

**SKRIPSI**

**PENGGUNAAN *HEATSINK* TEMBAGA SEBAGAI  
PENGKONDENSASI AIR PADA *ATMOSPHERIC WATER  
GENERATOR* BERBASIS *THERMOELECTRIC COOLER***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ASWIN ASHAR ABDULLAH**

**NIM. D021181026**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGGUNAAN *HEATSINK* TEMBAGA SEBAGAI PENGKONDENSASI AIR PADA *ATMOSPHERIC WATER* *GENERATOR* BERBASIS *THERMOELECTRIC COOLER*

Disusun dan diajukan oleh

**ASWIN ASHAR ABDULLAH**  
**NIM. D021181026**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal *20 februari 2023*  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

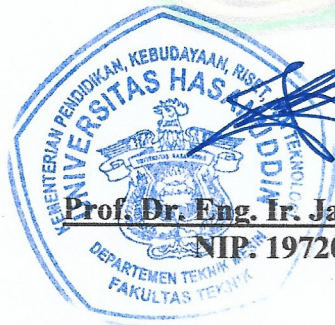


Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT.  
NIP. 19680301 199702 2 001



Prof. Dr-Ing Ir. Wahyu H Piarah, MSME  
NIP. 19600302 198609 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, S.T., M.T.  
NIP. 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aswin Ashar Abdullah  
NIM : D021181026  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Penggunaan *Heatsink* Tembaga Sebagai Pengkondensasi Air Pada *Atmospheric Water Generator* Berbasis *Thermoelectric Cooler*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 25 Januari 2023

Yang Menyatakan



Aswin Ashar Abdullah

## ABSTRAK

**ASWIN ASHAR ABDULLAH, PENGGUNAAN HEATSINK TEMBAGA SEBAGAI PENGKONDENSASI AIR PADA ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BERBASIS THERMOELECTRIC COOLER** (dibimbing oleh Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah)

Indonesia diprediksi akan mengalami krisis ketersediaan air bersih pada tahun 2040. Hal tersebut didasarkan oleh peningkatan pemakaian air bersih selama beberapa tahun terakhir, dan diproyeksi akan terus meningkat seiring berkembangnya populasi di Indonesia namun tidak diimbangi dengan ketersediaan air bersih. Salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan adalah udara lingkungan (Udara Atmosfer).

Atmosfer menyimpan sejumlah air yang berbentuk uap air yang ditandai dengan kelembaban relatif atmosfer Indonesia berkisar antara 70 hingga 90 %. Maka diperlukan alat untuk memanfaatkan hal tersebut, maka penelitian dilakukan dengan tujuan membuat alat Atmospheric Water Generator (AWG berbasis Thermoelectric Cooler dengan menggunakan material Tembaga sebagai tempat udara terkondensasi).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Data dikumpulkan dengan melakukan berbagai percobaan dengan berbagai variasi jumlah kipas pada Heatsink-pipe dan penggunaan kipas *Inlet*. Penelitian juga dilakukan pada berbagai kondisi lingkungan seperti Laboratorium, Pemukiman, dan Pesisir Pantai.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah kipas pada Heatsink-pipe dan penggunaan kipas *Inlet* berpengaruh pada produksi air, AWG dengan menggunakan *Double Fan* AWG mampu menghasilkan air 2 ml/h, AWG dengan *Single Fan* mampu menghasilkan air 1,5 ml/h, dan AWG dengan menggunakan *Inlet* mampu menghasilkan air 2 ml/h (*Double Fan*), AWG tanpa menggunakan *Inlet* menghasilkan air 1 ml/h. Dengan hasil penelitian tersebut, AWG mampu menghasilkan air hingga 4,5 ml/jam dengan efisiensi 3,873 % pada kondisi lingkungan pesisir pantai (RH 81,099 %) yang menandakan bahwa AWG mampu menjadi alat untuk membantu memanfaatkan Atmosfer sebagai sumber air alternatif.

Kata Kunci: *Thermoelectric Cooler, Atmospheric Water Generator, Heatsink Tembaga*

## ABSTRACT

**ASWIN ASHAR ABDULLAH, PENGGUNAAN HEATSINK TEMBAGA SEBAGAI PENGKONDENSASI AIR PADA ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BERBASIS THERMOELECTRIC COOLER** (dibimbing oleh Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah).

Indonesia is predicted to experience a crisis in the availability of clean water in 2040. This is based on the increase in the use of clean water over the past few years, and it is projected that it will continue to increase as the population in Indonesia grows but is not matched by the availability of clean water. One source of water that can be utilized is ambient air (atmospheric air).

The atmosphere stores a certain amount of water in the form of water vapor which is indicated by the relative humidity of the Indonesian atmosphere ranging from 70 to 90%. So a tool is needed to take advantage of this, so research was carried out with the aim of making a Thermoelectric Cooler-based Atmospheric Water Generator (AWB) device using copper material as a place for air to condense.

