien Seebeck antara dua material, X dan Y ( $\frac{\text{Volt}}{\text{K}}$ )

$T_H$  = Temperatur termokopel panas (K)

$T_C$  = Temperatur termokopel dingin (K)

### 2.9.2 Efek Peltier

Jika rangkaian termokopel tersebut dimodifikasi untuk memperoleh konfigurasi sebagaimana terlihat pada Gambar 2.4, maka akan diperoleh suatu fenomena sebaliknya yang dikenal dengan efek Peltier. Dari gambar tersebut maka dapat dikatakan bahwa dari perbedaan tegangan, akan menghasilkan perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan sehingga nantinya ada sambungan yang menyerap kalor dan ada sambungan yang melepaskan kalor.



Gambar 2.4 Efek Peltier  
Sumber: Habibi (2017, p.17)

Dari jumlah aliran arus yang diberikan ke rangkaian, maka dapat diketahui jumlah kalor yang diserap maupun yang dilepaskan pada kedua sambungan yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$Q_C = Q_H = \pi_{XY} \times I_{XY} \quad (2-11)$$

Sumber: Habibi (2017, p.17)

Keterangan:

$\pi_{XY}$  = Koefisien Peltier antara dua material, X dan Y (Volt).

I = Arus listrik yang mengalir (A)

$Q_C, Q_H$  = Tingkat pendinginan atau pemanasan (W)

### 2.9.3 Efek Thomson

Ketika suatu arus listrik dilewatkan melalui suatu konduktor yang memiliki kalor hanya akan diserap oleh konduktor atau dilepaskan dari konduktor (hanya salah satu, diserap atau dilepas, tidak keduanya. Kalor diserap atau dilepaskan tergantung pada arah arus listrik dan temperatur. Sedangkan nilai kalor yang dilepas atau diserap tersebut untuk setiap satuan panjangnya adalah :

$$Q_T = \tau \times I \times \frac{dT}{dx} \quad (2-12)$$

Sumber: Habibi (2017, p.17)

Keterangan:

$Q_\tau$  = Kalor yang diserap atau dilepaskan persatuan panjang  $\left(\frac{W}{m}\right)$

$\tau$  = Koefisien Thomson  $\left(\frac{\text{Volt}}{\text{K}}\right)$

I = Arus listrik yang mengalir (A)

T = Temperatur (K)

x = panjang konduktor (m)

## 2.10 Heat Sink

*Heatsink* merupakan alat yang berfungsi untuk membantu mengoptimalkan proses penyerapan dan pelepasan kalor dari dan ke lingkungan. Ada dua bagian *heatsink* yang digunakan pada termoelektrik antara lain:

1. *Coldsink* pada sisi dingin.
2. *Hotsink* pada sisi panas.

## 2.11 Evaporative Cooling

Pendinginan *evaporative* didasarkan pada fenomena fisik, dimana penguapan cairan (biasanya air) ke udara sekitar yang mendinginkan suatu fluida yang bersentuhan dengannya. Saat cairan berubah menjadi gas, perubahan fasa menyerap panas. Secara teknis, ini disebut "panas laten penguapan". Air adalah pendingin yang sangat baik karena berlimpah, tidak beracun, dan mudah menguap di sebagian besar iklim. Enam galon (22,7 L) air menguap memiliki efek pendinginan yang sama dengan AC sentral rumah (3,5 ton-jam). *Evaporative cooling* menyerap udara luar yang melintasi bantalan (jerami padi) basah. Ketika udara melewati jerami padi basah, air di jerami akan menguap yang mendinginkan udara sekitar. Jika udara luar kering, *evaporative cooling* akan memberikan udara dingin segar. Proses ini juga dapat meningkatkan kelembapan udara. *Evaporative cooling* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5.

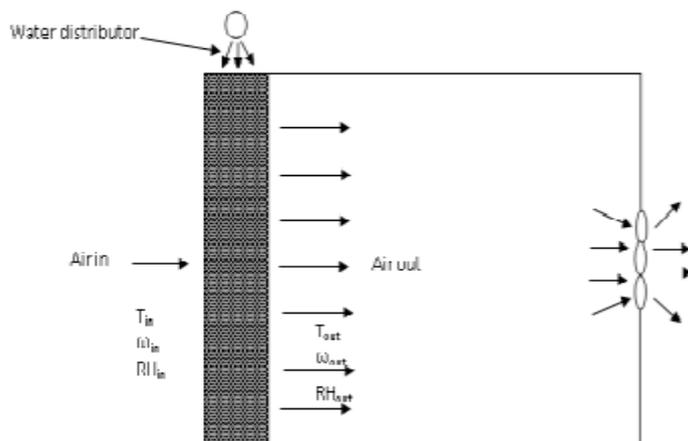
Ada dua prinsip *evaporative cooling* antara lain:

1. Evaporatif langsung (*Direct Evaporative Cooling*)

Pendinginan evaporatif langsung yakni proses memasukkan uap air langsung ke aliran udara (biasanya dengan semprot atau semacam media dibasahi). Saat air menyerap panas dari udara, ia menguap dan mendinginkan udara.

2. Evaporatif Tidak Langsung (*Indirect Evaporative Cooling*)

Pendinginan evaporatif tidak langsung yaitu proses menurunkan suhu udara melalui beberapa jenis penukar panas, di mana aliran udara sekunder didinginkan oleh air yang pada gilirannya mendinginkan aliran udara primer. Udara dingin tidak pernah bersentuhan langsung dengan air atau lingkungan. Pendinginan ini tidak menambah kelembapan udara.



Gambar 2.5 Evaporative cooling  
Sumber: Khater (2014)

## 2.12 Coefficient of Performance (COP) Termoelektrik dan Evaporative Cooling

Pada dasarnya perhitungan *coefficient of performance* (COP) dari termoelektrik secara ideal didapat dari efek-efek yang ada pada termoelektrik tersebut. Pada termoelektrik, jika terdapat perbedaan suhu atau temperatur antar dua sambungan konduktor, maka dihasilkan tegangan listrik atau yang dikenal dengan efek Seebeck, secara umum dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2-13.

$$\alpha = \frac{V_{\max}}{T_H} \quad (2-13)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.52)

Keterangan:

$\alpha$  = Koefisien seebeck  $\left(\frac{V}{K}\right)$

V = Tegangan (Volt)

$T_H$  = Temperatur pada sisi panas (K)

Dengan keadaan sebaliknya, dua buah semikonduktor berbeda dialiri arus listrik maka menghasilkan perbedaan temperatur, yakni yang dikenal dengan efek Peltier, dapat dirumuskan seperti persamaan 2-14.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot I \cdot T_C \quad (2-14)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}$  = Kalor yang diserap atau dibuang tergantung sambungan (W)

$\alpha$  = Koefisien seebeck  $\left(\frac{V}{K}\right)$

I = Arus mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)

$T_C$  = Temperatur pada sambungan dingin (K)

Adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi termoelektrik. Maka akan terjadi perpindahan kalor. Dalam hal ini perpindahan kalor secara konduksi sangat dominan. Sehingga perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi pada sisi dingin dan sisi panas termoelektrik ditiadakan. Maka persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\dot{Q} = U \cdot \Delta T \quad (2-15)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}$  = Kalor konduksi (W)

$U$  = Konduktivitas panas  $\left(\frac{W}{K}\right)$

$\Delta T$  = Beda temperatur antara dua sambungan (K)

Pada saat termoelektrik dialiri arus listrik, maka akan menghasilkan kalor. Fenomena ini yang dikenal dengan efek Joulen. Maka efek Joulen tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\dot{Q} = I^2 \cdot R \quad (2-16)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}$  = Kalor yang dihasilkan dari listrik (W)

$I$  = Arus listrik (A)

$R$  = Hambatan listrik (Ohm)

Pada satu sisi dingin atau panas dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_H = \frac{I^2 \cdot R}{2} \quad (2-17)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}_C$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$\dot{Q}_H$  = Kalor yang dilepaskan di sisi panas (W)

$I$  = Arus listrik (A)

$R$  = Hambatan listrik (Ohm)

Perhitungan besarnya kalor yang diserap (sisi dingin) dan kalor yang lepaskan (sisi panas). Oleh karena itu semua energi panas (termal) yang telah disebutkan harus ikut diperhitungkan. Maka persamaan kesetimbangan energi pada penyerapan kalor disisi dingin dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\dot{Q}_c = (\alpha \cdot I \cdot T_c) - (U \cdot \Delta T) - \left( \frac{I^2 \cdot R}{2} \right) \quad (2-18)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W).

$\alpha$  = Koefisien Seebeck ( $\frac{V}{K}$ )

I = Arus mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)

$T_c$  = Temperatur pada sambungan baik panas maupun dingin (K)

U = Konduktivitas panas ( $\frac{V}{K}$ )

$\Delta T$  = Beda temperatur antara dua sambungan (K)

R = Hambatan listrik (Ohm)

Pada sisi panas, energi kalor yang dilepaskan dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_h = (\alpha \cdot I \cdot T_H) - (U \cdot \Delta T) + \left( \frac{I^2 \cdot R}{2} \right) \quad (2-19)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$\dot{Q}_h$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$\alpha$  = Koefisien seebeck ( $\frac{V}{K}$ )

I = Arus yang mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)

$T_H$  = Temperatur pada sambungan panas (K)

U = Konduktivitas panas ( $\frac{V}{K}$ )

$\Delta T$  = Beda temperatur antara dua sambungan (K)

R = Hambatan listrik (Ohm).

