

SKRIPSI

**KINERJA REFRIGERAN HIDROKARBON R-134
PADA *ATMOSPHERIC WATER GENERATOR***

Disusun dan diajukan oleh:

**JIMMY WAHYUDI
D021 19 1044**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KINERJA REFRIGERAN HIDROKARBON R-134 PADA *ATMOSPHERIC WATER GENERATOR*

Disusun dan diajukan oleh

Jimmy Wahyudi
D021 19 1044

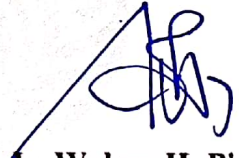
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 Desember 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. 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 : Jimmy Wahyudi

NIM : D021191044

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

KINERJA REFRIGERAN HIDROKARBON R-134 PADA *ATMOSPHERIC WATER GENERATOR*

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, 12 Desember 2023

Yang Menyatakan



Jimmy Wahyudi

ABSTRAK

JIMMY WAHYUDI. *KINERJA REFRIGERAN HIDROKARBON R134 PADA ATMOSPHERIC WATER GENERATOR* (dibimbing oleh Ibu Zuryati Djafar dan Bapak Wahyu H. Piarah)

Air merupakan kebutuhan dasar bagi seluruh makhluk hidup namun dengan meningkatnya kondisi kehidupan saat ini, ketersediaan air bersih semakin sulit untuk didapatkan. Di Indonesia saja, hanya sekitar 39% dari 270 juta penduduk Indonesia yang dapat mengakses air bersih yang disediakan oleh negara. Salah satu alternatif dalam mengatasi masalah ini adalah dengan mengkondensasikan uap air yang ada di atmosfer menggunakan teknologi *Atmospheric Water Generator* (AWG). Alat ini menggunakan prinsip siklus kompresi uap dengan refrigeran sebagai fluida kerjanya. Adapun refrigeran yang digunakan adalah HCR-134 yang mana refrigeran ini tidak mengandung unsur klor sehingga dalam penggunaannya tidak akan menyebabkan pemanasan global. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari refrigeran HCR-134 pada AWG dan untuk menganalisa efektifitas dari refrigeran HCR-134 dalam memproduksi air bersih. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan variabel bebas yaitu masing-masing kondensor dan evaporator lengkung 3.5 dan 2.5, variabel terikat berupa temperatur *inlet* dan *outlet* refrigeran pada setiap komponen refrigerasi, kecepatan udara serta laju aliran udara pada ruang pendingin serta variabel tetap berupa panjang pipa kapiler dengan diameter 0.028 inch dan panjang 160 mm, daya kompresor sebesar 1/8 PK, kecepatan kipas kondensor sebesar 3.2 m/s (12 V) dan ukuran alat *atmospheric water generator* yaitu 600 mm * 420 mm * 538 mm. Hasil dari penelitian ini mengindikasikan bahwa kondensor dan evaporator dengan tingkat efisiensi terbaik didapatkan oleh variasi kondensor lengkung 3.5 dan evaporator lengkung 2.5 dengan tingkat efisiensi senilai 46.74% pada tekanan 16 Psi serta kecepatan kipas 1.6 m/s (6 Volt) serta volume air terbanyak dihasilkan oleh variasi kondensor lengkung 3.5 dan evaporator lengkung 2.5 senilai 48.33 mL/jam di tekanan 16 Psi dan kecepatan kipas 1.6 m/s serta laju aliran massa ialah 0.00160 pada kelembaban 57.69%.

Kata Kunci: Air, HCR-134, *Atmospheric Water Generator*, Kondensasi, Siklus kompresi uap

ABSTRACT

JIMMY WAHYUDI. THE PERFORMANCE OF HYDROCARBON REFRIGERANT R-134 IN ATMOSPHERIC WATER GENERATOR (supervised by Zuryati Djafar and Wahyu H. Piarah)

