

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA AIR PADA
WATER BLOCK DAN UDARA PADA *FAN INLET*
ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BERBASIS
*THERMOELECTRIC COOLER***

Disusun dan diajukan oleh:

**GARY ANDERSON GUNAWAN
D021 18 1006**



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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA AIR PADA WATER BLOCK DAN UDARA PADA FAN INLET ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BERBASIS THERMOELECTRIC COOLER

Disusun dan diajukan oleh

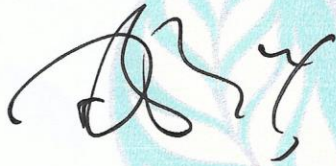
GARY ANDERSON GUNAWAN
NIM. D021181006

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 : Gary Anderson Gunawan
NIM : D021181006
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Air pada Water Block dan Udara pada Fan Inlet 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, 20 Februari 2023

Yang Menyatakan

Gary Anderson Gunawan

ABSTRAK

GARY ANDERSON GUNAWAN. ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA AIR PADA WATERBLOCK DAN UDARA PADA FAN INLET ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BERBASIS THERMOELECTRIC COOLER (dibimbing oleh Zuryati Djafar dan Wahyu H. Piarah)

Air merupakan salah satu kebutuhan penting bagi kelangsungan hidup manusia. Kebutuhan akan air diperlukan di berbagai sektor kehidupan. Indonesia, salah satu negara yang kaya akan sumber daya air dengan populasi sebanyak 278 juta jiwa diprediksi dapat mengalami krisis ketersediaan air bersih pada tahun 2025. Salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan adalah udara lingkungan (udara atmosfer). Atmosfer memiliki kandungan uap air dengan proporsi berkisar dari 0-4 % berdasarkan volume atmosfer. Indonesia merupakan negara beriklim tropis lembab dengan temperatur udara rata-rata 27°C-32°C dengan kelembaban udara rata-rata berkisar antara 75%-80%.

Hal ini menunjukkan atmosfer Indonesia memiliki potensi yang besar sebagai sumber penghasil air alternatif. *Atmospheric Water Generator* (AWG) berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC) merupakan perangkat yang mengekstrak air yang terkandung di udara melalui proses kondensasi. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi atmosfer Indonesia sebagai sumber penghasil air alternatif.

Perangkat AWG ini akan memanfaatkan *coil* tembaga sebagai pengkondensasi udara dan *water block* sebagai penurun temperatur air yang bersirkulasi pada *coil* tembaga. Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi laju aliran massa udara *fan inlet*, posisi *fan inlet*, dan laju aliran massa air pada *water block*.

Adapun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju aliran massa udara 0.011 kg/s pada kecepatan *fan inlet* 1.5 m/s posisi bawah, dan laju aliran massa air 0.00425 kg/s pada kecepatan pompa 0,0925 m/s (3V) menghasilkan jumlah air yang paling optimal sebanyak 7 ml/jam pada kelembaban udara 81%.

Kata Kunci: *Thermoelectric cooler, Atmospheric Water Generator, water block, coil* tembaga, kondensasi, air

ABSTRACT

GARY ANDERSON GUNAWAN. ANALYSIS OF THE EFFECT OF MASS FLOW RATE OF WATER ON WATERBLOCK AND AIR ON FAN INLET OF ATMOSPHERIC WATER GENERATOR BASED ON THERMOELECTRIC COOLER (supervised by Zuryati Djafar and Wahyu H. Piarah)

Water is one of the important necessities for human life. The requirement for water is needed in various sectors of life. Indonesia, one of the countries with abundant water resources is projected to face a crisis in the availability of clean water in 2025. One of the water resources that can be utilized is the environmental air (atmospheric air). The atmosphere contains water vapor in proportions ranging from 0-4% by volume of the atmosphere. Indonesia is a humid tropical country with an average temperature of 27°C-32°C with an average humidity of 75%-80%.

This shows that Indonesia's atmosphere has a great potential as an alternative source of water. Atmospheric Water Generator (AWG) based on Thermoelectric Cooler (TEC) is a device that extracts the water contained in the air through a condensation process. This study aims to exploit the potential of Indonesia's atmosphere as an alternative source of air production.

The AWG device uses a copper coil as an air condenser and a water block to reduce the temperature of the air circulating in the copper coil. Tests were carried out with various variations of the fan inlet mass flow rate, fan inlet position, and water mass flow rate on the water block.

The results of this study indicate that the mass flow rate of air of 0.011 kg/s at the *fan inlet* speed of 1.5 m/s at the bottom position, and the mass flow rate of water 0.00425 kg/s at the pump speed of 0.0925 m/s (3V) produces the highest amount of water as much as 7 ml/hour at air humidity of 81%.