Nilai *Coefficient of Performance* (COP) ideal dari sistem pendingin termoelektrik yaitu perbandingan antara kalor yang diserap oleh sisi dingin dengan daya *input*. COP ideal termoelektrik dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$COP_{Ideal\ TEC} = \frac{\dot{Q}_c}{P} \quad (2-20)$$

Sumber: Yilmazoglu (2015, p.53)

Keterangan:

$COP_{Ideal\ TEC}$  = *Coefficient of performance* ideal dari termoelektrik

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

P = Daya *input* (W)

Sedangkan untuk mencari nilai besarnya kalor aktual dari sistem pendingin termoelektrik yang terdapat pada aliran sepanjang *duct*. Dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2-21)$$

Sumber: Cengel (2015, p.608)

Keterangan:

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan keluar (K)

Lalu, untuk mengetahui nilai performa *Coefficient of Performance* (COP) aktual dari sistem pendingin termoelektrik dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{aktual TEC}} = \frac{\dot{Q}_c}{P} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{P} \quad (2-22)$$

Sumber: Cengel (2015, p.608)

Keterangan:

$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}}$  = *Coefficient of performance* aktual dari termoelektrik

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$P$  = Daya *input* (W)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K).

Kemudian untuk mengetahui nilai *coefficient of performance* (COP) Ideal dari *evaporative cooling* yakni dengan membandingkan antara kapasitas pendinginan dengan daya *input* nya, dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{Ideal EC}} = \frac{\dot{Q}_c}{P} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{P} \quad (2-23)$$

Sumber: Cengel (2015, p.608)

Keterangan:

$\text{COP}_{\text{Ideal EC}}$  = *Coefficient of performance* ideal dari *evaporative cooling*.

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$P$  = Daya input (W)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K)

Kemudian untuk mencari *Coefficient of Performance* (COP) aktual dari *evaporative cooling* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{Aktual EC}} = \frac{\dot{Q}_c}{P} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{P} \quad (2-24)$$

Sumber: Cengel (2015, p.608)

Keterangan:

$\text{COP}_{\text{Aktual EC}}$  = *Coefficient of performance* aktual dari *evaporative cooling*.

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$P$  = Daya input (W)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K)

Maka, untuk mencari nilai *Coefficient of Performance* (COP) ideal dari mesin pendingin kombinasi tersebut. Diperoleh dengan menjumlahkan *Coefficient of Performance* (COP) ideal dari termoelektrik dan *evaporative cooling*. Dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{Ideal}} = \frac{\dot{Q}_c}{P} = \frac{(\alpha \cdot I \cdot T_c) - (0,5 I^2 \cdot R) - (U \cdot \Delta T_{\text{TEC}}) + \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{EC}}}{P} \quad (2-25)$$

Sumber: Cengel 2015, p.608)

Keterangan :

$\text{COP}_{\text{Ideal}}$  = *Coefficient of performance* ideal mesin pendingin.

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

$P$  = Daya input (W)

$\alpha$  = Koefisien seebeck ( $\frac{\text{V}}{\text{K}}$ )

$I$  = Arus mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)

$T_c$  = Temperatur pada sambungan dingin (K)

$R$  = Hambatan listrik (Ohm)

$U$  = Konduktivitas panas ( $\frac{\text{W}}{\text{K}}$ )

$\Delta T_{\text{TEC}}$  = Beda temperatur antara dua sambungan (K)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T_{\text{EC}}$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K)

Sedangkan untuk mencari *coefficient of performance* (COP) aktual dari mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = \frac{\dot{Q}_c}{P} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{P} \quad (2-26)$$

Sumber : Cengel (2015, p.608)

Keterangan:

$\text{COP}_{\text{Aktual EC}}$  = *Coefficient of performance* aktual mesin pendingin

$\dot{Q}_c$  = Kalor yang diserap di sisi dingin (W)

P = Daya input (W)

$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K)

### 2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dibahas sebelumnya penggunaan *thermoelectric cooler* dan *evaporative cooling* menyebabkan penurunan temperatur pada sisi dinginnya. Sehingga mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling* dapat dijadikan sebagai pengganti mesin pendingin konvensional pada umumnya. Selain itu, laju massa alir udara juga mempengaruhi seberapa besar kalor yang dapat diserap dari udara sekitar terhadap sisi dingin. Perpindahan kalor yang terjadi antara udara dengan sisi dingin akan meningkat seiring dengan bertambahnya laju massa alir aliran udara. Sehingga nilai penurunan temperatur, kelembapan relatif dan *coefficient of performance* (COP) akan berbanding lurus dengan laju massa alir udara.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan gabungan dua metode penelitian, yakni metode literatur dan metode eksperimental (*experimental research*). Metode literatur adalah metode yang digunakan untuk mencoba menelaah dan mengumpulkan data-data serta sumber-sumber yang terdahulu yang berguna untuk mendukung penelitian tersebut. Metode penelitian eksperimental (*experimental research*) adalah metode yang digunakan dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mendapatkan data-data empiris dari penelitian yang terkait.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di dalam Laboratorium Mesin Pendingin, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-April.

### **3.3 Variabel-Variabel Penelitian**

Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besar nilainya dapat ditentukan serta dapat diubah-ubah oleh peneliti sebelum penelitian dilaksanakan. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah laju massa alir udara yaitu, 0,013 kg/s ; 0,016 kg/s ; 0,018 kg/s dan data diambil setiap 10 menit dalam waktu satu jam setiap variasi tersebut.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variabel*)

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya dipengaruhi oleh variabel yang lain yang sudah ditentukan serta dapat diperoleh setelah dilaksanakannya penelitian. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini antara lain:

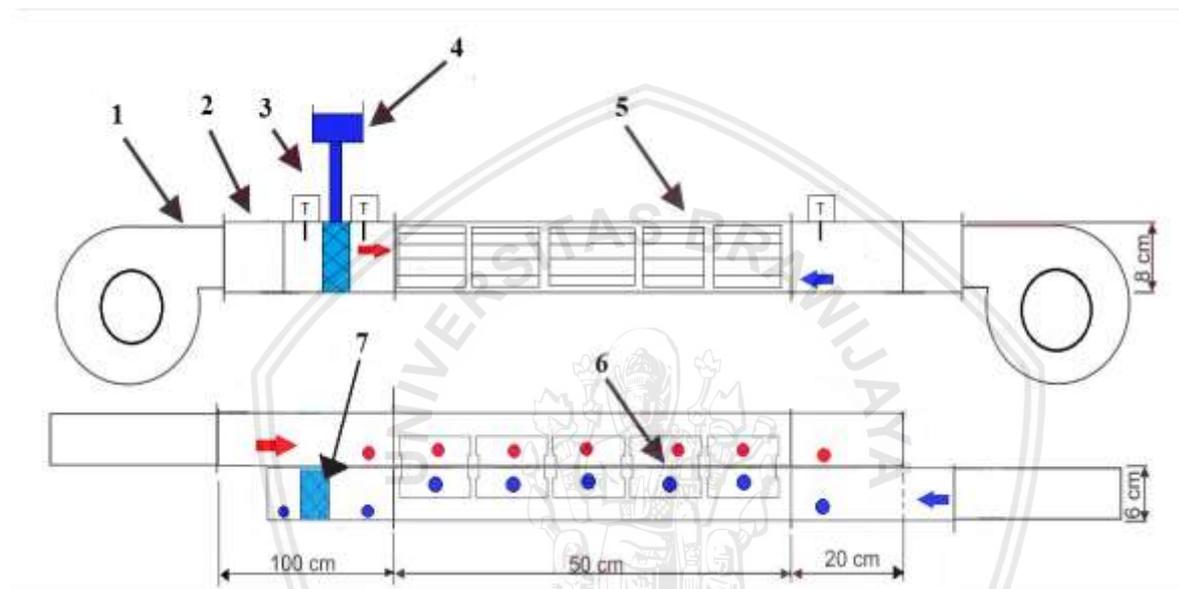
- *Coeffisient of Performance* (COP)
- Penurunan temperatur
- Kelembapan Relatif ( $\phi$ )

### 3. Variabel Terkontrol (*Control Variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang besar nilainya sudah ditentukan sebelum dilaksanakannya penelitian serta dikondisikan dalam keadaan konstan (terkontrol). Pada penelitian ini variabel kontrol adalah jumlah *thermoelectric cooler* yang digunakan sebanyak 5 buah.