*Water is one of the basic needs for living beings, but with the increasing conditions of life today, obtaining clean water is becoming difficult. In Indonesia, only around 39% of 270 millions civilians who can access the clean water provided by the government. One of the alternative to solve this problem is by condense water vapor in the atmosphere using Atmospheric water generator technology. It's use the principle of vapor compression cycle with refrigerant as its work fluids. Refrigerant used is HCR-134, which does not contain chlorine, thus its use does not contribute to global warming. The purpose of this research are to know the characteristic of HCR-134 in AWG (Atmospheric Water Generator) and to analyze the efectivity of HCR-134 in producing clean water. The study employs an experimental method with independent variables, namely, the condenser and evaporator curvature of 2.5 and 3.5, respectively. The dependent variables include the refrigerant's inlet and outlet temperatures at each refrigeration component, airspeed, and airflow rate in the cooling chamber. The fixed variables consist of the capillary tube length with a diameter of 0.028 inches and a length of 160 mm, a compressor power of 1/8 HP, a condenser fan speed of 3.2 m/s (12 V), and the dimensions of the atmospheric water generator at 600 mm * 420 mm * 538 mm. The results of this research indicate that the condenser and evaporator with the best efficiency are obtained from the curvature variations of 3.5 and 2.5, respectively. The efficiency rate is 46.74% at a pressure of 16 Psi, with a fan speed of 1.6 m/s (6 Volt). Additionally, the highest water volume is produced by the curvature variations of 3.5 for the condenser and 2.5 for the evaporator, amounting to 48.33 mL/h at a pressure of 16 Psi and a fan speed of 1.6 m/s. The mass flow rate is 0.00160 at a humidity level of 57.69%.*

Keywords: Water, HCR-134, Atmospheric Water Generator, condensation, vapor compression cycle

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR	1
BAB I PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Refrigeran	6
2.2 Refrigeran Hidrokarbon	6
2.3 Perpindahan Panas	7
2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi	7
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi	7
2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi	8
2.4 Kondensasi	8
2.5 Kelembaban Udara	9
2.6 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	9
2.7 Perhitungan Karakteristik Sistem Kompresi Uap	11
2.8 Efektivitas Atmospheric Water Generator	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
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 Pengujian Karakteristik Alat Pendinginan	25
3.6 Prosedur Penelitian	27
3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	29
3.8 Jadwal Penelitian	30
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Analisis Data dan Perhitungan	31
4.1.1 Hasil Pengamatan	31
4.1.2 Perhitungan	31
4.2 Analisis Data	36
4.2.1 Perbandingan sejarah temperatur pada setiap variasi kondensor dan evaporator masing-masing U2.5 dan U3.5	36