Key words: Thermoelectric cooler, Atmospheric Water Generator, water block, copper coil, condensation, water

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Atmosfer.....	5
2.2 Kelembaban udara.....	6
2.3 Kondensasi	7
2.4 Laju aliran massa.....	8
2.5 <i>Thermoelectric Cooler</i>	9
2.6 Efek Termoelektrik.....	10
2.7 <i>Heat sink</i>	11
2.8 <i>Heat pipe</i>	12
2.9 <i>Water block</i>	13
2.10 Perpindahan Panas.....	13
2.11 Efisiensi.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Metode Penelitian	20

3.3 Variabel Penelitian.....	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.5 Skema Rancangan Instalasi Pengujian dan Sistem Pengukuran.....	28
3.6 Prosedur Penelitian	29
3.7 Flowchart Penelitian	30
3.8 Rencana dan Jadwal Penelitian.....	31
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN.....	32
4.1 Analisis Data & Perhitungan.....	32
4.1.1 Hasil Pengamatan	32
4.1.2 Perhitungan	32
4.2 Pembahasan.....	35
4.2.1 Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah.....	35
4.2.2 Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas.....	45
4.2.3 Perbandingan Kapasitas Air Variasi Posisi dan Kecepatan Udara <i>Fan Inlet</i> serta Kecepatan Air <i>Water Block</i>	55
4.2.4 Perbandingan Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai	57
4.2.5 Perbandingan Kapasitas Air pada Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, dan Pantai.....	66
4.3 Hasil Penelitian	67
BAB V PENUTUP.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kondensasi film.....	8
Gambar 2 Kondensasi tetes.....	8
Gambar 3 <i>Thermoelectric</i>	10
Gambar 4 <i>Heat sink</i>	11
Gambar 5 <i>Heat pipe</i>	12
Gambar 6 <i>Water block</i>	13
Gambar 7 Skema perpindahan panas konduksi	14
Gambar 8 Skema perpindahan panas konveksi.....	15
Gambar 9 Lokasi Penelitian di Kampus Teknik Universitas Hasanuddin.....	19
Gambar 10 Lokasi Penelitian di BTN Nuki Dwi Karya	20
Gambar 11 Lokasi Penelitian di Tanjung Bayang	20
Gambar 12 Modul <i>Thermoelectric</i>	22
Gambar 13 <i>Heat sink-pipe</i> pada sisi panas TEC.....	22
Gambar 14 <i>Coil</i> tembaga	23
Gambar 15 Akrilik	23
Gambar 16 <i>Water block</i>	24
Gambar 17 Pompa.....	24
Gambar 18 Pipa plastik.....	24
Gambar 19 <i>Fan</i>	25
Gambar 20 Termal pasta.....	25
Gambar 21 <i>Data control</i>	26
Gambar 22 Termokopel	26
Gambar 23 Gelas ukur	26
Gambar 24 Multimeter Digital.....	27
Gambar 25 Anemometer Digital.....	27
Gambar 26 <i>Power supply</i>	27
Gambar 27 Adaptor.....	28
Gambar 28 Desain dan Rancangan Instalasi <i>Atmospheric Water Generator</i>	28
Gambar 29 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian.....	30
Gambar 30 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin (TC) Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	35
Gambar 31 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Panas (TH) Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	37
Gambar 32 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Heat Sink-Pipe</i> Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	38
Gambar 33 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Water Block</i> Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	39
Gambar 34 Sejarah Temperatur Rata-rata Air pada <i>Coil</i> Tembaga Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu.....	40
Gambar 35 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Coil</i> Tembaga Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	42
Gambar 36 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin (TC) Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu.....	43
Gambar 37 Sejarah Temperatur Rata-rata Lingkungan Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Bawah terhadap Waktu	44

Gambar 38 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin (TC) Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	45
Gambar 39 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Panas (TH) Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	46
Gambar 40 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Heat Sink-Pipe</i> Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	48
Gambar 41 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Water Block</i> Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	49
Gambar 42 Sejarah Temperatur Rata-rata Air pada Coil Tembaga Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	50
Gambar 43 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Coil</i> Tembaga Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	51
Gambar 44 Sejarah Temperatur Rata-rata Ruang Kondensasi Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	53
Gambar 45 Sejarah Temperatur Rata-rata Lingkungan Variasi Posisi <i>Fan Inlet</i> Atas terhadap Waktu	54
Gambar 46 Kapasitas Air Variasi <i>Fan Inlet</i> Bawah.....	55
Gambar 47 Kapasitas Air Variasi <i>Fan Inlet</i> Atas	56
Gambar 48 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Dingin (TC) Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	58
Gambar 49 Sejarah Temperatur Rata-rata Sisi Panas (TH) Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	59
Gambar 50 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Heat Sink-Pipe</i> Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	60
Gambar 51 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Water Block</i> Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	61
Gambar 52 Sejarah Temperatur Rata-rata Air pada <i>Coil</i> Tembaga Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu ..	62
Gambar 53 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Coil</i> Tembaga Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	63
Gambar 54 Sejarah Temperatur Rata-rata Ruang Kondensasi Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	64
Gambar 55 Sejarah Temperatur Rata-rata Lingkungan Variasi Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai terhadap Waktu	65
Gambar 56 Kapasitas Air pada Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, dan Pantai.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Rencana dan Jadwal Penelitian	31
Tabel 2 Spesifikasi Alat	32
Tabel 3 Tabel Hasil Penelitian Variasi <i>Fan Inlet</i> Posisi di Bawah	67
Tabel 4 Tabel Hasil Penelitian Variasi <i>Fan Inlet</i> Posisi di Atas.....	67
Tabel 5 Tabel Hasil Perbandingan Lingkungan Laboratorium, Pemukiman, & Pantai	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi <i>Atmospheric Water Generator</i>	74
Lampiran 2 Proses Perakitan Alat.....	75
Lampiran 3 Pembacaan data menggunakan Modul <i>National Instrument</i>	75
Lampiran 4 Kondensasi pada <i>coil</i> tembaga	76
Lampiran 5 Pengambilan Data di Lab	76
Lampiran 6 Pengambilan Data di Pemukiman.....	77
Lampiran 7 Pengambilan Data di Pantai.....	77