### 3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Instalasi penelitian

Keterangan Gambar 3.1:

1. *Blower*
2. *Saluran (Duct)*
3. *Hygrometer dan Termometer Digital*
4. *Cooling tower*
5. *Heatsink*
6. *Thermoelectric cooler*
7. *Evaporative cooling*

Deskripsi dari instalasi penelitian, yakni;

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa instalasi *prototype* mesin pendingin menggunakan *power input* dari *power supply* dengan arus DC dengan *output* bertegangan 24 volt serta dengan arus listrik sebesar 4,5 *Ampere*. *Power supply* ini digunakan untuk menggerakkan dua *blower* yang dipasang secara paralel dengan daya 45 W dengan tegangan masuk 6-24 V. Untuk mengatur seberapa besar kecepatan aliran udara yang akan masuk kedalam

saluran (*duct*) digunakan anemometer dan potensiometer untuk mengatur tegangan yang digunakan oleh *blower* tersebut. *Blower* disambungkan dengan saluran udara *streamline* dengan bahan akrelik dengan tebal 2 mm yang berukuran 100 cm x 8 cm x 6 cm. saluran *streamline* tersebut dihubungkan dengan saluran *heatsink* yang mengapit *thermoelectric cooler* yang berukuran 50 cm x 8 cm x 6 cm. Pada saluran *heatsink* terdapat 10 buah *heatsink* dengan sirip berjumlah 15 serta ukurannya 90 cm x 72 cm x 37 cm. Setiap *thermoelectric cooler* dipasang 2 *heatsink* yang mengapitnya. Selama proses bekerja *thermoelectric cooler* akan mengalami efek peltier.

Untuk mengatur laju massa alir udara diperoleh dengan mengatur kecepatan udara yang dialirkan oleh *blower* dimana kecepatan udara tersebut diukur dengan menggunakan anemometer yang memiliki luas penampang 0,00113 m<sup>2</sup>. Kecepatan udara yang dialirkan oleh *blower* yaitu 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s sehingga dari kecepatan udara yang mengalir pada luas penampang tersebut diperoleh laju massa alir udara yang mengalir sebesar 0,013 kg/s : 0,016 kg/s : 0,018 kg/s.

*Thermoelectric cooler* memiliki spesifikasi dengan type TEC-12706, Tegangan 12 V, arus listrik 4 A dan berukuran 40 cm x 40 cm x 3,9 cm dan memperoleh daya dari *power supply* DC dengan output sebesar 12 V dan arus listrik 30 A. *Thermoelectric cooler* ini diapit oleh dua buah *heatsink* pada sisi dingin dan sisi panas yang akan membantu proses penyerapan dan pelepasan kalor pada saat bekerja.

*Evaporative cooling* yang digunakan terbuat dari bahan jerami padi dengan ukuran 3 cm x 8 cm x 6 cm dengan berat 4,6 gram. Jerami padi diposisikan pada saluran keluar setelah saluran yang berisi *heatsink* yang mengapit *thermoelectric cooler*. Jerami padi ditetesi air sebagai *coolant*, lalu jerami padi akan menyerap air tersebut. Kemudian jerami padi akan dilewati oleh udara setelah melewati saluran *heatsink*. Udara yang dialirkan oleh *blower* akan membawa kalor yang mana kalor tersebut akan digunakan untuk menguapkan air pada bantalan jerami padi basah tersebut. Dimana ketika terjadi penguapan air oleh udara yang melewati *evaporative cooling* tersebut maka terjadi penurunan temperatur.

Udara dan uap air dari lingkungan yang bertukar kalor pada sisi dingin dan sisi panas serta melalui *evaporative cooling* akan keluar melalui saluran keluar dengan ukuran 20 cm x 8 cm x 6 cm. Setiap *heatsink* yang mengapit *thermoelectric cooler* dipasang termometer digital untuk mengetahui temperatur pada *thermoelectric cooler* tersebut. Selain itu, dipasang *hygrometer* dan termometer digital pada saluran sebelum dan sesudah melewati *heatsink* serta melewati *evaporatif cooling* untuk mengukur perubahan temperatur dan kelembapan relatif udara baik sisi panas maupun sisi dingin.

### 3.5 Alat-alat Penelitian

#### 3.5.1 Mesin Pendingin Berbasis *Thermoelectric Cooler* dan *Evaporative Cooling*

##### 1. *Thermoelectric Cooler*

*Thermoelectric cooler* pada Gambar 3.2 berfungsi untuk proses penyerapan kalor dari sisi dingin yang mengalir ke sisi panas. Dengan kata lain alat utama yang digunakan pada proses pendingin pada penelitian ini. *Thermoelectric cooler* yang digunakan memiliki Spesifikasi:

Tipe	: TEC-12706
Jenis	: <i>Thermoelectric cooler</i>
Arus	: 6 A
Tegangan	: 12 V
Jumlah pasang kaki	: 127
Dimensi	: 40 mm x 40 mm x 3,9 mm
Material	: - <i>Antimony Telluride</i> ( $Sb_2Te_3$ ) sebagai tipe -n - <i>Bismuth Telluride</i> ( $Bi_2Te_3$ ) sebagai tipe -p



Gambar 3.2 *Thermoelectric cooler*

##### 2. *Heatsink*

*Heatsink* pada Gambar 3.3 berfungsi untuk membantu mengoptimalkan proses penyerapan dan pelepasan kalor dari dan ke lingkungan. *Heatsink* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tipe	: CPU <i>Heatsink</i>
Brand	: INTEL
Model	: A80856-003
Material	: Aluminium (Al)
Jumlah Sirip	: 15
Dimensi	: 90 mm x 72 mm x 37 mm



Gambar 3.3 Heatsink

### 3. Power Supply

*Power supply* pada Gambar 3.4 adalah alat yang berfungsi untuk mengubah arus listrik AC ke listrik DC dengan tegangan tertentu. Dalam penelitian ini menggunakan dua *power supply*, *power supply* pertama digunakan untuk menggerakkan *blower* dan *power supply* yang kedua untuk *thermoelectric cooler*. Pada penelitian ini menggunakan *power supply* dengan spesifikasi sebagai berikut.

#### *Power Supply I*

*Brand* : MEAN WELL

*Tipe* : S-100-24

*Input* : 115 VAC 1,9 A  
230 VAC 0,8 A  
50/60 Hz

*Output* : +24 V 4,5 A

#### *Power Supply II*

*Brand* : Osmond

*Ac Input* : 200-240 V Max 4 A 50-60 Hz

*Dc Output* : 12 V 30 A



Gambar 3.4 Power supply

#### 4. Control Panel

*Control Panel* berfungsi sebagai pusat untuk mengontrol *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*, Dapat dilihat seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Control panel

#### 5. Blower

*Blower* pada Gambar 3.6 berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan kedalam saluran (*duct*). Pada penelitian ini *blower* yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tipe	: G1G133-DE19-15
Brand	: ebm
Made in	: Germany
Daya	: 45 W
Tegangan	: 6-24 W
Dimensi	: 177 mm x 172 mm x 80 mm
Putaran	: Max 2000 RPM



Gambar 3.6 Blower

#### 6. Ruang Penyekat ( duct )

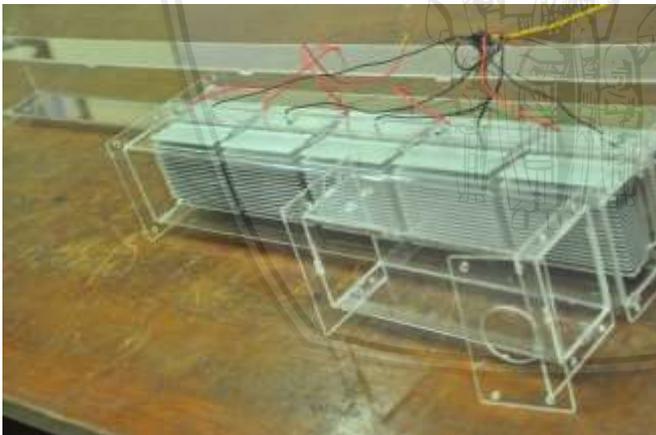
*Duct* seperti pada Gambar 3.7 berfungsi sebagai tempat mengalirnya udara dari lingkungan yang dibutuhkan untuk pendinginan. *Duct* ini dibuat dari bahan akrilik dengan tebal 2 mm. Pada penelitian ini *duct* memiliki dimensi sebagai berikut.

Saluran *streamline* : 100 cm x 8 cm x 6 cm.

Tempat *Heatsink* : 50 cm x 8 cm x 6 cm.

Saluran Keluar : 20 cm x 8 cm x 6 cm.

*Oriface* : Diameter 3,8 cm



Gambar 3.7 Ruang penyekat (*Duct*)

#### 7. Jerami Padi

Jerami padi sebagai media *evaporative cooling* yang digunakan untuk menyerap air yang kemudian akan dilewati udara. Jerami padi yang digunakan berukuran 3 cm x 8 cm x 6 cm serta memiliki berat 4,6 gram. Jerami padi pada umumnya tersusun dari serat selulosa dan hemiselulosa yang mampu menyerap air dengan baik,. Dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Jerami padi

### 3.5.2 Alat Ukur

#### 1. Termometer Digital

Termometer digital merupakan alat yang digunakan untuk mengukur temperatur pada permukaan *heatsink*, dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Termometer digital

#### 2. Hygrometer dan Termometer Digital

*Hygrometer* dan termometer digital digunakan untuk mengukur temperatur pada saluran (*duct*) serta mengukur besarnya nilai kelembapan relatifnya dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Hygrometer dan termometer digital

### 3. AVO Meter

AVO meter digunakan untuk mengukur tegangan pada *power supply* agar sesuai dengan tegangan yang diinginkan serta mengukur arus listrik yang mengalir pada *thermoelectric cooler*, dapat dilihat seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 AVO meter

### 4. Anemometer

*Anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang mengalir pada saat pengambilan data, dapat dilihat seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Anemometer

### 5. Stopwatch

*Stopwatch* berfungsi untuk menghitung waktu pada saat dilakukannya pengambilan data. Dapat dilihat seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Stopwatch

### 3.6 Langkah-Langkah Penelitian

#### 1. Persiapan

Seluruh alat ukur dan instalasi *prototype* dipasang untuk melakukan percobaan dan pengambilan data.