This study used an experimental method. Data was collected by conducting various experiments with various variations in the number of fans at Heatsink-pipe and use of *inlet* fans. Research was also conducted in various environmental conditions such as laboratories, settlements, and coastal areas.

The results showed that the number of fans on the heatsink-pipe and the use of *inlet* fans had an effect on water production, AWG using *Double Fan* AWG was able produce 2 ml/h water, AWG with a *Single Fan* can produce 1.5 ml/h water, and AWG using an *Inlet* can produce 2 ml/h water (*Double Fan*), AWG without using an *Inlet* produces 1 ml/h water. the results of these studies, AWG is able to produce water up to 4.5 ml/hour d with an efficiency of 3.873% in coastal environmental conditions (RH 81.099%) which indicates that AWG is capable of being a tool to help utilize the atmosphere as an alternative water source.

Key words    Thermoelectric Cooler, Atmospheric Water Generator, Copper Heatsink

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Atmosfer.....	4
2.2 Udara dan Kelembaban Udara.....	5
2.3 Kondensasi .....	6
2.4 <i>Thermoelectric Cooler</i> .....	7
2.5 Efek Termoelektrik.....	8
2.6 <i>Heatpipe</i> .....	9
2.7 <i>Heatsink</i> .....	10
2.8 Perpindahan panas .....	10
2.9 Efisiensi Alat .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	16
3.2 Metode Penelitian.....	17
3.3 Variabel Penelitian .....	17
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	18
3.5 Desain Alat <i>Atmospheric Water Generator</i> .....	23
3.6 Skema Rancangan Instalasi Pengujian .....	25
3.7 Prosedur Penelitian.....	26
3.8 Pelaksanaan Penelitian .....	28
3.9 Analisis Data .....	29
3.10 Jadwal Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Analisis Data .....	32
4.2 Pembahasan .....	37

4.3 Hasil Penelitian.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52
LAMPIRAN.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Atmosfer [2] .....	4
Gambar 2 Kondensasi Film [10] .....	7
Gambar 3 Kondensasi Tetes [10] .....	7
Gambar 4 <i>Thermoelectric</i> [11] .....	8
Gambar 5 Konsep <i>Heatpipe</i> [12] .....	9
Gambar 6 <i>Heatsink air flow</i> [14] .....	10
Gambar 7 Skema perpindahan panas konduksi [10] .....	11
Gambar 8 Skema perpindahan panas konveksi [10] .....	12
Gambar 9 Lokasi Penelitian di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin .....	16
Gambar 10 Lokasi Penelitian di BTN Nuki Dwikarya .....	16
Gambar 11 Lokasi Penelitian di Tanjung Bayang .....	17
Gambar 12 Modul Termoelektrik .....	18
Gambar 13 <i>Heatsink</i> .....	18
Gambar 14 <i>Heatsink-pipe</i> .....	19
Gambar 15 <i>Fan</i> .....	19
Gambar 16 Akrilik .....	20
Gambar 17 Termal Pasta .....	20
Gambar 18 <i>Chasis</i> dan Modul <i>National Instrument</i> .....	21
Gambar 19 Temokopel .....	21
Gambar 20 Gelas Ukur .....	21
Gambar 21 Multimeter Digital .....	22
Gambar 22 Anemometer Digital .....	22
Gambar 23 <i>Power Supply</i> .....	23
Gambar 24 <i>Adaptor</i> .....	23
Gambar 25 Desain Alat <i>Atmospheric Water Generator</i> .....	24
Gambar 26 Titik pengukuran pada <i>Atmospheric Water Generator</i> .....	25
Gambar 27 Rancangan Instalasi Pengujian .....	25
Gambar 28 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 29 Lapisan TEC (a) 1 Modul - <i>Single Module</i> (b) 2 Modul berusun – <i>Double Module</i> (c) 3 Modul berusun – <i>Triple Module</i> (d) 4 Modul berusun – <i>Quadruple Module</i> .....	30
Gambar 30 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin TEC terhadap waktu .....	38
Gambar 31 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Panas TEC terhadap Waktu .....	39
Gambar 32 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Heatsink</i> terhadap Waktu .....	40
Gambar 33 Sejarah Temperatur Ruang Kondensasi terhadap Waktu .....	41
Gambar 34 Sejarah Temperatur Lingkungan terhadap Waktu .....	42
Gambar 35 Effisiensi dan Hasil Air pada Pengambilan Data 240 Menit .....	43
Gambar 36 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin TEC terhadap waktu .....	44
Gambar 37 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Panas TEC terhadap Waktu .....	45
Gambar 38 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Heatsink</i> terhadap Waktu .....	46
Gambar 39 Sejarah Temperatur Ruangan Kondensasi terhadap Waktu .....	47
Gambar 40 Sejarah Temperatur Lingkungan terhadap waktu .....	48
Gambar 41 Effisiensi dan Hasil Air pada Pengambilan Data 240 Menit .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Jadwal penelitian.....	31
Tabel 2 Hasil Pengamatan Awal Lingkungan Laboratorium.....	32
Tabel 3 Hasil Pengamatan Awal Berbagai Lingkungan .....	32
Tabel 4 Spesifikasi Maksimal Alat .....	32
Tabel 5 Hasil pengujian 1 buah modul TEC ( <i>Single Module</i> ).....	33
Tabel 6 Hasil Analisis tegangan terbaik setiap lapisan TEC .....	33
Tabel 7 Hasil penelitian data setiap Variasi 22 Volt – <i>Double Module</i> .....	34
Tabel 8 Hasil Penelitian Data Laboratorium.....	50
Tabel 9 Hasil Penelitian berbagai Lingkungan .....	50