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
\dot{m}	Laju aliran massa
ρ	Densitas udara
A	Luas penampang
\bar{V}	Kecepatan udara masuk
Pjwb	Tekanan uap bola jenuh basah
Ps	Tekanan uap bola jenuh kering
Tdb	Temperatur bola kering
Twb	Temperatur bola basah
Pt	Tekanan udara atmosfer
ϕ	Kelembaban relatif
w	Rasio kelembaban
Tdp	Temperatur <i>dew point</i>
w_{mx}	Rasio kelembaban udara masuk
w_{ca}	Rasio kelembaban udara keluar
η	Efisiensi
β	<i>Contact Factor</i>
BPF	<i>Bypass Factor</i>
Q	Kalor
P	Daya

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, bimbingan, dan kelimpahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Air pada Water Block dan Udara pada Fan Inlet Atmospheric Water Generator Berbasis Thermoelectric Cooler**”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu bagian dari persyaratan yang perlu dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana 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 Bapak Gunawan Dolhady dan Ibu Anrelia Wananda, dan juga kepada saudara penulis Gryven Alverdo.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, terutama kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT, selaku dosen pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan serta masukan yang telah diberikan mulai dari penyusunan proposal sampai dengan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H Piarah, MSME, selaku pembimbing kedua skripsi saya yang telah memberikan kritik, saran, serta bimbingan demi kelancaran penyusunan skripsi ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen dan serta staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu penulis dalam pengurusan berkas.
4. Kedua partner penelitian penulis, A. Ardi Aman dan Aswin Ashar Abdullah yang berjasa besar dari perencanaan penelitian hingga penyusunan skripsi penulis, yang selalu setia dan memberikan bantuan kepada penulis.
5. Saudara(i) seperjuangan REACTOR 2018 yang selalu ada dalam suka maupun duka sejak awal perkuliahan, terkhusus kepada Rizki Habibie, Angga Asteriasti Aji, Gilliant Lilingan, Sitti Lainun H. Azzahrah, serta teman-teman lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
6. Teman-teman dan kakak-kakak seperjuangan Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang telah membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi masih memiliki banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca demi perbaikan dalam skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Gowa, 19 Januari 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang sangat berharga bagi kelangsungan hidup manusia. Setiap orang membutuhkan air untuk kebutuhan sehari-hari, untuk minum, memasak, mencuci, mandi, dan berbagai aktivitas harian lainnya. Kebutuhan akan air juga diperlukan di beragam sektor kehidupan, seperti sektor industri, agrikultur, kesehatan, perdagangan, dan lain sebagainya.

Masyarakat Indonesia memperoleh air dari berbagai sumber. Sumber air tersebut antara lain dari air perpipaan, air minum dalam kemasan, sumur bor/pompa, sumur, mata air, air hujan, sungai, dan lain sebagainya [1]. Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya air, dengan total ketersediaan air mencapai $690 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Angka ini berada di atas rata-rata standar dunia, yakni sebesar $175 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{tahun}$ [2]. Meskipun demikian, potensi sumber daya air yang memadai di Indonesia tidak menjamin bahwa akan terhindar dari krisis kelangkaan air bersih.

Indonesia adalah negara terpadat keempat di dunia dengan populasi sebanyak 278 juta orang [3]. Hingga saat ini, terdapat 38 juta orang yang tidak mendapatkan akses air bersih dan fasilitas sanitasi. [4]. Perkembangan populasi yang sangat pesat yang tidak diiringi dengan ketersediaan air bersih merupakan suatu masalah. Permasalahan mengenai krisis air di Indonesia juga diakibatkan oleh kurangnya pengelolaan, penggunaan air yang tidak efisien, dan distribusi air yang tidak merata. Berdasarkan konfigurasi distribusi air dan perubahan iklim global, kelangkaan air akan meningkat 20% dalam 25 tahun ke depan, dan Indonesia diprediksi dapat mengalami krisis ketersediaan air bersih di tahun 2025 [1].

Untuk mengatasi kelangkaan air di Indonesia, dibutuhkan sumber air bersih yang baru dan inovatif. Salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan adalah udara lingkungan (udara atmosfer). Atmosfer memiliki kandungan uap air dengan proporsi berkisar dari 0-4 % berdasarkan volume atmosfer [5]. Indonesia beriklim tropis lembab dengan temperatur udara relatif panas yang mencapai nilai maksimum rata-rata 27°C hingga 32°C dan temperatur udara minimum rata-rata

20°C hingga 23°C. Kelembaban udara rata-rata berkisar antara 75% hingga 80% [6]. Hal ini menunjukkan atmosfer Indonesia memiliki potensi yang besar sebagai sumber penghasil air alternatif.

Sumber air bersih dapat diperoleh dengan cara mengkondensasi uap air yang terkandung di atmosfer. Proses kondensasi uap air dapat dilakukan dengan menaikkan tekanan atau menurunkan temperaturnya [7]. Salah satu cara untuk mengkondensasikan uap air dari atmosfer adalah dengan menggunakan *thermoelectric cooler* [8].