#### 2. Mengoperasikan Instalasi:

- a. Saklar induk *prototype* dipasang pada posisi nyala (*on*)
- b. *Blower* diatur agar ada aliran udara melalui *heatsink*, agar sesuai dengan data yang ingin didapatkan.
- c. Seluruh *thermoelectric cooler* dinyalakan. Instalasi dibiarkan beroperasi selama kurang lebih 10 menit.

#### 3. Pengambilan Data

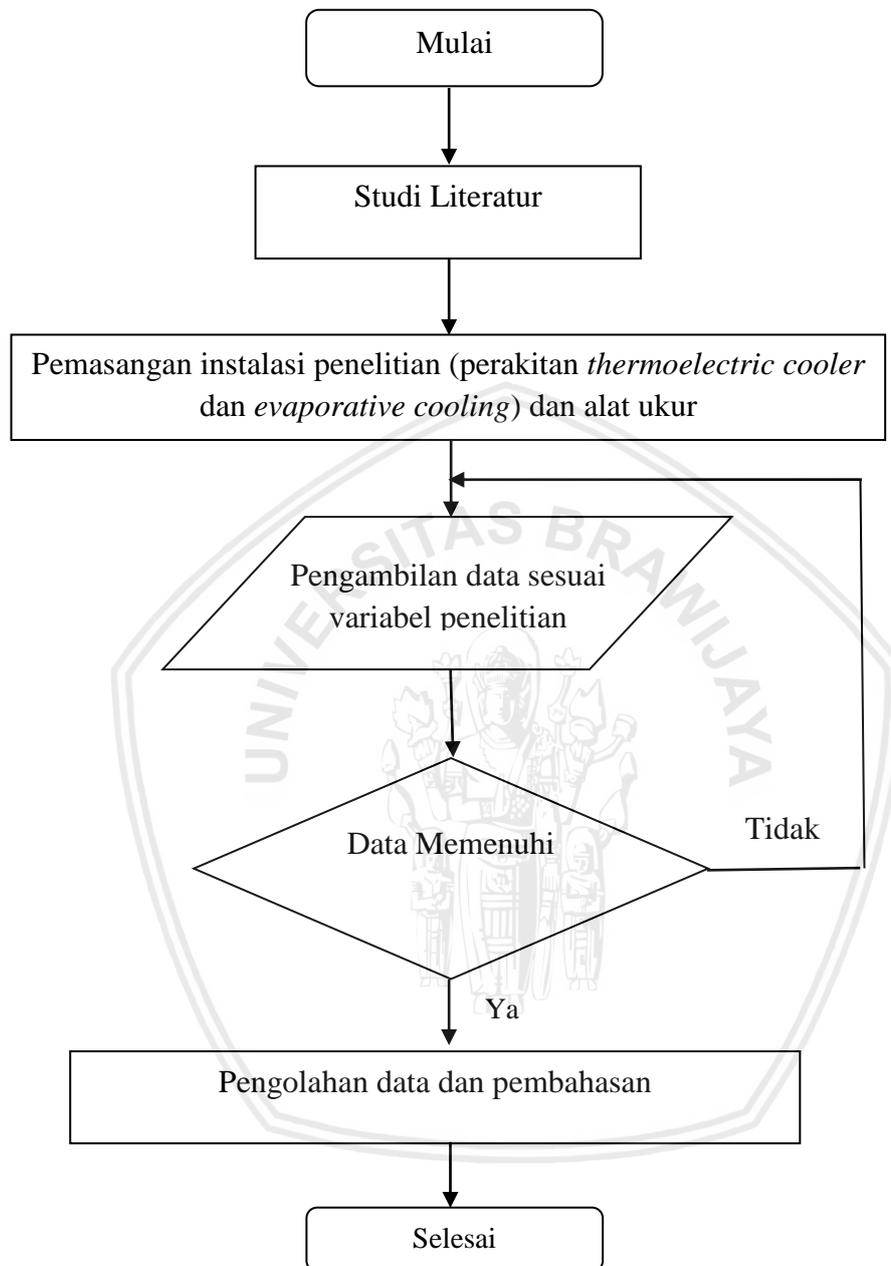
Pengambilan data dilakukan dengan variasi yang sudah ditentukan yakni dengan laju massa alir 0.013 kg/s ; 0.016 kg/s ; 0.018 kg/s. Data yang diambil adalah temperatur udara yang melewati *thermoelectric cooler* serta temperatur udara sebelum dan sesudah saluran *thermoelectric cooler* dan *evaporative cooling*, data diambil sebanyak enam kali pengambilan data dalam selang waktu 10 menit.

#### 4. Menghentikan Pengoperasian pada Instalasi

- a. Matikan seluruh saklar *thermoelectric cooler*
- b. *Blower* dikondisikan posisinya sampai mati
- c. Matikan saklar induknya.

### 3.7 Diagram Alur Penelitian

Gambar 3.14 merupakan diagram alir dalam penelitian yang dilakukan.



Gambar 3.14 Diagram alir penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

#### 4.1.1 Data Hasil Penelitian

(Terlampir)

#### 4.1.2 Perhitungan Data

Perhitungan data yang digunakan untuk mencari besar nilai dari *coefficient of performance* (COP) pada mesin pendingin termoelektrik dan *evaporative cooling* yang penelitiannya dilakukan pada tanggal 3 April 2019 pukul 22.00, yaitu menggunakan salah satu data TEC nomor 1 yang menggunakan laju massa alir 0,013 kg/s. Dengan data-data:

Temperatur pada sisi dingin TEC	$T_C = 301,1 \text{ K}$
Temperatur pada sisi panas TEC	$T_H = 345,1 \text{ K}$
Arus listrik TEC	$I = 2 \text{ A}$
Beda tegangan TEC	$V = 12 \text{ V}$
$\Delta T_{\text{max}}$ Modul Termoelektrik	$\Delta T_{\text{max}} = 75 \text{ K}$
Temperatur udara kering sisi masuk dingin	$TD_{c1} = 301,2 \text{ K}$
Temperatur udara basah sisi masuk dingin	$TW_{c1} = 296,06 \text{ K}$
Temperatur udara kering setelah melewati TEC sisi dingin	$TD_{c2} = 298,5 \text{ K}$
Temperatur udara basah setelah melewati TEC sisi dingin	$TW_{c2} = 296,8 \text{ K}$
Temperatur udara kering setelah melewati EC sisi dingin	$TD_{c3} = 297,3 \text{ K}$
Temperatur udara basah setelah melewati EC sisi dingin	$TW_{c3} = 297,17 \text{ K}$
Kecepatan udara didalam saluran ( <i>duct</i> )	$v = 10 \text{ m/s}$
Luas permukaan <i>oriface</i>	$A = 0,00113 \text{ m}^2$
Volume spesisik	$V_d = 0,875 \text{ m}^3/\text{kg}$
Laju massa alir udara didalam saluran ( <i>duct</i> )	$\dot{m} = 0.013 \text{ kg/s}$
Kalor spesifik udara	$C_p = 1.006 \text{ kJ/kg.K}$
Kelembapan udara sekitar ruangan	$\phi = 75\%$
Tekanan atmosfer saat pengambilan data	$P = 101.603 \text{ kPa}$

Proses Perhitungan:

1. Perhitungan mencari *coefficient of performance* (COP) Ideal

- Beda temperatur ( $\Delta T$ )

$$\Delta T = T_H - T_C$$

$$\Delta T = 345,1 - 301,1$$

$$\Delta T = 44 \text{ K}$$

- Nilai konduktansi termal (U)

$$U = \frac{(T_h - \Delta T_{\max}) \cdot V_{\max} \cdot I_{\max}}{2 T_h \cdot \Delta T_{\max}}$$

$$U = \frac{(345,1 - 75) \cdot 12 \cdot 2}{2 \cdot 345,1 \cdot 75}$$

$$U = 0,1252 \text{ W/K}$$

- Nilai koefisien Seebeck ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{V_{\max}}{T_h}$$

$$\alpha = \frac{12}{345,1}$$

$$\alpha = 0,0347 \text{ V/K}$$

- Nilai hambatan termoelektrik ( $R_M$ )

$$R_M = \frac{(T_h - \Delta T_{\max}) \cdot V_{\max}}{T_h \cdot I_{\max}}$$

$$R_M = \frac{(345,1 - 75) \cdot 12}{345,1 \cdot 2}$$

$$R_M = 4,696 \text{ ohm}$$

- Nilai efek Peltier ( $Q_{\text{Peltier}}$ )

$$Q_{\text{Peltier}} = \alpha \cdot T_c \cdot I$$

$$Q_{\text{Peltier}} = 0,0347 \cdot 301,1 \cdot 2$$

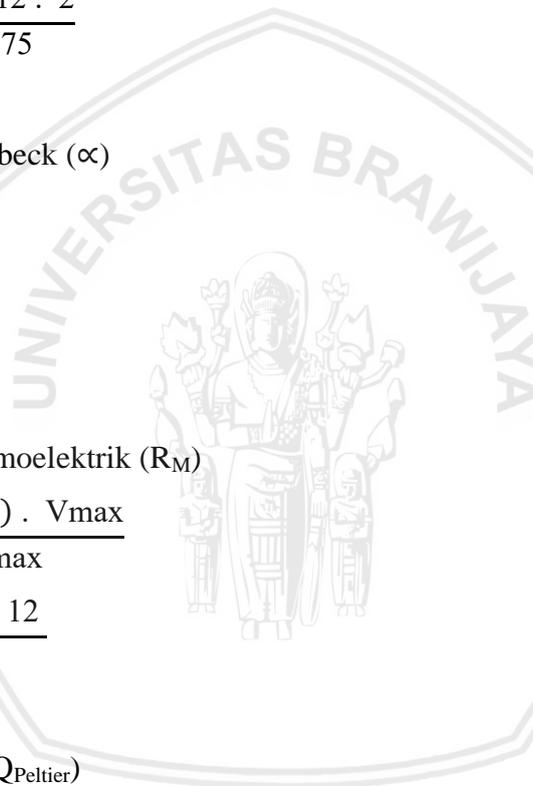
$$Q_{\text{Peltier}} = 20,940 \text{ W}$$