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Dimensi kerangka penopang <i>Atmospheric Water Generator</i> .....	54
Lampiran 2 Dokumentasi.....	55

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$\dot{m}$	Laju aliran massa udara
$\rho$	Densitas udara
A	Luas penampang
$\bar{V}$	Kecepatan udara
$P_{jwb}$	Tekanan uap bola jenuh basah
$P_s$	Tekanan uap bola jenuh kering
$T_{db}$	Temperatur bola kering
$T_{wb}$	Temperatur bola basah
$P_t$	Tekanan udara
$\phi$	Kelembaban relatif
w	Rasio kelembaban
$T_{dp}$	Temperatur dew point
$\eta$	Efisiensi
BPF	<i>Bypass Factor</i>
$\beta$	<i>Contact Factor</i>
$\dot{m}_w$	Laju aliran massa air
C	<i>Heat Capacity</i>
Q	Kalor
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas ridanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Penggunaan Heatsink Tembaga Sebagai Pengkondensasi Air Pada Atmospheric Water Generator Berbasis Thermoelectric Cooler**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan rasa terima kasih kepada orang tua penulis, Bapak **Hamid** dan Ibu **Hasma**.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan serta bantuan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. **Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT** dan **Prof. Dr. -Ing. Wahyu H. Piarah, MSME** selaku pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan hingga akhir penyusunan skripsi ini.
2. **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** dan **Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT** selaku Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis kuliah.
4. Saudara seperjuangan **A. Ardi Aman** dan **Gary Anderson** yang setia menemani, membantu, menjadi motivasi dan penggerak penulis dari awal hingga akhir penyusunan skripsi dan selama perkuliahan. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua.
5. Saudara-saudara seperjuangan REACTOR 2018 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
6. Teman-teman dan kakak-kakak seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan tugas akhir.
7. Serta semua pihak yang tidak bisa disebut satu persatu dalam membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari pembaca agar penyusunan selanjutnya lebih baik. Penulis juga berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca serta pengetahuan pemanfaatan sumber air dari udara lingkungan.

Gowa, 25 Januari 2023

Penulis

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air merupakan salah satu kebutuhan dari berbagai aktivitas manusia. Kebutuhan air setiap orang berbeda tergantung jenis dan tingkat aktifitas dari manusia sebagai konsumen seperti minum, mencuci, memasak, dan berbagai aktivitas industri, perkantoran, perdagangan, dan lain sebagainya. Namun seiring berkembangnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan air bersih juga akan meningkat, hal tersebut akan mengakibatkan ketersediaan air bersih akan menipis.

Di Indonesia dengan 270 juta jiwa saat ini, diproyeksi akan mengalami krisis ketersediaan air bersih pada tahun 2040 [1]. Hal tersebut didasarkan oleh peningkatan pemakaian air bersih selama beberapa tahun terakhir, dan diproyeksi akan terus meningkat seiring berkembangnya populasi di Indonesia.

Untuk mengatasi kelangkaan air bersih di berbagai daerah di Indonesia, baik pemerintah maupun masyarakat berupaya untuk mengatasinya mulai dari pembangunan infrastruktur hingga pembangunan sumur bersama bagi masyarakat. Namun, jika hanya mengandalkan cara tersebut permasalahan tidak akan terselesaikan dengan cepat. Dibutuhkan cara lain (alternatif) yang inovatif dalam mengatasi Krisis air bersih.

Salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan adalah udara lingkungan (udara atmosfer). Atmosfer merupakan lapisan gas yang mengelilingi planet atau benda langit lainnya [2]. Atmosfer menyimpan sejumlah air yang berbentuk uap air, ditambah lagi dengan luas lautan Indonesia yang lebih luas dibandingkan dengan luas daratannya membuat jumlah kandungan uap air yang tersimpan di atmosfer semakin besar, menurut website wonderful Indonesia [3] menyatakan bahwa kelembaban relative atmosfer Indonesia berkisar antara 70 % hingga 90 % . dari kelembaban udara normal berkisaran antara 45 % hingga 65 %, yang menandakan bahwa atmosfer Indonesia menyimpan potensi yang besar sebagai penghasil air alternatif.