Pada tahun 2017, Darwin Setiyawan membuat alat penghasil air tawar dari udara dengan menggunakan *thermoelectric cooler*. Darwin Setiyawan membuat alat yang menggunakan kombinasi *heat sink-pipe* pada sisi panas *thermoelectric cooler*, dan pipa tembaga yang dialiri air dengan bantuan *water block* sebagai sarana kondensasi di sisi dingin *thermoelectric cooler*. Alat yang dibuat oleh Darwin menghasilkan kapasitas air sebanyak 53 ml/jam, dan berfokus pada luas permukaan pipa tembaga untuk mendapat hasil yang efisien [9].

Prasetyo dan Wiranda (2021) melakukan pengujian potensi *thermoelectric cooler* sebagai sistem pendingin dengan menguji pemanfaatan *heat sink* dan *water block* sebagai sarana penyerapan dan pelepasan kalor di kedua sisi *thermoelectric cooler*, dengan menggunakan fluida kerja udara dan air. Dari hasil penelitian Prasetyo dan Wiranda, diketahui bahwa laju aliran massa fluida kerja memiliki pengaruh yang besar terhadap efisiensi alat penukar kalor. Penelitian tersebut menunjukkan *thermoelectric cooler* memiliki potensi sebagai sistem pendingin [10].

Berdasarkan kedua penelitian di atas, kami menggabungkan kedua ide penelitian tersebut untuk mengkaji pengaruh laju aliran massa air pada *waterblock* dan udara pada *fan inlet* terhadap kapasitas air yang dihasilkan oleh *Atmospheric Water Generator* berbasis *thermoelectric cooler*. Berdasarkan uraian di atas, *Atmospheric Water Generator* sebagai penghasil air dari atmosfer berbasis *thermoelectric cooler* adalah salah satu inovasi teknologi masa kini yang sangat berguna bagi masyarakat sebagai alternatif sumber air bersih.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Seberapa besar produksi air *Atmospheric Water Generator* berbasis *thermoelectric cooler*?
2. Bagaimana pengaruh laju aliran massa air pada *water block* pada *Atmospheric Water Generator* terhadap produksi air?
3. Bagaimana pengaruh posisi *fan inlet* dan laju aliran massa udara masuk *fan inlet* pada *Atmospheric Water Generator* terhadap produksi air?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk menghitung berapa besar produksi air pada *Atmospheric Water Generator* berbasis *thermoelectric cooler*.
2. Untuk menganalisa pengaruh laju aliran massa air pada *water block* pada *Atmospheric Water Generator* terhadap produksi air.
3. Untuk menganalisa pengaruh posisi *fan inlet* dan laju aliran massa udara masuk pada *fan inlet* pada *Atmospheric Water Generator* terhadap produksi air.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Jenis termoelektrik yang digunakan adalah TEC1-12706.
2. Dimensi alat yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam kegiatan ini, yaitu:

1. Memberikan suatu inovasi dalam bidang teknologi sebagai sumber air bersih 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 adalah lapisan udara yang mengelilingi planet atau benda langit lainnya. Atmosfer terbentuk dari campuran gas yang mencakup partikel cair dan padat yang tersuspensi di udara, seperti tetesan air, kristal es, dan partikel debu [11]. Nitrogen (78%), Oksigen (21%), dan Argon (0,9%) adalah gas utama atmosfer. Gas-gas lain seperti Karbon dioksida, Hidrogen, Neon, Helium, dll. membentuk bagian atmosfer yang tersisa [12].

Atmosfer membentang hingga sekitar 1600 km dari permukaan bumi. 97% dari total berat atmosfer dibatasi hingga ketinggian sekitar 30 km [12]. Atmosfer membantu dalam menghentikan sinar ultra violet yang berbahaya bagi kehidupan dan mempertahankan suhu yang sesuai yang diperlukan untuk kehidupan. Atmosfer dapat dibagi menjadi lima lapisan menurut keragaman suhu dan kepadatannya, yaitu:

2.1.1 Troposfer

Troposfer adalah lapisan atmosfer paling bawah. Ketinggian lapisan ini sekitar 18 km di khatulistiwa dan 8 km di kutub. Troposfer merupakan lapisan atmosfer yang paling penting karena segala macam perubahan cuaca terjadi di lapisan ini. Pada lapisan troposfer, udara bersifat dinamis. Oleh karena itu, lapisan ini disebut bola berubah atau troposfer [12]. Lapisan troposfer mengandung sekitar 80% massa atmosfer bumi [11].

2.1.2 Statosfer

Statosfer merupakan lapisan kedua terbawah dari atmosfer. Statosfer memiliki ketinggian 50 km dari permukaan bumi. Pada lapisan statosfer, suhu meningkat dengan meningkatnya ketinggian. Temperatur meningkat karena adanya gas ozon di bagian atas lapisan ini. Insiden terkait cuaca tidak terjadi di lapisan ini. Aliran udara di statosfer tidak se-turbulen pada troposfer. Oleh karena itu, lapisan ini ideal untuk penerbangan pesawat [12].