4.2.2 Perbandingan kapasitas air pada variasi tekanan 16 Psi dengan variasi kecepatan kipas 1.6 m/s (6 V), 2.1 m/s (8V), dan 2.7 m/s (12V) pada setiap dua variasi kondensor dan dua variasi evaporator.....	43
4.2.3 Perbandingan nilai <i>coefficient of performance actual</i> dan ideal (COP_{aktual} dan COP_{ideal}) serta efisiensi siklus kompresi uap dan AWG pada setiap variasi kondensor dan evaporator.....	45
4.2.4 Perbandingan variasi yang optimum dalam menghasilkan air pada laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	46
4.2.5 Perbandingan air yang dihasilkan dan tingkat kelembaban pada variasi laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	54
4.2.6 Perbandingan nilai <i>coefficient of performance actual</i> dan ideal (COP_{aktual} dan COP_{ideal}) serta efisiensi siklus kompresi uap dan efisiensi AWG pada setiap variasi kondensor dan evaporator.	55
4.3 Hasil Penelitian.....	57
4.3.1 Hasil pengambilan dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5.....	57
4.3.2 Hasil pengambilan dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5.....	60
4.3.3 Hasil pengambilan dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5.....	64
4.3.4 Hasil pengambilan dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5.....	67
4.3.5 Hasil perbandingan lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung dan pelataran gedung.....	71
BAB V.....	74
PENUTUP.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema perpindahan panas konduksi.....	7
Gambar 2 Skema perpindahan panas konveksi	8
Gambar 3 Skema perpindahan panas radiasi.....	8
Gambar 4 Skema rangkaian siklus refrigerasi kompresi uap	10
Gambar 5 Lokasi penelitian di kampus Teknik Universitas Hasanuddin	16
Gambar 6 Kompresor.....	18
Gambar 7 Balok Kayu.....	18
Gambar 8 Tripleks	18
Gambar 9 Pipa tembaga 1/4 inch; tebal 0.635 mm.....	19
Gambar 10 Pipa tembaga 3/8 inch; tebal 0.8 mm.....	19
Gambar 11 Pipa tembaga 0.028 inch; tebal 0.007 mm; P"1600 mm.....	19
Gambar 12 Plat aluminium	19
Gambar 13 <i>Filter</i> 1×1; Ø"3/4 inch; P"12 cm	20
Gambar 14 <i>Fan</i>	20
Gambar 15 <i>Chassis</i> dan modul <i>Nasional Instrumental</i>	20
Gambar 16 Termokopel	21
Gambar 17 <i>Toggle swicth on/off</i>	21
Gambar 18 Adaptor	21
Gambar 19 <i>Step down DC</i>	22
Gambar 20 <i>Manifold gauge</i>	22
Gambar 21 Manometer / <i>Pressure Gauge</i>	22
Gambar 22 Gelas Ukur	23
Gambar 23 Multimeter Digital	23
Gambar 24 Anemometer Digital	23
Gambar 25 Refrigeran HCR-134.....	24
Gambar 26 <i>Can Tap Valve</i>	24
Gambar 27 Kondensor 2.5 (K2.5)	25
Gambar 28 Kondensor 3.5 (K3.5)	25
Gambar 29 Evaporator 2.5 (E2.5).....	25
Gambar 30 Evaporator 3.5 (E3.5).....	25
Gambar 31 Desain dan rancangan instalasi <i>atmospheric water generator</i>	26
Gambar 32 Skema dan titik pengukuran pengambilan data temperatur pada AWG.....	26
Gambar 33 <i>Flowchart</i> penelitian.....	29
Gambar 34 Sejarah Temperatur Rata-rata <i>Outlet</i> Ruang Pendingin ($T_{Out - RP}$)	36
Gambar 35 Sejarah temperatur rata-rata <i>outlet</i> kondensor ($T_{Out - Kondensor}$)	37
Gambar 36 Sejarah temperatur rata-rata refrigerant di <i>inlet</i> kompresor ($T_{In - Komp}$) dan <i>outlet</i> kompresor ($T_{Out - Komp}$).....	38
Gambar 37 Sejarah temperatur rata-rata refrigeran di <i>inlet</i> kondensor ($T_{In - Kond}$) dan <i>outlet</i> kondensor ($T_{Out - Kond}$)	39
Gambar 38 Sejarah temperatur rata-rata refrigeran di <i>inlet</i> pipa kapiler ($T_{In - PK}$) dan <i>outlet</i> pipa kapiler ($T_{Out - PK}$)	40
Gambar 39 Sejarah temperatur rata-rata refrigeran di <i>inlet</i> evaporato($T_{In - Evap}$) dan <i>outlet</i> evaporator ($T_{Out - Evap}$)	41
Gambar 40 Sejarah temperatur rata-rata di ruang pendingin	42

Gambar 41 Perbandingan kapasitas air pada tekanan 16 Psi dengan variasi kecepatan kipas 1.6 m/s, 2.1 m/s, 3.1 m/s pada setiap dua variasi kondensor dan dua variasi evaporator.	43
Gambar 42 Perbandingan nilai COP_{aktual} dan COP_{ideal} serta efisiensi siklus kompresi uap dan AWG pada setiap variasi kondensor dan evaporator.....	45
Gambar 43 Sejarah temperatur udara <i>outlet</i> ruang pendingin pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	47
Gambar 44 Sejarah temperatur udara <i>outlet</i> kondensor pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	48
Gambar 45 Sejarah temperatur refrigeran <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> kompresor pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	49
Gambar 46 Sejarah temperatur refrigeran <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> kondensor pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	50
Gambar 47 Sejarah temperatur refrigeran <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> pipa kapiler pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	51
Gambar 48 Sejarah temperatur refrigeran <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> evaporator pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	52
Gambar 49 Sejarah temperatur rata-rata ruang pendingin pada variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	53
Gambar 50 Perbandingan air yang dihasilkan oleh variasi lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung.....	54
Gambar 51 Perbandingan nilai COP_{aktual} dan COP_{ideal} serta efisiensi siklus kompresi uap dan AWG pada setiap variasi kondensor dan evaporator.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Jadwal penelitian.....	30
Tabel 2	Spesifikasi alat AWG	31
Tabel 3	Hasil pengambilan temperatur dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5	57
Tabel 4	Hasil pengambilan siklus kompresi uap dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5.....	57
Tabel 5	Hasil pengambilan kondisi udara masuk ruang pendingin dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5.....	58
Tabel 6	Hasil pengambilan kondisi udara keluar ruang pendingin dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5.....	59
Tabel 7	Hasil pengambilan kondisi udara keluar kondensor dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5.....	59
Tabel 8	Hasil pengambilan efisiensi dan air yang diproduksi dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E2.5	60
Tabel 9	Hasil pengambilan temperatur dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5	60
Tabel 10	Hasil pengambilan siklus kompresi uap dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5.....	61
Tabel 11	Hasil pengambilan kondisi udara masuk ruang pendingin dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5	62
Tabel 12	Hasil pengambilan kondisi udara keluar ruang pendingin dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5	62
Tabel 13	Hasil pengambilan kondisi udara keluar kondensor dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5.....	63
Tabel 14	Hasil pengambilan efisiensi dan air yang diproduksi dengan variasi kondensor K2.5 dan evaporator E3.5.....	63
Tabel 15	Hasil pengambilan temperatur dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5.....	64
Tabel 16	Hasil pengambilan siklus kompresi uap dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5.....	64
Tabel 17	Hasil pengambilan kondisi udara masuk ruang pendingin dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5	65
Tabel 18	Hasil pengambilan kondisi udara keluar ruang pendingin dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5	66
Tabel 19	Hasil pengambilan kondisi udara keluar kondensor dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5.....	66
Tabel 20	Hasil pengambilan efisiensi dan air yang diproduksi dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E3.5.....	67
Tabel 21	Hasil pengambilan temperatur dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5.....	67
Tabel 22	Hasil pengambilan siklus kompresi uap dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5.....	68
Tabel 23	Hasil pengambilan kondisi udara masuk ruang pendingin dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5	69