Uap air yang terkandung dalam udara lingkungan (atmosfer) dapat dijadikan sumber air bersih dengan cara dikondensasi, maka dari itu dibutuhkan alat untuk mengkondensasi uap air udara lingkungan (atmosfer). Pada tahun 2017, Darwin

setiyawan membuat alat penghasil air tawar dari udara dengan menggunakan *thermoelectric cooler* “Eksperimen Penghasil Air Tawar dari Udara Menggunakan *Thermoelectric Cooler* untuk Kebutuhan Air Minum di Lifeboat” dan menghasilkan 26 ml/jam [4]. Erkas Lodoh dkk juga membuat alat penghasil air dari udara lingkungan (atmosfer) berbasis *thermoelectric cooler* pada tahun 2021 “Analisis Pengaruh Panjang Sirip Heatsink Terhadap Produksi Air Kondensasi pada Alat Penghasil Air Atmosfer” dan menghasilkan 27 ml/24 jam [5]. Kedua penelitian diatas memiliki kesamaan, yaitu memanfaatkan efek Peltier dari *Thermoelectric Cooler*. Akan tetapi, memiliki perbedaan pada fokus dan penggunaan sistem dalam alat penghasil air, Darwin Setiyawan melakukan penelitian berfokus pada sisi untuk mendinginkan sisi panas *Thermoelectric Cooler* dan sisi dingin *Thermoelectric Cooler* untuk mengondensasi udara, sedangkan Erkas Lodoh hanya berfokus pada sisi dingin *Thermoelectric Cooler* untuk mengondensasi udara. Pada penggunaan sistemnya, Penelitian yang dilakukan Darwin menggunakan kombinasi heatpipe-heatsink, sedangkan penelitian yang dilakukan Erkas menggunakan *heatsink* pada sisi panas dan sisi dingin *Thermoelectric Cooler*. Berdasarkan kedua penelitian diatas, kami menggabungkan kedua ide penelitian tersebut sehingga pembuatan *Atmospheric Water generator* berfokus pada sisi panas dan sisi dingin *Thermoelectric Cooler* menggunakan kombinasi *Heatsink-pipe* pada sisi panas *Thermoelectric Cooler* dan heatsink pada sisi dingin *Thermoelectric Cooler*.

Berdasarkan uraian di atas, *Atmospheric Water Generator* sebagai penghasil air dari udara lingkungan (atmosfer) berbasis *thermoelectric cooler* adalah salah satu solusi inovatif menggunakan teknologi yang sangat berguna bagi masyarakat luas karena dapat menghasilkan air bersih dari udara lingkungan (Atmosfer).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Seberapa besar produksi air pada *Atmospheric Water Generator* berbasis *thermoelectric cooler* ?
2. Bagaimana pengaruh *Fan Inlet* pada produksi air ?
3. Bagaimana pengaruh jumlah *Fan Heatsink-pipe* pada produksi air ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui besar produksi air pada *Atmospheric Water Generator* berbasis *thermoelectric cooler*
2. Untuk mengetahui pengaruh *Fan Inlet* terhadap produksi air
3. Untuk mengetahui pengaruh jumlah *Fan Heatsink-pipe* pada produksi air

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Jenis termoelektrik yang digunakan adalah jenis yang ada di pasaran
2. Dimensi alat yang digunakan, tinggi : 500 mm, lebar 116 mm, dan Panjang 110 mm
3. Dimensi *Heatsink* tembaga yang digunakan lebar 80 mm, Panjang 80 mm, dan tinggi 20 mm

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam kegiatan ini, yaitu :

1. Memberikan suatu inovasi dalam bidang teknologi sebagai sumber air bersih dari udara lingkungan (Atmosfer) berbasis *thermoelectric cooler*.
2. Sebagai sumber air bersih alternatif bagi masyarakat
3. Untuk mengembangkan penggunaan prinsip termoelektrik dalam kehidupan sehari-hari

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Atmosfer**

Atmosfer merupakan lapisan gas yang mengelilingi planet atau benda langit lainnya, yang memungkinkan sinar matahari mampu mencapai permukaan bumi [6]. Atmosfer membentang hingga 10.000 kilometer (6.214 mil) di atas permukaan, atmosfer bumi terdiri dari beberapa gas, yaitu 78 % Nitrogen, 21 % Oksigen, 0,9% Argon, dan 0,1% gas lainnya yang terdiri dari Metana, Uap Air, dan Neon [2]. Secara umum, atmosfer tersusun dari beberapa lapisan yaitu:



**Gambar 1** Atmosfer [2]

##### **1 Troposfer**

Troposfer merupakan lapisan terbawah dari Atmosfer. Troposfer membentang 7 hingga 15 kilometer (5 hingga 10 mil) di atas permukaan. Troposfer memiliki karakteristik penurunan suhu rata-rata dengan meningkatnya ketinggian [6]. Lapisan troposfer mengandung sekitar 75 – 80 % massa atmosfer bumi, dan mengandung Sebagian besar uap air yang terkandung dalam atmosfer.