2.1.3 Mesosfer

Mesosfer adalah lapisan ketiga atmosfer. Lapisan mesosfer mencapai ketinggian 80 km dari permukaan bumi. Suhu menurun dengan meningkatnya ketinggian di mesosfer. Penurunan suhu pada lapisan mesosfer dapat mencapai -100°C . Lapisan mesosfer melindungi bumi dari jatuhnya benda luar angkasa [12].

2.1.4 Termosfer (Ionosfer)

Termosfer adalah lapisan keempat atmosfer. Lapisan termosfer mencapai ketinggian 400 km dari permukaan bumi. Suhu meningkat dengan meningkatnya ketinggian di lapisan ini [12]. Pada termosfer, atmosfer menjadi semakin terpengaruh oleh partikel berenergi tinggi dari Matahari. Partikel-partikel ini memecah molekul atmosfer, yang kemudian membentuk ion. Untuk alasan ini, termosfer juga ionosfer [11]. Ionosfer memantulkan kembali gelombang radio ke bumi dan memungkinkan sistem komunikasi.

2.1.5 Eksosfer

Eksosfer adalah lapisan terluar dari lapisan atmosfer dengan ketinggian lebih dari 400 km di atas permukaan bumi. Kepadatan udara sangat kurang di lapisan eksosfer karena kurangnya gaya gravitasi [12].

2.2 Kelembaban udara

Udara atmosfer merupakan campuran dua gas yaitu udara kering dan udara basah. Udara kering merupakan campuran dari beberapa gas, seperti Nitrogen, Oksigen, Argon, Karbon dioksida, dan beberapa gas lainnya. Udara basah berupa uap air (*water vapour*) [13]. Komposisi udara kering relatif konstan, tetapi jumlah uap air berubah-ubah, yang dipengaruhi oleh kondensasi, suhu, tekanan udara, pergerakan angin, dan penguapan dari lautan, danau, maupun sungai.

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang terdapat di udara. Semakin tinggi konsentrasi uap air di udara, semakin tinggi kelembaban udara, begitupun sebaliknya. Menurut Sorensen [5], terdapat dua jenis kelembaban udara, yaitu:

2.2.1 Kelembaban Mutlak/Absolut (*Absolute Humidity*)

Kelembaban mutlak adalah perbandingan massa uap air sebenarnya di udara dengan satuan massa udara, termasuk uap air. Kelembaban mutlak bervariasi dan berubah dari satu tempat ke tempat lain dan dengan perubahan waktu. Kelembaban mutlak dipengaruhi oleh perubahan suhu dan tekanan udara yang mempengaruhi kemampuan udara untuk menahan uap air. Kemampuan menahan uap air dari udara meningkat dengan meningkatnya suhu, begitupun sebaliknya.

2.2.2 Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif adalah perbandingan jumlah uap air yang sebenarnya di udara dengan keadaan jenuhnya pada suhu yang sama. Kelembaban relatif meningkat ketika suhu udara turun atau ketika lebih banyak udara lembab ditambahkan ke dalamnya, begitupun sebaliknya.

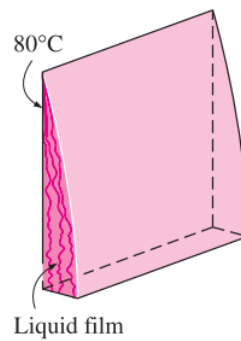
2.3 Kondensasi

Kondensasi merupakan proses perubahan wujud zat dari fase gas ke fase cair. Kondensasi dapat disebut juga dengan pengembunan. Salah satu contoh kondensasi dapat dilihat ketika tetesan air terbentuk di segelas air es. Tetesan air tersebut terbentuk dari uap air di udara. Saat uap air mendingin (penurunan temperatur), molekul di udara melambat. Ketika molekul melambat, molekul bergerak lebih dekat dan tertarik melalui ikatan hidrogen antara molekul. Akhirnya molekul-molekul ini berkumpul bersama untuk membentuk cairan [7].

Proses kondensasi dapat terjadi dengan cara menaikkan tekanan atau dengan cara menurunkan temperature suatu zat. Dua jenis kondensasi, yaitu:

2.3.1 Kondensasi film (*film wise condensation*)

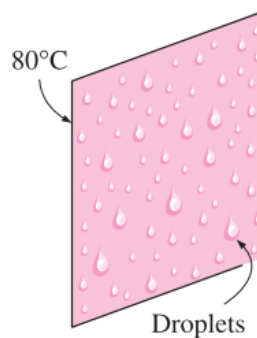
Pada kondensasi film, kondensat akan terbentuk di permukaan dan membentuk film cair yang mengalir ke bawah diakibatkan oleh gravitasi. Kondensasi film menghasilkan laju perpindahan panas yang rendah karena film kondensat menghambat perpindahan panas. Kondensasi jenis ini merupakan kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem [14].



Gambar 1 Kondensasi film [14]

2.3.2 Kondensasi tetes (*dropwise condensation*)

Pada kondensasi tetes, kondensat yang terbentuk di permukaan berupa tetesan yang tak terhitung jumlahnya dengan diameter yang bervariasi. Tetesan-tetesan tersebut akan mengalir ke bawah setelah mencapai ukuran tertentu. Laju perpindahan panas dari kondensasi tetes lebih dari 10 kali lebih besar dibandingkan dengan kondensasi film. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar area pelat terekspos oleh uap secara langsung; tidak menggunakan film, sehingga laju perpindahan panasnya lebih besar [14].