- Nilai efek konduksi ( $Q_{\text{konduksi}}$ )

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_M$$

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot 1,467$$

$$Q_{\text{konduksi}} = 2,935 \text{ W}$$



- Nilai efek Joulen ( $Q_{\text{joulen}}$ )

$$Q_{\text{joulen}} = U \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{joulen}} = 0,1252 \cdot 44$$

$$Q_{\text{joulen}} = 5,51 \text{ W}$$

- Kapasitas Pendinginan ( $Q_c$ )

$$Q_c = Q_{\text{Peltier}} - Q_{\text{konduksi}} - Q_{\text{joulen}}$$

$$Q_c = 20,94 - 9,392 - 5,51$$

$$Q_c = 6,038 \text{ W}$$

- Daya *Input* ( $P$ )

$$P = \alpha \cdot I \cdot (T_H - T_C) + I^2 \cdot R$$

$$P = 0,0347 \cdot 2 \cdot (345,1 - 301,1) + 2^2 \cdot 4,696$$

$$P = 21,844 \text{ W}$$

- *Coefficient of Performance* (COP) ideal termoelektrik

$$\text{COP}_{\text{Ideal TEC}} = \frac{Q_c}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Ideal TEC}} = \frac{6,038}{21,844}$$

$$\text{COP}_{\text{Ideal TEC}} = 0,276$$

- Laju massa alir udara

$$\dot{m} = \frac{A \cdot V}{V_d}$$

$$\dot{m} = \frac{0,00113 \cdot 10}{0,875}$$

$$\dot{m} = 0,013 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- *Coefficient of performance* (COP) ideal *Evaporative cooling*

$$\text{COP}_{\text{Ideal EC}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{\text{Dc}} - T_{\text{wc}})}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Ideal EC}} = \frac{0,013 \cdot 1.006 \cdot (298,5 - 296,8)}{128,26}$$

$$\text{COP}_{\text{Ideal EC}} = 0,173$$

- Maka didapat *coefficient of performance* (COP) ideal mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*.

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = \text{COP}_{\text{ideal TEC}} + \text{COP}_{\text{ideal EC}}$$

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = 0,276 + 0,173$$

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = 0,449$$

## 2. Perhitungan *coefficient of performance* (COP) aktual

- Nilai daya *input* aktual (P)

$$P = V \cdot I$$

$$P = 12 \cdot 12,2$$

$$P = 146,4$$

- *Coefficient of performance* (COP) aktual Termoelektrik

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{Q_c}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{TEC}}}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{0,013 \cdot 1.006 \cdot (301,2 - 298,5)}{146,4}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = 0,242$$

- *Coefficient of performance* (COP) aktual *Evaporative cooling*

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{Q_c}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{EC}}}{P}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = \frac{0,013 \cdot 1.006 \cdot (298,5 - 297,3)}{146,4}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual TEC}} = 0,107$$

- Maka didapat nilai *coefficient of performance* (COP) aktual dari mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = \text{COP}_{\text{Aktual TEC}} + \text{COP}_{\text{Aktual EC}}$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = 0,242 + 0,107$$

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = 0,349$$

### 4.1.3 Hasil Perhitungan

Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 merupakan data hasil perhitungan yang telah dilakukan setelah pengambilan dan pengolahan data dilakukan.

Tabel 4.1

#### Hasil COP Ideal

Waktu (Menit)	COP Ideal		
	0,013 kg/s	0,016 kg/s	0,018 kg/s
10	0,573	0,646	0,716
20	0,575	0,654	0,719
30	0,575	0,643	0,719
40	0,575	0,640	0,717
50	0,576	0,643	0,717
60	0,576	0,640	0,717
Rata-rata	0,575	0,644	0,717

Tabel 4.2

#### Hasil COP Aktual

Waktu (Menit)	COP Aktual		
	0,013 kg/s	0,016 kg/s	0,018 kg/s
10	0,349	0,413	0,525
20	0,358	0,433	0,538
30	0,348	0,454	0,526
40	0,340	0,465	0,562
50	0,349	0,463	0,550
60	0,349	0,442	0,538
Rata-rata	0,349	0,445	0,540

Tabel 4.3

#### Hasil Penurunan Temperatur

Waktu (Menit)	Penurunan Temperatur ( $\Delta T$ )		
	0,013 kg/s	0,016 kg/s	0,018 kg/s
10	3,9	3,9	4,3
20	4,0	4,1	4,4
30	3,9	4,3	4,3
40	3,8	4,4	4,6
50	3,9	4,4	4,5
60	3,9	4,2	4,4
Rata-rata	3,900	4,217	4,417

Tabel 4.4

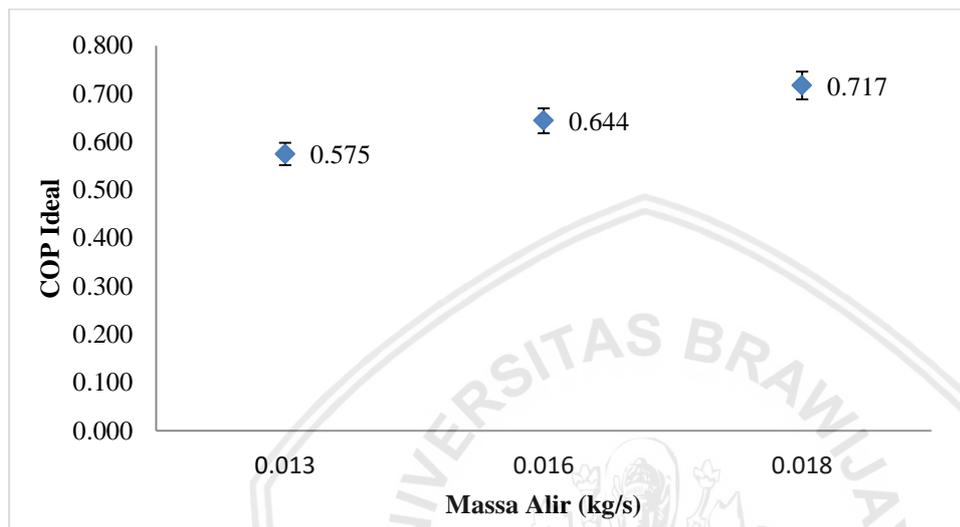
#### Hasil Kelembapan

Waktu (Menit)	Kelembapan (%)		
	0,013 kg/s	0,016 kg/s	0,018 kg/s
10	99,00	99,00	99,00
20	99,00	99,00	99,00
30	99,00	99,00	99,00
40	99,00	99,00	99,00
50	99,00	99,00	99,00
60	99,00	99,00	99,00
Rata-rata	99,00	99,00	99,00

## 4.2 Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan variasi laju massa alir udara yaitu 0,013 kg/s; 0,016 kg/s; 0,018 kg/s. Perlakuan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh terhadap *coefficient of performance* (COP), Penurunan temperatur dan Kelembapan Relatif.

### 4.2.1 Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan COP Ideal



Gambar 4.1 Hubungan antara laju massa alir dengan COP ideal

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara laju massa alir dengan COP ideal pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. COP ideal diperoleh dari termoelektrik akibat adanya berbagai efek yang ada pada prinsip termoelektrik tersebut. COP ideal pada termoelektrik didapatkan dengan mengurangi antara kalor peltier dengan kalor konduksi dan kalor joulen, serta dijumlahkan dengan COP ideal *evaporative cooling* yang diperoleh dengan mengalirkan massa alir udara dengan panas spesifik udara serta beda temperatur bola kering dan temperatur bola basah. Hal tersebut dapat dilihat seperti pada persamaan sebagai berikut.

$$\text{COP}_{\text{Ideal}} = \frac{(\alpha \cdot I \cdot T_c) - (0,5 I^2 \cdot R) - (U \cdot \Delta T_{\text{TEC}}) + m_i \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{EC}}}{P} \quad (4-1)$$

Keterangan:

$\text{COP}_{\text{Ideal}}$  = *Coefficient of performance* ideal mesin pendingin.