##### **2 Stratosfer**

Stratosfer merupakan lapisan kedua terbawah dari Atmosfer di atas lapisan Troposfer. Stratosfer memiliki ketinggian sekitar 50 kilometer (39 mil) di atas Troposfer [2]. Stratosfer memiliki karakteristik kenaikan suhu dengan meningkatnya ketinggian. Lapisan ozon terdapat pada Stratosfer, lapisan ozon berfungsi untuk menyerap Sebagian dari radiasi matahari, dan melindungi bumi dari sinar Ultraviolet (UV).



### **3 Mesosfer**

Mesosfer merupakan lapisan ketiga Atmosfer. Mesosfer mencapai 85 kilometer (52 mil) diatas permukaan [2]. Karakteristik dari lapisan mesosfer yaitu penurunan temperature dengan meningkatnya ketinggian. Lapisan mesosfer dapat dikatakan sebagai lapisan atmosfer yang tipis, namun lapisan ini mampu membakar meteor saat melewati lapisan ini [6].

### **4 Termosfer**

Termosfer merupakan lapisan kedua terluar dari lapisan atmosfer. Lapisan Termosfer mencapai 600 km (372 mil) diatas permukaan. Temperature dari lapisan termosfer bergantung pada aktivitas matahari, temperature lapisan termosfer dapat naik hingga 1500 C (2700 F) [6].

### **5 Eksosfer**

Eksosfer merupakan lapisan terluar dari lapisan atmosfer. Lapisan ini terdiri dari hydrogen, helium dan beberapa molekul yang lebih berat dengan kepadatan yang sangat rendah [6]. Pada lapisan Eksofer ini, tarikan gravitasi bumi sangat kecil, sehingga molekul dapat terlepas ke luar angkasa dan satelit dapat mengorbit.

## **2.2 Udara dan Kelembaban Udara**

Udara merupakan campuran gas yang terdapat pada permukaan bumi. Menurut Stoecker dan Jones [7] campuran gas tersebut dapat dibagi menjadi dua, yaitu Udara Basah yang terdiri dari uap air, dan Udara Kering yang terdiri dari Nitrogen, Oksigen, Karbon Dioksida dan beberapa gas lainnya.

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada didalam udara, semakin besar nilai kelembaban udara maka semakin besar uap air yang terkandung dalam udara per satuan volume, begitupun sebaliknya. Kelembaban udara suatu tempat bergantung pada beberapa faktor, seperti suhu, kuantitas dan kualitas Penyinaran, intensitas, pergerakan angin, tekanan udara, vegetasi, dan ketersediaan air di suatu tempat. Menurut Yunita [8] kelembaban udara mempunyai beberapa jenis, yaitu :

## 1 Kelembaban Mutlak (Absolut)

Kelembaban mutlak adalah kandungan uap air dalam suatu daerah tertentu tiap satuan volume udara. Kelembaban absolut tergantung pada suhu yang mempengaruhi kekuatan udara untuk memuat uap air.

## 2 Kelembaban Relatif (Nisbi)

Kelembaban Relatif atau Nisbi adalah perbandingan uap air yang terkandung di udara dengan keadaan jenuhnya pada suhu yang sama. Kelembaban relatif berbanding terbalik dengan suhu udara, jika suhu udara semakin naik maka kelembaban relatif akan semakin kecil, begitupun sebaliknya

### 2.3 Kondensasi

Proses perubahan wujud gas ke wujud yang lebih pada (cairan) disebut Kondensasi atau pengembunan. Proses kondensasi dapat terjadi dengan dua kondisi, yaitu dengan cara menaikkan tekanannya atau dengan cara menurunkan temperaturnya [9]. Dew Point merupakan suatu ukuran temperatur minimal dimana udara dapat berubah fasa dari gas menjadi cair atau terkondensasi. Dew point didapatkan menggunakan persamaan 1 dan 2 [4], yaitu :

$$\gamma(R, TH) = \ln \left( \frac{\phi}{100} \right) + \frac{17,67 \cdot T_{db}}{243 - T_{db}} \quad (1)$$

Keterangan :

$\phi$  = Kelembaban Relatif (%)

$T_{db}$  = Temperatur bola kering (°C)

$$T_{dp} = \frac{243 \cdot \gamma(R, TH)}{17,67 - \gamma(R, TH)} \quad (2)$$

Keterangan :

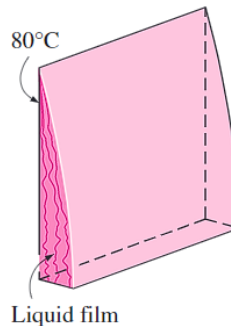
$T_{dp}$  = Temperatur Dew Point (°C)

Jenis fenomena kondensasi dapat dibagi menjadi dua bentuk, yaitu :

#### 1 Kondensasi Flm (*filmwise condensation*)

Kondensasi film merupakan jenis kondensasi dimana kondensat membasahi permukaan dan membentuk film mengalir diakibatkan gravitasi. Aliran yang terjadi pada saat kondensat mengalir memunculkan fenomena

seperti aliran laminar, aliran gelombang (*wavy*), transisi laminar-turbulen, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cairan. Kondensasi jenis ini merupakan kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem [10].