Gambar 2 Kondensasi tetes [14]

2.4 Laju aliran massa

Laju aliran massa merupakan jumlah massa yang mengalir melalui penampang perangkat aliran per satuan waktu. Laju aliran massa dilambangkan dengan \dot{m} . Fluida dapat mengalir masuk dan keluar melalui pipa atau saluran. Laju aliran massa fluida yang mengalir dalam pipa atau saluran sebanding dengan luas penampang A_c dari pipa atau saluran, densitas (ρ), dan kecepatan fluida (\mathcal{V}).

Aliran fluida melalui pipa atau saluran sering dapat diperkirakan satu dimensi. Artinya, sifat-sifat tersebut dapat diasumsikan bervariasi dalam satu arah saja (arah aliran). Akibatnya, semua properti diasumsikan seragam pada setiap penampang normal terhadap arah aliran, dan properti diasumsikan memiliki nilai rata-rata massal di seluruh penampang. Laju aliran massa fluida melalui pipa atau saluran tetap konstan selama aliran stabil. Namun, ini tidak berlaku untuk laju aliran volume, kecuali jika densitas fluida tetap konstan [14].

2.5 Thermoelectric Cooler

Termoelektrik merupakan suatu alat yang berbentuk modul, yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik, dengan menerapkan sumber panas di satu sisi dan yang lebih dingin di sisi lain, daya listrik yang dihasilkan dan sebaliknya. TEC adalah perangkat yang terdiri dari pasangan termoelektrik (kaki semikonduktor tipe n dan p) yang dihubungkan secara elektrik secara seri, paralel secara termal dan, diapit di antara dua pelat keramik [15].

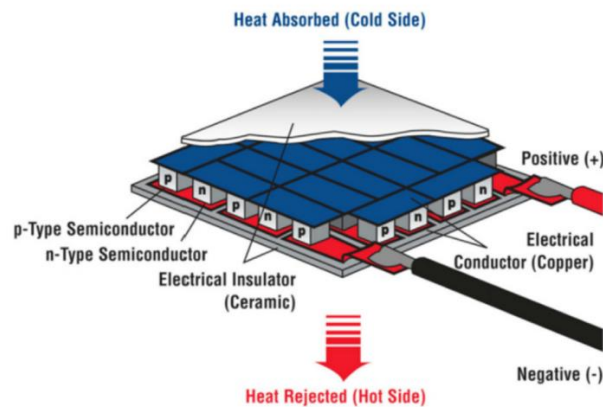
Termoelektrik pertama kali ditemukan oleh Thomas Johan Seebeck pada tahun 1822. Pengamatan Seebeck merupakan observasi interaksi elektromagnetik antara magnet itu sendiri dan arus yang diinduksi dalam rangkaian tertutup oleh perbedaan suhu yang diterapkan antara sambungan logam. Fenomena gaya gerak listrik yang dihasilkan dari gradien suhu diberi nama Efek Seebeck.

Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834, yang menemukan pelepasan dan penyerapan panas tambahan oleh persimpangan antara konduktor yang berbeda ketika arus dipaksa melintasi mereka, dimana dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda menghasilkan perbedaan temperatur [16].

Semikonduktor tipe-p memiliki jumlah elektron yang lebih sedikit dibandingkan dengan semikonduktor tipe-n. Ketika dialirkan arus listrik, elektron akan berpindah dari material yang kekurangan elektron (tipe-p) ke material yang kelebihan elektron (tipe-n). Elektron berpindah ke energi yang lebih tinggi menyerap energi panas (sisi dingin). Melanjutkan melalui kisi material, elektron mengalir dari material tipe-n ke material tipe-p melalui konektor listrik, berpindah

ke tingkat energi yang lebih rendah dan melepaskan energi sebagai panas ke heat sink (sisi panas).

Termoelektrik dapat digunakan untuk memanaskan dan mendinginkan, tergantung pada arah arus [17]. Bahan keramik di kedua sisi modul termoelektrik menambah kekakuan dan insulasi listrik yang diperlukan. Satu semikonduktor tipe-p dan satu semikonduktor tipe-n membentuk termokopel [18].



Gambar 3 *Thermoelectric* [19]

2.6 Efek Termoelektrik

2.6.1 Efek Seeback

Efek Seeback merupakan fenomena ketika dua ujung konduktor dengan suhu yang berbeda disambungkan. Hal tersebut menyebabkan perbedaan beda potensial di kedua ujungnya, dimana elektron pada *junction* panas dengan kecepatan termal yang lebih tinggi berdifusi ke *junction* dingin. Arus difusi elektron menghasilkan medan magnet di sirkuit yang menghasilkan gaya gerak listrik (ggl). Efek Seeback mengubah energi panas menjadi energi listrik.

2.6.2 Efek Peltier

Efek Peltier merupakan kebalikan dari Efek Seeback. Efek Peltier adalah produksi atau penyerapan panas di *junction* antara dua konduktor yang berbeda ketika muatan listrik mengalir melaluinya. Merupakan 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. Perpindahan panas sebanding dengan arus yang mengalir. Efek Peltier mengubah energi listrik menjadi perubahan suhu.