$\alpha$  = Koefisien seebeck  $\left(\frac{V}{K}\right)$

$I$  = Arus listrik (A)

$T_c$  = Temperatur pada sambungan dingin (K)

$R$  = Hambatan listrik (Ohm)

$U$  = Konduktivitas panas  $\left(\frac{W}{K}\right)$

$\Delta T_{TEC}$  = Beda temperatur antara dua sambungan (K)

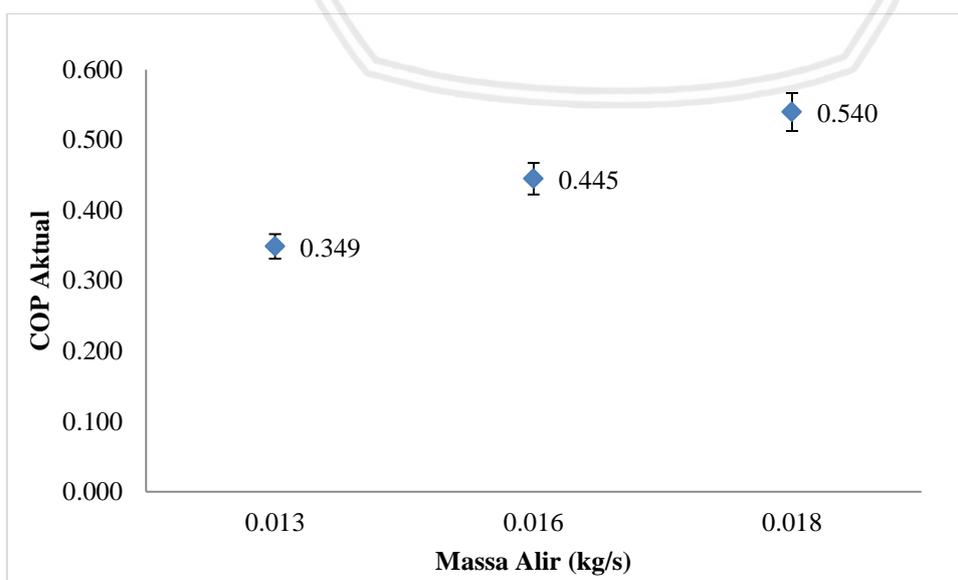
$\dot{m}$  = Massa alir ( $\frac{kg}{s}$ )

$C_p$  = Kalor spesifik udara ( $\frac{kJ}{kg.K}$ )

$\Delta T_{EC}$  = Perbedaan temperatur udara masuk dengan udara keluar (K)

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai COP ideal rata-rata tertinggi berada pada variasi laju massa alir udara 0,018 kg/s dengan COP ideal sebesar 0,717, kemudian dibawahnya diikuti dengan laju massa alir udara 0,016 kg/s dengan COP ideal sebesar 0,644. Lalu COP ideal terendah pada laju massa alir udara 0,013 kg/s dengan COP ideal sebesar 0,575. Grafik pada Gambar 4.1 menjelaskan bahwa semakin bertambahnya laju massa alir udara yang dialirkan melalui saluran (*duct*) maka akan semakin meningkat pula COP idealnya. Peningkatan tersebut dikarenakan bahwa dengan bertambahnya massa alir udara yang dialirkan pada luas penampang yang sama maka akan semakin meningkat pula kecepatan fluida tersebut. Sehingga akan meningkatkan laju perpindahan kalornya. Dengan meningkatnya laju perpindahan kalor maka kalor yang di serap pada sisi dingin akan meningkat pula. Sehingga terjadi penurunan beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik yang akan berpengaruh pada COP yang akan semakin meningkat. Begitu juga halnya dengan *evaporative cooling* maka akan semakin banyak kalor yang diserap untuk menguapkan air pada bantalan basah tersebut. maka akan meningkatkan kapasitas pendinginannya. Sehingga COP nya juga akan meningkat.

#### 4.2.2 Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan COP Aktual

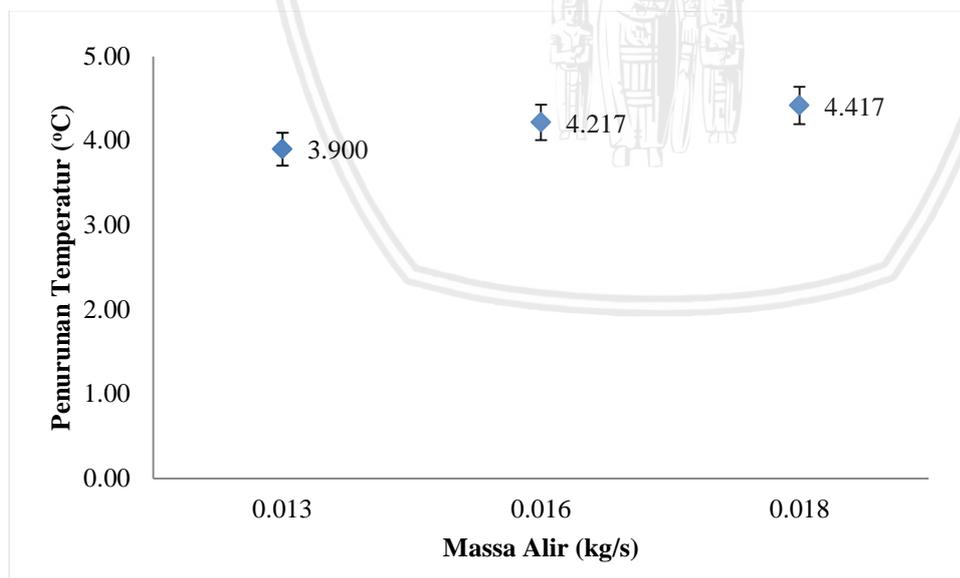


Gambar 4.2 Hubungan antara laju massa alir dengan COP aktual

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara laju massa alir udara terhadap COP aktual pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. COP aktual didapat dari perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya *input* nya. Dimana kapasitas pendinginan didapat dengan pengalihan antara laju massa alir udara dengan kalor spesifik udara tersebut serta beda temperatur masuk dan keluar.

Dapat dilihat bahwa nilai COP aktual rata-rata terbesar berada pada variasi laju massa alir 0,018 kg/s dengan COP aktual sebesar 0,540. Kemudian dibawahnya berada pada variasi laju massa alir 0,016 kg/s dengan COP aktual sebesar 0,445. Lalu COP aktual terendah berada pada laju massa alir 0,013 kg/s dengan COP aktual sebesar 0,349. Grafik pada Gambar 4.2 menjelaskan bahwa semakin bertambahnya laju massa alir udara yang dialirkan pada saluran (*duct*) maka akan semakin meningkat pula COP aktualnya. Peningkatan ini dikarenakan bahwa dengan meningkatnya laju massa alir udara yang dialirkan, maka akan semakin banyak kalor yang mampu diserap pada sisi dingin. Sehingga terjadi peningkatan kapasitas pendinginan pada termoelektrik dan *evaporative cooling*. Dengan meningkatnya kapasitas pendinginan maka akan meningkatkan COP aktual nya.

#### 4.2.3 Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan Penurunan Temperatur



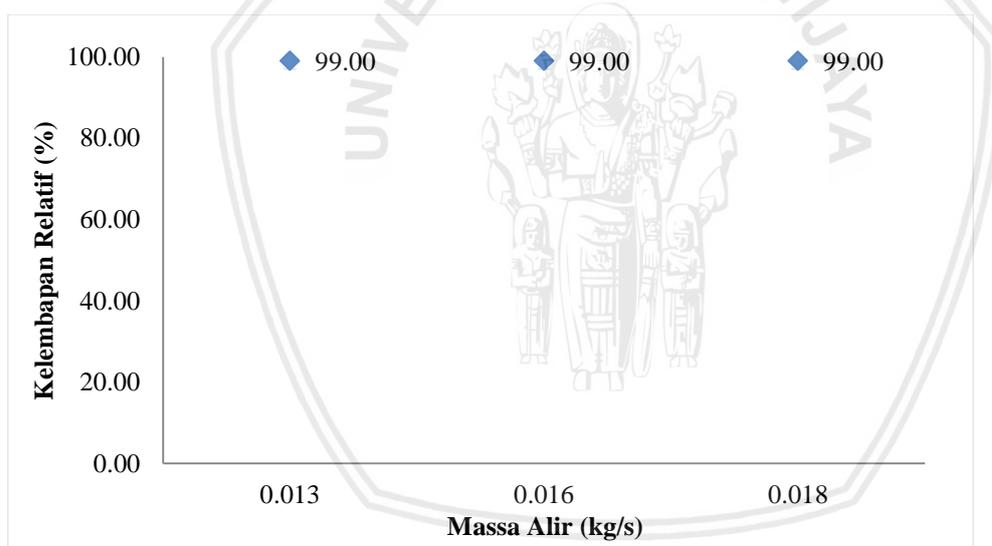
Gambar 4.3 Hubungan antara laju massa alir dengan penurunan temperatur

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara laju massa alir udara dengan penurunan temperatur pada *prototype* mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. Penurunan temperatur tersebut didapatkan dari pengurangan antara temperatur

masuk dengan temperatur keluar dari saluran. Dimana variasi laju massa alir udara yaitu 0,013 kg/s : 0,016 kg/s : 0,018 kg/s.