Tabel 24	Hasil pengambilan kondisi udara keluar ruang pendingin dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5	69
Tabel 25	Hasil pengambilan kondisi udara keluar kondensor dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5.....	70
Tabel 26	Hasil pengambilan efisiensi dan air yang diproduksi dengan variasi kondensor K3.5 dan evaporator E2.5.....	70
Tabel 27	Hasil perbandingan temperatur pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	71
Tabel 28	Hasil perbandingan siklus kompresi uap pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	71
Tabel 29	Hasil perbandingan kondisi udara masuk ruang pendingin pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	72
Tabel 30	Hasil perbandingan kondisi udara keluar ruang pendingin pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	72
Tabel 31	Hasil perbandingan kondisi udara keluar kondensor pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	72
Tabel 32	Hasil perbandingan efisiensi dan air yang diproduksi pada lingkungan laboratorium, <i>rooftop</i> gedung, dan pelataran gedung	73

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$\dot{m}$	Laju aliran massa
h	Entalpi refrigeran
W	Kerja Kompresor
ρ	Densitas udara
A	Luas penampang
$\bar{V}$	Kecepatan udara masuk
T_{db}	Temperatur bola kering
T_{wb}	Temperatur bola basah
P_{jwb}	Tekanan uap bola jenuh basah
P_s	Tekanan uap bola jenuh kering
P_t	Tekanan udara atmosfer
ϕ	Kelembaban relative
ω	Rasio kelembaban
ω_{mx}	Rasio kelembaban udara masuk
ω_{ca}	Rasio kelembaban udara keluar
η	Efisiensi
P	Daya
Q	Kalor

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Dimensi alat <i>Atmospheric Water Generator</i>	78
Lampiran B. Gambar Diagram Kapasitas Air	79
Lampiran C. Dokumentasi	81

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas berkat , rahmat, ridho serta kasih sayang-Nya lah penulis mampu untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinerja Refrigeran Hidrokarbon R-134 pada *Atmospheric Water Generator*”. Penelitian ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program studi Strata 1 demi meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada junjungan kita semua baginda Rasulullah Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi Wa Sallam, beliau lah yang telah membawa kita semua dari jaman kegelapan menuju jaman yang terang benderang.

Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua yaitu Bapak Hendra dan Ibu Indrawati yang selalu mendukung, mendoakan dan membantu penulis baik dari segi moral maupun secara materil. Kepada kedua saudari saya yaitu Angelia dan Olifia yang juga turut memberikan nasihat-nasihat selama proses pengerjaan skripsi ini.