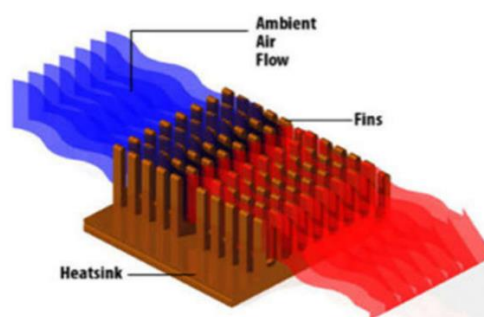
2.6.3 Efek Thomson

Efek Thomson merupakan fenomena evolusi atau penyerapan panas bersama dengan panjang konduktor pada arus yang melewatinya ketika kedua ujungnya disimpan pada suhu yang berbeda.

2.7 Heat sink

Heat sink adalah alat penukar kalor, terbuat dari logam konduktif, yang digunakan untuk menyerap panas dari bagian bersuhu tinggi dan membuangnya ke sekitarnya/lingkungan. Hal tersebut dilakukan dengan meningkatkan area permukaan kerja perangkat dan jumlah fluida suhu rendah yang bergerak melintasi area permukaan yang diperbesar. Tembaga dan aluminium adalah logam umum yang digunakan dalam pembuatan *heat sink*. Sebagian besar *heat sink* dirancang dengan sirip yang melekat pada dasar *heat sink* untuk meningkatkan area pembuangan panas dan meningkatkan laju perpindahan panas. [20].

Heat sink menggunakan prinsip hukum konduksi panas Fourier, yang menyatakan bahwa jika ada perbedaan suhu dalam suatu benda, maka panas akan berpindah dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah. Perpindahan panas tersebut dapat dicapai dengan tiga cara berbeda, yaitu konveksi, radiasi, dan konduksi [21].



Gambar 4 *Heat sink* [21]

Beberapa faktor yang mempengaruhi performa *heat sink* meliputi kecepatan fluida pendingin dan konduktivitas termal material [21]. Konduktivitas termal

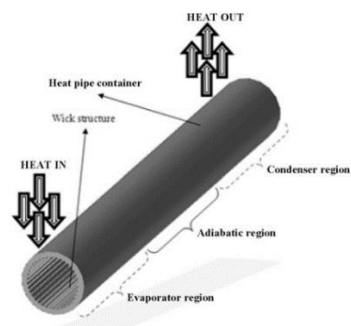
adalah kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Semakin tinggi konduktivitas material, panas yang mengalir pada material juga semakin besar.

2.8 Heat pipe

Heat pipe adalah perangkat yang dapat mengangkut panas dalam jumlah besar secara efisien melalui jarak yang jauh pada suhu tetap tanpa bagian yang bergerak. *Heat pipe* merupakan alat perpindahan panas aliran dua fase dimana proses dari cair menjadi uap dan sebaliknya bersirkulasi antara evaporator dan kondensor dengan konduktivitas termal efektif yang tinggi [22].

Heat pipe dapat digunakan baik sebagai sarana untuk mengangkut panas dari satu lokasi ke lokasi lain, atau sebagai sarana untuk distribusi suhu secara isothermal [23]. *Heat pipe* digunakan dalam berbagai aplikasi seperti perangkat energi surya dan bahan limbah, pendinginan perangkat elektronik, aplikasi AC, dan manajemen termal bilah turbin gas.

Heat pipe terdiri atas tiga bagian: bagian evaporator di salah satu ujungnya, di mana panas diserap dan cairan diuapkan; bagian kondensor di ujung yang lain, di mana uap mengembun dan panas dibuang; dan bagian adiabatik di antaranya, di mana fase uap dan fase cair dari aliran fluida dalam arah yang berlawanan melalui inti dan sumbu masing-masing, untuk menyelesaikan siklus tanpa perpindahan panas yang signifikan antara fluida dan media sekitarnya [24]. Kemampuan perpindahan panas pipa panas ditentukan oleh material pipa, diameter, jenis fluida, struktur sumbu, dan orientasinya.



Gambar 5 *Heat pipe* [24]

2.9 Water block

Water block adalah alat penukar panas *watercooling* yang mirip dengan *heat sink*, yang berfungsi untuk mentransfer panas dari sumber ke fluida yang mengalir melalui *water block*. *Water block* terdiri dari dua bagian utama; bagian dasar (*base*), yang merupakan area yang membuat kontak dengan perangkat yang didinginkan dan biasanya dibuat dari logam dengan konduktivitas termal tinggi seperti aluminium atau tembaga. Bagian kedua, bagian atas (*top*), memastikan air tertampung dengan aman di dalam *waterblock* dan memiliki sambungan yang memungkinkan selang untuk menghubungkannya dengan loop pendingin air.

Menurut Darwin [9], *water block* memiliki peran yang penting dalam pendinginan pipa tembaga sebagai penangkap udara lembab, dimana *water block* menghantarkan kalor dari sisi dingin TEC menuju fluida yang mengalir di dalam pipa tembaga. Apabila *water block* berfungsi dengan optimal, maka temperatur pada pipa tembaga pun akan semakin rendah, dan kapasitas air yang didapat semakin banyak.