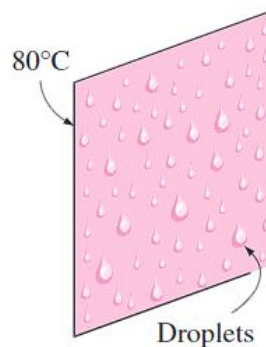


**Gambar 2** Kondensasi Film [10]

## 2 Kondensasi Tetes (*dropwise condensation*)

Kondensasi tetes merupakan jenis kondensasi dimana kondensat berbentuk tetesan tetesan yang jumlahnya tak terhitung dengan diameter yang bervariasi. Tetesan tetesan yang terbentuk akan bergabung menjadi tetesan besar, dan meluncur ke bawah. Ketika mencapai ukuran tertentu.

Kondensasi tetes lebih disukai dalam aplikasi perpindahan panas karena memiliki koefisien perpindahan panasnya dapat mencapai lebih dari 10 kali lebih besar dibandingkan dengan kondensasi film [10].

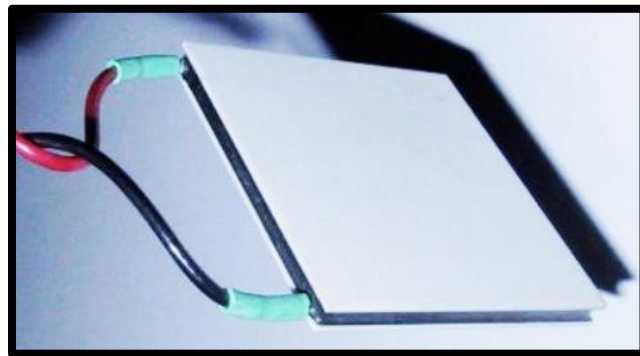


**Gambar 3** Kondensasi Tetes [10]

### 2.4 *Thermoelectric Cooler*

Dua logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda, maka akan ada lima fenomena yang terjadi, yaitu fenomena efek joule, efek fourier, efek seebeck, efek peltier dan efek

thomson. Termoelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1822 oleh Thomas Johan Seebeck, yang melakukan observasi tentang aliran listrik Ketika bertemunya dua logam yang berbeda. Efek peltier ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 M, dimana dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda menghasilkan perbedaan temperatur. Hasil penemuan ini diikuti dengan perkembangan teknologi material semi konduktor menghasilkan alat yang dinamakan pendingin *thermoelectric cooler* [11]



**Gambar 4** *Thermoelectric* [11]

Pada dasarnya, panas berpindah dari sisi thermoelectric yang dingin ke sisi thermoelectric yang panas melalui termoelemen semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang menahan panas keluar ke lingkungan. Nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap di sisi dingin ditambah dengan daya yang diberikan ke modul termoelektrik.

## 2.5 Efek Termoelektrik

### 1 Efek Seebeck

Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Pada prinsipnya, jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop, sehingga besarnya tegangan termoelektrik sebanding dengan perbedaan suhu pada sambungan termokopel.

### 2 Efek Peltier

Efek peltier merupakan efek *thermoelectric* yang prinsip kerjanya merupakan kebalikan dari efek seebeck. Efek peltier, di temukan oleh Jean Peltier pada tahun 1834, adalah fenomena dimana energi panas dapat diserap pada salah satu sambungan konduktor dan dilepaskan pada sambungan

konduktor lainnya ketika arus listrik dialirkan pada suatu rangkaian tertutup. Atau dengan kata lain efek peltier mengkonversikan energi listrik menjadi perubahan suhu. Efek peltier merupakan fenomena utama yang diterapkan dalam *thermoelectric cooler*.

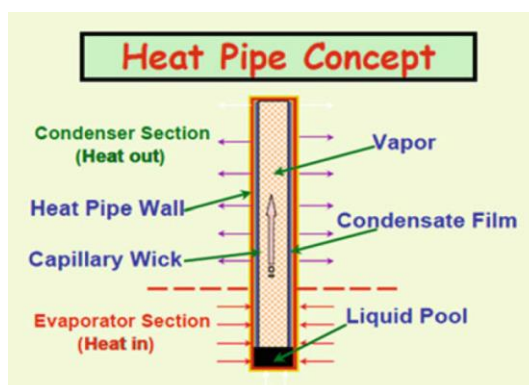
### 3 Efek Thomson

Pada tahun 1854 seorang berkebangsaan Inggris yang bernama William Thomson mengemukakan hasil penelitiannya bahwa terdapat penyerapan atau pengeluaran panas bolak-balik dalam konduktor homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan listrik secara simultan.