Tidak hanya itu saja, penulis menyadari bahwa masih ada banyak pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini, yakni:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Dzuryati Djafar, MT., sebagai dosen pembimbing skripsi sekaligus dosen penasehat akademik yang telah memberikan bimbingan, mengarahkan, serta kritik dan saran selama penyusunan hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME., sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, mengarahkan, serta kritik dan saran selama penyusunan hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr-Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT., dan Bapak Asriadi Sakka, ST., MT., selaku dosen penguji pertama dan dosen penguji kedua atas segala bentuk koreksi dan masukan yang diberikan kepada penulis.
4. Kepada seluruh dosen yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama berkuliah di Universitas Hasanuddin

5. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam mengurus segala hal administrasi.
6. Kedua partner penelitian yaitu Jailani Ahmad T. dan Sofia Nadila sebagai teman kerja sama yang saling mendukung dan memberikan masukan mulai dari perencanaan hingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Teman – teman dan kanda senior seperjuangan di Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas, Kak Irham, Arief Fikri, Taufik Rahmad, Asdiangga dan Ilham Hamdi yang telah membantu dan memberikan saran masukan selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
8. Saudara(i) seperjuangan BRUZHLEZZ 19 yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
9. Saudari Angel Aurora yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu kritikan dan saran yang bersifat membangun akan sangat membantu penulis dalam perbaikan skripsi ini. Penulis juga berharap agar kiranya skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca yang membutuhkan informasi dalam skripsi ini.

Gowa, 12 Desember 2023

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan mendasar bagi seluruh makhluk hidup. Air dapat diperoleh dari berbagai sumber yang bergantung pada kondisi dan wilayah setempat. Dengan meningkatnya kondisi kehidupan saat ini, ketersediaan air bersih semakin sulit untuk didapatkan. Di Indonesia saja, hanya sekitar 39% dari 270 juta penduduk Indonesia yang dapat mengakses air bersih yang disediakan negara. Tidak hanya itu saja, daerah pedesaan memiliki kondisi yang lebih buruk, dimana hanya 5 % penduduk yang menggunakan sistem perpipaan, 48 % menggunakan sistem non - perpipaan dan 47 % menggunakan sumber air yang tidak terlindungi [1].

Menurut Kodoati dan Sjarief (2010) air merupakan sumber daya alam yang paling unik jika dibandingkan dengan sumber daya lain karena sifatnya yang terbarukan dan dinamis. Artinya sumber utama air yang berupa hujan akan selalu datang pada musimnya sesuai dengan waktu. Namun, pada kondisi tertentu air bisa bersifat tak terbarukan misal pada kondisi geologi tertentu dimana proses perjalanan air tanah memerlukan waktu ribuan tahun, sehingga bila pengambilan air tanah dilakukan secara berlebihan, air akan habis [2].

Berbagai macam upaya dan penerapan teknologi telah dilakukan dalam mengatasi permasalahan air bersih. Seperti *Rain Harvesting*, Destilasi, Osmosa Balik dan masih banyak lagi. Namun, dalam hal ini terdapat pula salah satu proses yang mampu menghasilkan air bersih dengan memanfaatkan teknologi yakni, proses pengkondensasian uap air.

Cara ini dapat dilakukan di negara yang memiliki kelembaban udara yang tinggi seperti halnya di Indonesia. Di Indonesia, kelembaban tertinggi dicapai pada musim hujan dan terendah pada musim kemarau. Kelembaban adalah banyaknya uap air yang ada di udara. Keadaan kelembaban di permukaan bumi berbeda-beda. Pada umumnya, kelembaban yang tinggi ada di khatulistiwa sedangkan yang terendah ada pada lintang 40°. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis dengan karakteristik kelembaban udara yang tinggi (mencapai 80%) dan suhu relatif tinggi (mencapai 35° C) [3].

Dalam proses pengkondensasian ini, teknologi yang akan digunakan adalah *Atmospheric Water Generator*, dimana alat ini mampu mengubah kelembaban atmosfer secara langsung menjadi uap air. Perangkat ini menggunakan prinsip laten

panas untuk mengubah molekul uap air yang ada di atmosfer menjadi tetesan air. Alat ini menggunakan sistem refrigerasi dengan memompa refrigeran dengan bantuan kompresor [4].

Refrigeran merupakan media pemindah kalor pada sistem refrigerasi, dimana refrigeran menyerap kalor pada tekanan rendah melalui evaporator dan melepaskan panas pada tekanan tinggi melalui kondensor [5]. Refrigeran terdiri dari beberapa jenis, mulai dari jenis CFC (*Chloro Fluoro Carbon*), HFC (*Hidrofluorocarbon*), HCFC (*Hydrochloro-fluorocarbon*) dan masih banyak lagi.