Gambar 6 *Water block* [25]

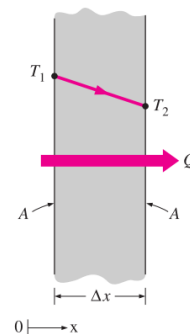
2.10 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara untuk memprediksi perpindahan energi panas yang dapat terjadi antara benda-benda materi sebagai akibat dari perbedaan suhu. Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendingin termoelektrik adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi mulai dari *waterblock*-pipa tembaga sisi dingin peltier, dan *heat pipe-heat sink* pada sisi panas peltier. Sedangkan konveksi terjadi pada udara dalam ruangan, lingkungan sekitar alat uji, dan udara disekitar sirip-sirip *heat sink*. Perpindahan panas pada sistem pendingin termoelektrik, yaitu:

2.10.1 Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium (padat) oleh molekul yang berkontak langsung yang tidak bergerak. Gradien temperatur menyebabkan distribusi energi panas dari benda atau medium yang bertemperatur tinggi ke yang bertemperatur rendah [14].

Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah. Laju konduksi melalui suatu medium tergantung pada geometri medium, ketebalannya, dan bahan mediumnya, serta perbedaan temperatur yang melintasi medium.



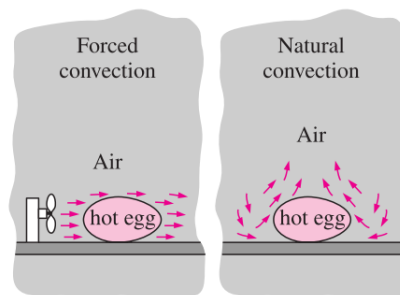
Gambar 7 Skema perpindahan panas konduksi [14]

2.10.2 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan energi berupa panas yang terjadi karena terdapat aliran fluida, dimana terdapat pergerakan molekul. Dengan demikian, konveksi hanya berlaku untuk perpindahan panas di antara fluida atau antara padatan dan fluida, tidak berlaku pada perpindahan antar padatan.

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*) [14].



Gambar 8 Skema perpindahan panas konveksi [14]

2.11 Efisiensi

Efisiensi 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 model:

1) Laju Aliran Massa Udara Masuk

Laju Aliran Massa udara masuk adalah suatu ukuran besaran massa udara masuk kedalam alat AWG per satuan waktu. Persamaan laju aliran udara masuk yang digunakan [14] yaitu:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V \text{ kg/s} \quad (1)$$

Keterangan:

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

ρ = Densitas Udara (kg/m^3)

A = Luas saluran masuk (m^2)

\bar{V} = Kecepatan udara masuk (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. Persamaan yang digunakan [26] yaitu:

$$P_s = P_{jwb} - 0,5 (T_{db} - T_{wb}) \frac{P}{755} \quad (2)$$

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

$$\phi = \frac{P_{jwb}}{P_s} \quad (3)$$

Keterangan:

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

P_s = Tekanan uap jenuh (mmHg / kPa)

ϕ = Kelembaban Relatif (%)

$$w = 0,622 \frac{P_s}{P_t - P_s} \quad (4)$$

Keterangan:

P_s = Tekanan uap jenuh (mmHg / kPa)

P_t = Tekanan udara (mmHg / kPa)

w = Rasio kelembaban

3) Dew Point

Dew Point merupakan suatu ukuran temperatur minimal dimana udara dapat berubah fasa dari gas menjadi cair atau terkondensasi. Persamaan yang digunakan [9] yaitu:

$$\gamma(R, TH) = \ln \left(\frac{Rh}{100} \right) + \frac{b \cdot T}{c - T} \quad (5)$$

Keterangan:

RH = Kelembaban Relatif (%)

b = Koefisien = 17,67

c = Koefisien = 243

T = Temperatur bola kering (°C)

$$Tdp = \frac{c \cdot \gamma(R,TH)}{b - \gamma(R,TH)} \quad (6)$$

Keterangan:

Tdp = Temperatur *Dew Point* (°C)

4) *Contact Factor & 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:

$$\beta = (T_{db,in} - T_{db,out}) / (T_{db,in} - T_{CT}) \quad (7)$$

Keterangan:

β = *Contact Factor*

$T_{db,in}$ = Temperatur udara masuk (°C)

$T_{db,out}$ = Temperatur udara keluar (°C)

T_{CT} = Temperatur *coil tembaga* (°C)

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

Keterangan:

β = *Contact Factor*

BPF = *Bypass Factor*

5) Efisiensi

Efisiensi AWG diperoleh dengan membandingkan air seharusnya dengan air sebenarnya. Air seharusnya merupakan suatu ukuran jumlah air yang diharapkan diperoleh dengan menggunakan perhitungan dan air sebenarnya merupakan air yang diperoleh selama proses pengambilan data. Persamaan yang digunakan [9] yaitu:

$$\text{Air Seharusnya} = \dot{m} \cdot (w_{in} - w_{out}) \quad (7)$$

Keterangan:

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

w_{mx} = Rasio kelembaban udara masuk

w_{in} = Rasio kelembaban udara keluar

$$\eta = \frac{\text{Air praktik}}{\text{Air teori}} 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

Air praktik = air yang didapatkan selama pengambilan data (ml)

Air teori = air yang didapatkan secara perhitungan (ml)

η = Efisiensi (%)

6) *Coefficient of Performance*

$$\text{COP} = \frac{Q}{P} \quad (9)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan kalor

P = Daya

COP = *Coefficient Of Performance*