## 2.6 Heatpipe

*Heatpipe* ditemukan pada tahun 1963 di laboratorium Nasional Los Alamos, dan mulai digunakan untuk berbagai aplikasi seperti komputer laptop, pesawat ruang angkasa, cetakan injeksi plastik, peralatan medis dan dalam pencahayaan [12]. *Heatpipe* adalah alat perpindahan panas aliran dua fase dimana proses dari air menjadi uap dan sebaliknya, yang bersirkulasi antara evaporator dan kondensor dengan konduktivitas termal efektif yang tinggi [13]. *Heatpipe* dapat dikatakan sebagai superkonduktor panas karena memiliki kapasitas dan laju perpindahan panas yang luar biasa dengan hampir tidak ada kehilangan panas.

Kinerja termal *heatpipe* tergantung pada beberapa hal antara lain fluida kerja, bahan pipa, bentuk dan Panjang *heatpipe*. Semakin rendah tahanan termal maka kinerja *heatpipe* semakin baik, begitupun sebaliknya semakin tinggi tahanan termal maka kinerja *heatpipe* semakin buruk.

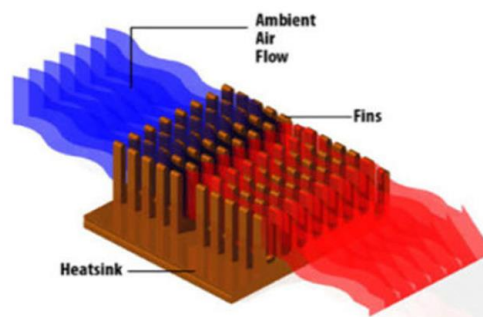


Gambar 5 Konsep *Heatpipe* [12]

## 2.7 Heatsink

*Heatsink* merupakan salah satu jenis alat penukar kalor. *Heatsink* memiliki kelebihan dikarenakan memiliki luasan arean kontak besar yang membuat perpindahan panas akan semakin cepat.

Pada dasarnya, *heatsink* menggunakan prinsip dasar dari hukum perpindahan panas konveksi Fourier, yang menyatakan bahwa kalor akan berpindah dari suhu yang lebih tinggi ke media fluida suhu yang lebih rendah [14], perpindahan panas tersebut dapat terjadi melalui tiga acara, yaitu Konduksi, Konveksi, dan Radiasi. *Heatsink* dapat juga digunakan sebagai *Heat Spreader* atau penyebar panas, tergantung pada kebutuhan yang akan digunakan pada *Heatsink*.



**Gambar 6** *Heatsink air flow* [14]

Salah satu faktor yang mempengaruhi performa *Heatsink* adalah Konduktivitas termal dari material. Konduktivitas termal merupakan suatu ukuran kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas, semakin tinggi Konduktivitas termal suatu material maka panas yang dapat mengalir pada material juga semakin besar.

## 2.8 Perpindahan panas

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendingin termoelektrik adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi mulai dari *cold sink* sisi dingin *peltier*, dan *heat pipe* pada sisi panas *peltier*. Sedangkan konveksi terjadi pada udara dalam ruangan, lingkungan sekitar alat uji, dan udara disekitar sirip-sirip *heat pipe* Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara untuk meramalkan perpindahan (distribusi) energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Laju perpindahan panas dapat dihitung menggunakan persamaan 3 [10], yaitu :

$$Q = \dot{m} C \Delta T \quad (3)$$

Keterangan :

$\dot{m}$  = Laju perpindahan massa

$C$  = Kalor jenis zat (J/kg°C)

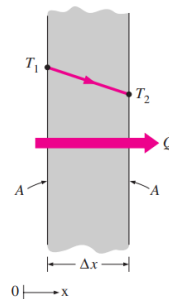
$\Delta T$  = kenaikan/perubahan suhu zat (°C)

Perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

### 1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium yang diam (padat) bertemperatur tinggi ke bagian benda yang bertemperatur rendah atau terdapat gradien temperatur pada benda tersebut.

Perpindahan panas yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan panas tanpa diikuti oleh perpindahan molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah.



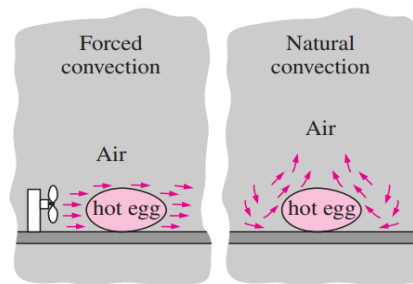
Gambar 7 Skema perpindahan panas konduksi [10]

### 2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan Panas Konveksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi karena terdapat aliran fluida. Dimana perpindahan panas terjadi karena adanya gerakan/aliran/ pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll.

Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Bila gerakan fluida disebabkan karena

adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (free/natural convection). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (forced convection).