Jenis refrigeran yang akan digunakan adalah jenis refrigeran HCR-134 (*Hydrocarbon*). Refrigeran jenis ini tidak mengandung CFC atau non CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) sehingga refrigeran jenis ini ramah lingkungan. Seperti yang kita ketahui, penggunaan refrigeran yang mengandung CFC secara berlebihan akan berdampak pada pemanasan global yang nantinya akan merusak lapisan ozon permukaan bumi, Sehingga pada pengujian kali ini akan menggunakan refrigeran HCR-134 yang nantinya akan diuji pada alat *Atmospheric Water Generator*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat sebuah masalah yang dapat dirumuskan yakni :

- a. Bagaimana karakteristik (COP, temperatur kondensor, temperatur evaporator, dan kerja kompresor alat pendingin) dengan refrigeran Hidrokarbon (R-134) pada alat *Atmospheric Water Generator* ?
- b. Bagaimana efektifitas (laju aliran massa, rasio kelembaban dan tekanan) refrigeran Hidrokarbon (R-134) pada alat *Atmospheric Water Generator* dalam menghasilkan air ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu :

- a. Mengetahui karakteristik (COP, temperatur kondensor, temperatur evaporator, dan kerja kompresor) dengan refrigeran Hidrokarbon (R-134) pada alat *Atmospheric Water Generator*.
- b. Mengetahui bagaimana efektifitas (laju aliran massa, rasio kelembaban dan tekanan) refrigeran Hidrokarbon (R-134) pada *Atmospheric Water Generator* dalam menghasilkan air.

1.4 Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Jenis Refrigeran yang digunakan adalah HCR-134.
- b. Dimensi alat : 600 mm * 420 mm * 538 mm.
- c. Ukuran pipa kapiler yang digunakan adalah 0.028 inci dengan panjang 160 cm.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah :

- a. Sebagai bentuk inovasi dalam upaya mengurangi kerusakan pada lapisan ozon
- b. Sebagai sumber daya air bersih yang baru dalam bidang teknologi bagi masyarakat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi karena menggunakan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi dengan menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi [6]. Refrigeran dapat dikelompokkan ke dalam jenis senyawa seperti senyawa hidrokarbon, senyawa anorganik, dan senyawa halokarbon.

Sifat-sifat yang dipertimbangkan dalam memilih refrigeran, adalah: sifat kimia, sifat fisik dan sifat termodinamik. Berdasarkan sifat-sifat kimianya refrigeran yang baik yaitu, tidak beracun, tidak bereaksi dengan komponen refrigerasi, dan tidak mudah terbakar, serta tidak berpotensi menimbulkan pemanasan global (GWP rendah (*Global Warming Potential*)) dan tidak merusak lapisan ozon (ODP rendah (*Ozone Depleting Potential*)) [7].

Ketika mendesain suatu sistem refrigerasi, perlu diperhatikan beberapa refrigeran yang akan digunakan seperti *chlorofluorocarbons* (CFCs), amonia, hidrokarbon (*propane, ethane, ethylene*), karbodioksida, udara dan bahkan air (pada aplikasi diatas titik beku). Pemilihan refrigeran yang baik hendaknya berdasarkan kondisinya, misalnya R-11, R-12, R-22, R-134a dan R-502 yang dijual banyak di pasaran [8].

2.2 Refrigeran Hidrokarbon

Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon (CFC). Refrigeran hidrokarbon tidak berpotensi merusak ozon karena $ODP = 0$ dan GWP yang kecil. Refrigeran hidrokarbon juga tidak mengalami reaksi kimia dengan oli pelumas yang digunakan untuk refrigeran halokarbon [9].

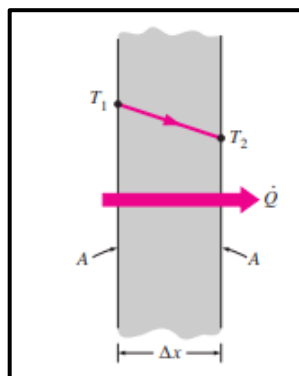
Masalah lingkungan seperti *ozone depletion* dan *global warming* yang disebabkan oleh penggunaan refrigeran, menjadi perhatian seluruh dunia. Setelah protokol Montreal yang membatasi penggunaan *chloroflouorocarbon* (CFC), penggunaan refrigeran *hydroflourocarbons* (HFCs) menjadi semakin populer. Penggunaan refrigeran hidrokarbon seperti HCR-134 mempunyai keuntungan seperti *zero ODP*, *low GWP*, *non toxic*, memiliki performansi yang bagus, dan dapat menggantikan langsung (*drop in substitute*) refrigeran pada sistem refrigerasi yang sudah ada [10].