Dapat dilihat bahwa penurunan temperatur tertinggi berada pada laju massa alir 0,018 kg/s dengan penurunan temperatur sebesar 4,417 °C . Kemudian dibawahnya berada pada laju massa alir 0,016 kg/s dengan penurunan temperatur sebesar 4,217 °C. Lalu penurunan temperatur terendah berada pada laju massa alir 0,013 kg/s dengan penurunan temperatur sebesar 3,900 °C. Grafik pada Gambar 4.3 menjelaskan bahwa dengan bertambahnya laju massa alir udara maka penurunan temperatur udara akan semakin meningkat pula. Dengan meningkatnya laju massa alir udara maka kalor yang akan dibawa akan meningkat, sehingga akan semakin banyak energi kalor yang mampu diserap oleh termoelektrik dan *evaporative cooling* pada sisi dingin. Dengan meningkatnya kalor yang diserap oleh termoelektrik dan *evaporative cooling* maka penurunan temperatur akan lebih besar.

#### 4.2.4 Hubungan Antara Laju Massa Alir dengan Kelembapan Relatif

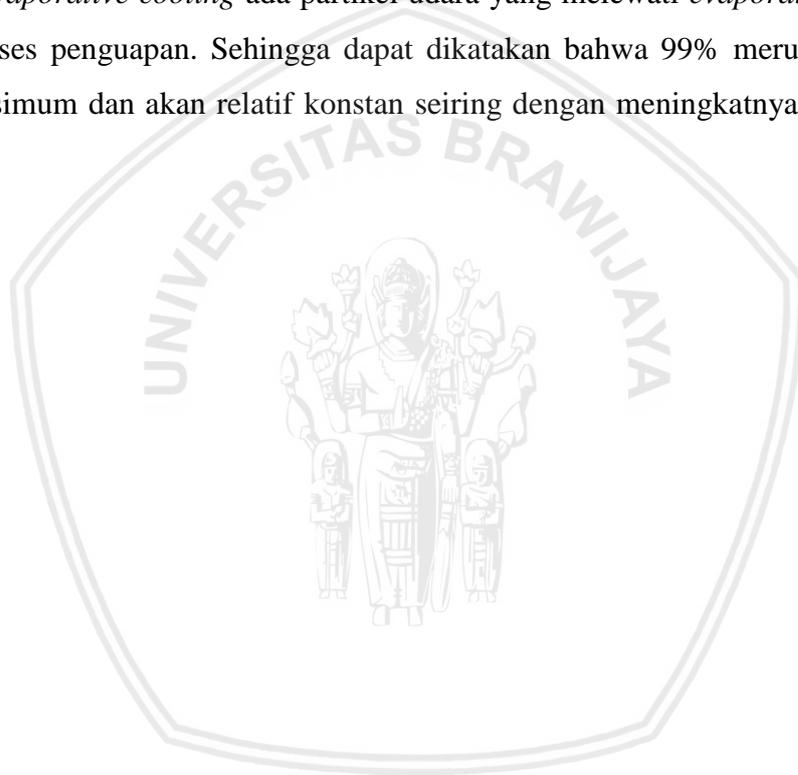


Gambar 4.4 Hubungan antara laju massa alir dengan kelembapan relatif

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara laju massa alir dengan kelembapan relatif udara pada *prototype* mesin pendingin berbasis termolektrik dan *evaporative cooling*. Kelembapan relatif adalah banyaknya kandungan atom uap air yang terdapat didalam campuran atom-atom udara dalam fase gas. Dimana variasi laju massa alir yang divariasikan yakni 0,013 kg/s: 0,016 kg/s dan 0,018 kg/s.

Dapat dilihat bahwa nilai kelembapan dengan variasi laju massa alir 0,013 kg/s: 0,016 kg/s: 0,018 kg/s memiliki nilai kelembapan relatif konstan yaitu sebesar 99%. Dari grafik pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya laju massa alir udara, kelembapan tidak berpengaruh signifikan. Hal ini disebabkan karena kelembapan udara

disekitar ruangan memiliki nilai kelembapan yang tinggi dimana terdapat kandungan uap air yang tinggi pada udara sebelum melalui termoelektrik dan *evaporative cooling*. Sehingga kelembapan udara setelah melewati termoelektrik dan *evaporative cooling* menjadi lebih tinggi lagi dan konstan pada nilai kelembapan 99 %. Dimana pada dasarnya ketika laju massa alir meningkat maka kelembapan relatif udara juga akan meningkat dikarenakan semakin banyak kalor yang dapat digunakan untuk menguapkan air pada *evaporative cooling*. Namun ketika nilai kelembapannya sudah mencapai nilai maksimum maka kelembapannya akan relatif konstan sehingga konstan pada nilai 99%. Secara ideal kelembapan dapat mencapai 100% namun hal itu tidak dapat terjadi, dikarenakan ketika udara melewati *evaporative cooling* ada partikel udara yang melewati *evaporative cooling* tanpa adanya proses penguapan. Sehingga dapat dikatakan bahwa 99% merupakan nilai kelembapan maksimum dan akan relatif konstan seiring dengan meningkatnya laju massa alir udara.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Laju Massa Alir Udara Terhadap Unjuk Kerja *Prototype* Mesin Pendingin Berbasis Termoelektrik dan *Evaporative Cooling*” dapat disimpulkan bahwa:

1. Bertambahnya laju massa alir udara yang mengalir pada saluran (*duct*) akan meningkatkan COP ideal maupun COP aktual dari mesin pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. Hal ini dapat dilihat pada laju massa alir udara 0,013 kg/s; 0,016 kg/s; 0,018 kg/s. memiliki COP ideal berurut-turut 0.575; 0.644; 0.717 serta COP aktual yaitu 0,349; 0,445; 0,540.
2. Bertambahnya laju massa alir udara pada saluran (*duct*) maka dapat meningkatkan penurunan temperatur udara. Hal ini dapat dilihat pada laju massa alir 0,013 kg/s ; 0,016 kg/s; 0,018 kg/s. memiliki penurunan temperatur berturut-turut yakni 3,900 °C; 4,217°C; 4,417°C. Bertambahnya laju massa alir pada saluran (*duct*) tidak berpengaruh signifikan pada perbedaan kelembapan relatif pada sistem pendingin berbasis termoelektrik dan *evaporative cooling*. Dikarenakan bahwa kelembapan relatif udara dilingkungan sekitar tinggi sehingga kelembapan udara keluarnya akan semakin tinggi dan mencapai nilai maksimum yakni relatif konstan diangka 99%.

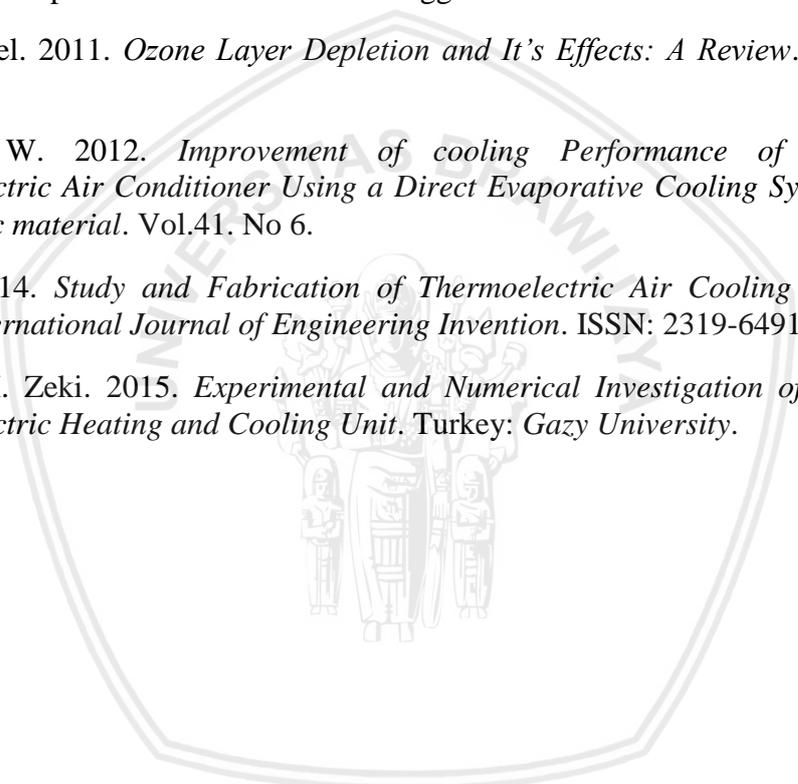
### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, peneliti memberi saran agar penelitian selanjutnya perlu memperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Pada penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan agar meneliti dengan *evaporative cooling* diposisikan pada bagian saluran sebelum saluran TEC.
2. Pada penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan agar memperhitungkan panas yang terbuang dari sisi panas untuk dimanfaatkan kembali.
3. Pada penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan agar lebih teliti dalam pemeriksaan kebocoran saluran (*duct*) harus dilakukan sebelum melakukan pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amer.O. 2015. *A Review of Evaporative Cooling Technologies. International Journal of Environmental Science and Development*.Vol 6. No 2.
- Badra Abdurahman. 2015. *Pemanfaatan Jerami Padi Sebagai Pembuatan Papan*. Bogor: *Bogor Agricultur University*.
- Cengel, Yunus A. 2009. *Heat Transfer Practical Approach Second Edition*. New York: Mc. Grow Hill Ltd.
- Cengel, Yunus A. 2015. *Thermodynamics Approach*. New York: Mc. Grow Hill Ltd.
- Delly, J. 2016. *Studi Penggunaan Modul Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable*. Kendari: Universitas Halu Oleo.
- El Sayed G.Khater 2014. *Performance of Direct of Evaporative Cooling System under Egyptian Conditions*. Egypt: Benha University.
- Fakhra Anwar. 2016. *Causes of Ozone Layer Depletion and Its Effects On Human:Revierrw*. Pakistan: University Of Gujrat.
- Farhamini Moien. 2011. *Exergi Analysis of Evaporative Cooling for Optimum Energi Consumption in Diverse Climate Conditon*. *Journal of Mechanical Research and Application*. ISSN: 2251-7383.
- Habibi, Sultan. (2017). *Pengaruh Jumlah Penggunaan TEC1-12706 Terhadap Unjuk Kerja Prototype Mesin Pendingin Termoelektrik*.*Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Jiajitsawat, S. 2012. *A Portable Hybrid Thermoelectric-Direct Evaporative Air Cooling System*. Phitsanulok Province: Naresuan University.
- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. New York: Mc. Grow Hill Ltd.
- Kennedy 2016. *Pengaruh Laju Aliran Fluida Liquid Cooled Heatsink Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendinginan Termoelektrik*. Palu : Universitas Tadulaku.
- Kimsunthron, J. 2015. *The Cooling Performance Of The Evaporative Cooling System (Cooling Pad) In Combination With Thermoelectric Devices*. Pathum Thani : Thammasat University.
- Khode Swapnil S. 2015. *Review on Application of Thermoelectric Peltier Module in cooling and power generating Technology, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*. ISSN: 2321-0869.
- Lin, Shumin et al. 2016. *Experiment Investigation of a Two-Stage Thermoelectric Cooler Under Current Pulse Operation*. China: Xian Jiaotong University.
- Maurya Rajesh. 2014. *Performance and analysis of an Evaporative Cooling System*. India: *University Institute of Technology*.