**Gambar 8** Skema perpindahan panas konveksi [10]

## 2.9 Efisiensi Alat

Effisiensi merupakan ukuran kemampuan suatu alat untuk mencapai hasil maksimal. Efisiensi dapat diperoleh dengan membandingkan antara hasil yang diperoleh dari pengujian dan hasil yang seharusnya berdasarkan perhitungan. Berikut merupakan rumus – rumus yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan efisiensi alat :

### 1 Laju Aliran Massa Udara

Laju aliran massa udara adalah suatu ukuran besaran massa udara masuk kedalam alat AWG per satuan waktu. Persamaan aliran udara masuk yang digunakan [7], yaitu :

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot \bar{V} \text{ kg/s} \quad (4)$$

Keterangan :

$\dot{m}$  = Laju aliran massa udara masuk ( $\text{kg/s}$ )

$\rho$  = Densitas Udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = Luas saluran masuk ( $\text{m}^2$ )

$\bar{V}$  = Kecepatan udara masuk ( $\text{m/s}$ )



## 2 Kondisi Udara Masuk dan Keluar

Kondisi udara masuk dan keluar merupakan suatu ukuran untuk menunjukkan spesifikasi / properti baik dari udara yang masuk maupun udara yang keluar dari alat AWG, seperti Kelembaban Relatif, dan rasio kelembaban. Kelembaban Relatif dan rasio kelembaban didapatkan menggunakan persamaan [7] berikut :

$$P_s = P_{jwb} - 0,5 (T_{db} - T_{wb}) \frac{P_t}{755} \quad (5)$$

Keterangan :

$P_{jwb}$  = Tekanan uap jenuh bola basah (mmHg / kPa)\*

$P_s$  = Tekanan uap jenuh bola kering (mmHg / kPa)

$T_{db}$  = Temperatur bola kering (°C)

$T_{wb}$  = Temperatur bola basah (°C)

$P_t$  = tekanan udara (mmHg / kPa)

\* diperoleh pada tabel Stocker

$$\phi = \frac{P_{jwb}}{P_s} \quad (6)$$

Keterangan :

$P_{jwb}$  = Tekanan uap jenuh (mmHg / kPa)

$P_s$  = Tekanan uap jenuh (mmHg / kPa)

$\phi$  = Kelembaban Relatif (%)

$$w = 0,622 \frac{P_s}{P_t - P_s} \quad (7)$$

Keterangan :

$P_s$  = Tekanan uap jenuh (mmHg / kPa)

$P_t$  = tekanan udara (mmHg / kPa)

$w$  = Rasio Kelembaban

## 3 Laju Aliran Massa Air

Laju aliran massa air adalah suatu ukuran besaran massa air yang dihasilkan dari hasil kondensasi. Laju aliran massa air dapat dihitung menggunakan persamaan 8 [7], yaitu:

$$\dot{m}_{w1} = \dot{m} \times w_{in} - w_{out} \quad (8)$$

Keterangan :

$w_{in}$  = Rasio Kelembaban Udara Masuk

$w_{out}$  = Rasio Kelembaban Udara Keluar

$\dot{m}_w$  = Laju aliran massa air

#### 4 *Contact Factor dan Bypass Factor*

*Contact Factor* mengacu pada proporsi luas permukaan perpindahan panas dalam sistem pendingin yang bersentuhan langsung dengan fluida yang didinginkan. Faktor kontak yang tinggi berarti lebih banyak area permukaan yang bersentuhan langsung dengan fluida, yang mengarah pada perpindahan panas yang lebih efisien. *Bypass Factor*, mengacu pada proporsi cairan yang melewati permukaan perpindahan panas dalam sistem pendingin. Faktor bypass yang tinggi berarti sebagian besar fluida tidak bersentuhan dengan permukaan perpindahan panas, yang mengurangi efisiensi sistem pendingin. Dalam sistem yang dirancang dengan baik, faktor bypass harus rendah untuk memastikan perpindahan panas maksimum. *Contact Factor* dan *Bypass Factor* dapat dihitung menggunakan persamaan 9 dan 10, yaitu :

$$\beta = (T_{db,in} - T_{db,out}) / (T_{db,in} - T_h) \quad (9)$$

Keterangan :

$\beta$  = *Contact Factor*

$T_{db,in}$  = Temperatur Udara Masuk (°C)

$T_{db,out}$  = Temperatur Udara Keluar (°C)

$T_h$  = Temperatur Heatsink (°C)

$$\text{BPF} = 1 - \beta \quad (10)$$

Keterangan :

$\beta$  = *Contact Factor*

BPF = *Bypass Factor*

## 5 Efisiensi dan *Coefficient Of Performance*

Efisiensi diperoleh dengan membandingkan laju aliran massa air berdasarkan perhitungan dan laju aliran massa air hasil penelitian. Efisiensi dan COP didapatkan menggunakan persamaan 11 [4] dan 12 [10], yaitu :

$$\eta = \frac{m_{w1}}{m_{w2}} \quad (11)$$

Keterangan :

$m_{w1}$  = Laju aliran massa air perhitungan

$m_{w2}$  = Laju aliran massa air

$\eta$  = Efisiensi (%)

$$COP = \frac{Q}{P} \quad (12)$$

Keterangan :

$Q$  = Laju perpindahan kalor

$P$  = Laju aliran massa air

$COP$  = *Coefficient Of Performance*