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses berpindahnya kalor dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas yang terjadi pada sistem refrigrasi adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konveksi terjadi mulai dari refrigeran ke dinding pipa dan setelah dinding pipa ke udara dalam lingkungan. Sedangkan konduksi terjadi mulai dari pipa ke sirip (*fin*) pada pipa. Perpindahan panas dapat dilakukan melalui 3 metode, yaitu :

2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

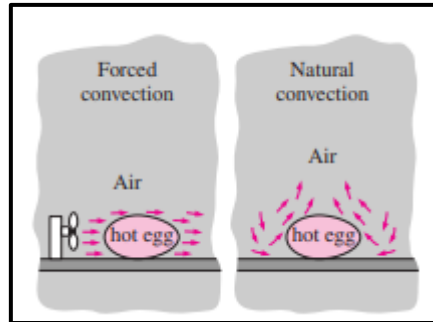
Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi secara langsung (terjadi kontak fisik antara sumber panas dengan objek yang akan dihantarkan panas) antara benda yang memiliki perbedaan suhu. Dimana dalam hal ini, suhu selalu bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang rendah. Perpindahan panas konduksi biasanya terjadi melalui benda padat. Adapun kemampuan dalam menghantarkan panas dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran, jenis bahan penyusun, serta ketebalan objek yang akan dihantarkan panas.



Gambar 1 Skema perpindahan panas konduksi [11]

2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

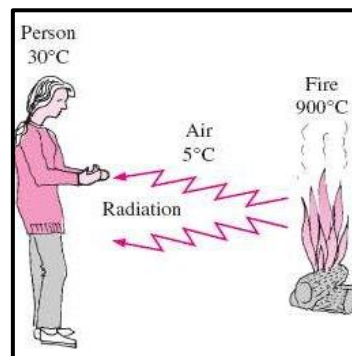
Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi diantara permukaan padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir ataupun sebaliknya dimana diantara keduanya terdapat perbedaan temperatur. Dalam hal ini, fluida yang diam maupun yang bergerak berada dalam jarak yang dekat agar perpindahan panas dapat terjadi.



Gambar 2 Skema perpindahan panas konveksi [11]

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan kalor secara langsung dari sumber panas ke lingkungannya tanpa menggunakan medium atau perantara apapun. Dalam hal ini, sumber panas tidak bergerak atau berpindah tempat. Energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau foton sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul.



Gambar 3 Skema perpindahan panas radiasi [11]

2.4 Kondensasi

Menurut Holman (1997) [12], kondensasi adalah perubahan keadaan fisik uap dari fasa gas ke fasa cair, yang terjadi ketika uap yang didinginkan akan berubah menjadi cair.

Menurut Hermana. J dan Boedisantoso. R (2010) [13], Kondensasi uap dimulai dengan pembentukan kelompok atom atau molekul yang lembab dalam volume udara antara fase gas dan permukaan cairan atau padatan.

Kondensasi ini juga tergantung pada kemampuan media berpori untuk dapat menyerap dalam fase cair atau fase uap dalam keadaan cair. Ada dua jenis kondensasi yang dapat dibedakan, yaitu kondensasi permukaan dan kondensasi mikro atau kondensasi kapiler. Kondensasi butiran atau kondensasi dropwise terjadi ketika cairan kondensat jatuh membasahi permukaan dan membentuk lapisan (film). Kondensat

membentuk butiran di sepanjang permukaan. Kondensasi butiran adalah jenis transfer panas yang paling efisien karena laju kondensasi perpindahan panas jauh lebih besar daripada kondensasi film. Akumulasi butiran pada permukaan dapat memicu pembentukan film cair (film cair). Sedangkan kondensasi film adalah jenis kondensasi yang umum di kebanyakan sistem. Kondensat, dalam bentuk butiran, membasahi permukaan dan jatuh bersama untuk membentuk lapisan cairan yang melebur menjadi satu [14].