- repository.ub.ac.id
- Yusuf Mirza. 2017. Analisis Performa Sistem Pendingin Ramah Lingkungan Untuk Kabin Mobil *City Car* Menggunakan Modul Termoelektrik Cooler Terhadap Konsumsi Bahan Bakar. ISSN: 2301-663.
- Musa Mu'azu. 2009. *Novel Evaporative Cooling System for Building Applications*. Universtiy of Nottingham.
- Renato Lazzarin. 2015. *Informatory Note on Refrigeration Tecnologies*. International Institute of Refrigeration.
- Sahid Anwar. 2017. Perbedaan Laju Aliran Massa dengan Laju Aliran Volume. Surabaya : Institute Teknologi Sepuluh November.
- Stoecker, W. F. & Jones, J. W. 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Cetakan V. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- .T, Savisakthivel. 2011. *Ozone Layer Depletion and It's Effects: A Review*. ISSN: 2010-0264.
- Tipsaenporm. W. 2012. *Improvement of cooling Performance of a Compact Thermoelectric Air Conditioner Using a Direct Evaporative Cooling System*. *Journal of electonic material*. Vol.41. No 6.
- Totala.N.B. 2014. *Study and Fabrication of Thermoelectric Air Cooling and Heating System*.*International Journal of Engineering Invention*. ISSN: 2319-6491.
- Yilmazoglu, M. Zeki. 2015. *Experimental and Numerical Investigation of a Prototype Thermoelectric Heating and Cooling Unit*. Turkey: Gazy University.
- 

**Lampiran 1** Data Laju Massa Alir 0,013 kg/s

No	Waktu (Menit)	T <sub>C1</sub>	T <sub>C2</sub>	T <sub>C3</sub>	T <sub>C4</sub>	T <sub>C5</sub>	T <sub>H1</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>H3</sub>	T <sub>H4</sub>	T <sub>H5</sub>	T <sub>DC1</sub>	T <sub>WC1</sub>	T <sub>DC2</sub>	T <sub>WC2</sub>	T <sub>DC3</sub>	T <sub>WC3</sub>
		°C															
1	10	28,1	27,5	24,3	20,9	20,2	72,1	69,7	62,9	51,5	40,2	28,2	23,06	25,5	23,81	24,3	24,18
2	20	28,2	27,4	24,5	21,1	20,3	72,4	69,1	62,5	51,5	40,7	28,3	23,15	25,6	23,90	24,3	24,08
3	30	28,1	27,4	24,3	21,1	20,1	72,2	69,3	62,5	51,4	40,3	28,2	23,06	25,5	23,81	24,3	24,18
4	40	28,1	27,5	24,3	21,2	20,2	72,3	69,2	62,7	51,5	40,3	28,2	23,06	25,6	23,90	24,4	24,28
5	50	28,2	27,5	24,4	21,1	20,2	72,3	69,2	62,4	51,4	40,2	28,3	23,15	25,5	23,81	24,4	24,28
6	60	28,2	27,5	24,5	21,2	20,1	72,3	69,2	62,5	51,5	40,3	28,2	23,06	25,5	23,81	24,3	24,18
Rata-Rata		28,15	27,47	24,38	21,10	20,18	72,27	69,28	62,58	51,47	40,33	28,23	23,09	25,53	23,84	24,32	24,19



**Lampiran 2** Data Laju Massa Alir 0,016 kg/s

No	Waktu (Menit)	$^{\circ}\text{C}$															
		T <sub>C1</sub>	T <sub>C2</sub>	T <sub>C3</sub>	T <sub>C4</sub>	T <sub>C5</sub>	T <sub>H1</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>H3</sub>	T <sub>H4</sub>	T <sub>H5</sub>	T <sub>DC1</sub>	T <sub>WC1</sub>	T <sub>DC2</sub>	T <sub>WC2</sub>	T <sub>DC3</sub>	T <sub>WC3</sub>
1	10	27,4	25,5	22,7	20,7	20,1	67,1	62,3	56,6	47,9	38,7	28,1	22,97	25,1	23,42	24,2	24,08
2	20	27,5	25,7	22,6	21,3	20,9	65,8	62,1	56,5	48,1	39,1	28,3	23,15	25,6	23,90	24,2	24,08
3	30	27,5	25,7	22,7	21,5	20,6	66,9	63,5	58,1	48,1	39,9	28,5	23,33	25,5	23,81	24,2	24,08
4	40	27,3	26,9	23,0	21,7	20,9	67,9	64,8	58,5	48,7	39,7	28,5	23,33	25,6	23,90	24,1	23,98
5	50	27,7	26,2	23,5	21,7	20,9	68,1	64,2	58,0	48,7	39,4	28,6	23,42	25,7	24,00	24,2	24,08
6	60	27,5	26,3	23,7	21,7	21,0	68,2	64,5	58,5	49,2	39,8	28,5	23,33	25,8	24,09	24,3	24,18
Rata-Rata		27,48	26,05	23,03	21,43	20,73	67,33	63,57	57,70	48,45	39,43	28,42	23,25	25,55	23,85	24,20	24,08



**Lampiran 3** Data Laju Massa Alir 0,018 kg/s

No	Waktu (Menit)	$^{\circ}\text{C}$															
		T <sub>C1</sub>	T <sub>C2</sub>	T <sub>C3</sub>	T <sub>C4</sub>	T <sub>C5</sub>	T <sub>H1</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>H3</sub>	T <sub>H4</sub>	T <sub>H5</sub>	T <sub>DC1</sub>	T <sub>WC1</sub>	T <sub>DC2</sub>	T <sub>WC2</sub>	T <sub>DC3</sub>	T <sub>WC3</sub>
1	10	27,2	25,4	22,5	21,7	21,1	62,7	58,7	53,6	46,1	37,5	28,4	23,24	25,6	23,90	24,1	23,98
2	20	27,2	25,3	22,7	21,7	21,1	62,7	58,5	53,2	45,5	37,5	28,4	23,24	25,5	23,81	24,0	23,88
3	30	27,6	25,9	22,6	21,6	21,1	62,6	58,4	53,7	46,3	37,1	28,4	23,24	25,5	23,81	24,0	23,98
4	40	27,2	25,4	22,5	21,7	21,1	62,7	58,4	53,6	46,1	37,5	28,6	23,42	25,5	23,81	24,0	23,88
5	50	27,2	25,4	22,5	21,7	21,1	62,6	58,5	53,6	46,1	37,5	28,5	23,33	25,5	23,81	24,0	23,88
6	60	27,2	25,4	22,5	21,6	21,1	62,6	58,4	53,6	46,1	37,5	28,4	23,24	25,5	23,81	24,0	23,88
Rata-Rata		27,27	25,47	23,05	21,67	21,10	62,65	58,45	53,55	46,03	37,43	28,45	23,28	25,52	23,82	24,03	23,91



**Lampiran 4** Data Arus Listrik

No	Waktu (Menit)	0,013 kg/s							0,016 kg/s							0,018 kg/s						
		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	Total	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	Total	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	Total	P
1	10	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
2	20	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
3	30	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
4	40	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
5	50	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
6	60	2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150
Rata-Rata		2	2,4	2,6	2,4	2,8	12,2	146,4	2	2,6	2,6	2,4	2,8	12,4	148,8	2	2,6	2,7	2,4	2,8	12,5	150