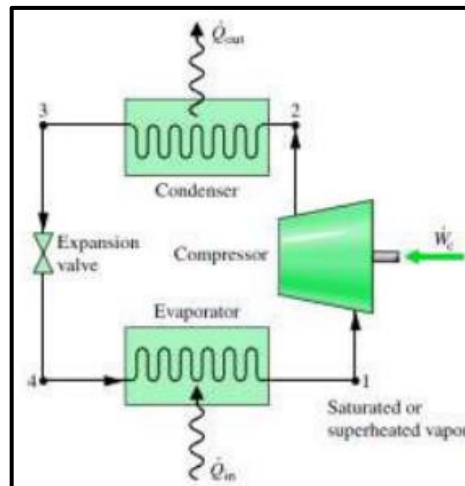
2.5 Kelembaban Udara

Kelembapan udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam udara atau atmosfer. Banyaknya air di dalam udara bergantung kepada banyak faktor, antara lain adalah ketersediaan air, sumber uap, suhu udara, tekanan udara, dan angin [15]. Kelembapan udara yang cukup besar memberi petunjuk langsung bahwa udara banyak mengandung uap air atau udara dalam keadaan basah.

Berbagai ukuran dapat digunakan untuk menyatakan nilai kelembapan udara. Salah satunya adalah kelembapan udara relative (nisbi). Menurut (Wirjohamidjojo, 2006) [16]. Kelembapan udara nisbi memiliki pengertian sebagai nilai perbandingan antara tekanan uap air yang ada pada saat pengukuran dengan nilai tekanan uap air maksimum yang dapat dicapai pada suhu udara dan tekanan udara saat pengukuran.

2.6 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Atmospheric Water Generator bekerja menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap dengan refrigeran sebagai fluida kerjanya. Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan sistem yang menggunakan kompresor sebagai alat kompresi refrigeran, yang dalam keadaan bertekanan rendah akan menyerap kalor dari tempat yang diinginkan, kemudian masuk pada sisi penghisap (*suction*) dimana uap refrigeran tersebut ditekan didalam kompresor sehingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi yang dikeluarkan pada sisi keluaran (*discharge*) [17].



Gambar 4 Skema rangkaian siklus refrigerasi kompresi uap [18]

Proses dari skema siklus refrigerasi kompresi uap adalah :

1. Proses Kompresi, proses 1-2 merupakan proses kompresi dimana refrigeran ditekan sehingga tekanannya serta temperatur jenuhnya menjadi lebih tinggi pada saat masuk ke kondenser. Hal ini dimaksudkan agar temperatur refrigeran di kondenser menjadi lebih tinggi dari temperatur lingkungan sehingga mampu memindahkan panas ke lingkungan dengan proses kondensasi. Pada siklus ideal proses kompresi ini berlangsung secara *isentropic*. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah setelah dikompresi refrigeran menjadi uap bertekanan tinggi.
2. Proses Kondensasi, proses 2-3 merupakan proses kondensasi dimana pada proses ini uap refrigeran turun temperaturnya kemudian berubah fasanya pada tekanan dan temperatur yang konstan dari fasa gas ke fasa cair dengan cara membuang kalor ke lingkungan. Kalor refrigeran dapat pindah ke lingkungan karena memiliki temperatur dan tekanan jenuh yang lebih tinggi dari lingkungan. Kalor yang berpindah dari refrigeran udara ke udara pendingin bergantung pada berbagai faktor, antara lain luas permukaan kondenser, jenis material yang digunakan, dan selisih temperatur kondensasi dengan temperatur lingkungan. Semakin banyak panas yang dibuang di kondenser, semakin banyak pula refrigeran yang mencair, dan diharapkan saat keluar kondenser seluruhnya menjadi cair.

3. Proses Ekspansi, proses 3-4 ini terjadi di pipa kapiler. Setelah refrigeran melepas kalor di kondenser, refrigeran berfasa cair akan mengalir menuju pipa kapiler untuk diturunkan tekanan dan temperaturnya. Diharapkan temperatur yang terjadi lebih rendah daripada temperatur lingkungan, sehingga dapat menyerap kalor pada saat berada di evaporator. Dalam proses ekspansi ini tidak terjadi proses penerimaan atau pelepasan energi (*enthalpy* konstan).
4. Proses Evaporasi, proses 4-1. Setelah keluar dari alat ekspansi kemudian refrigerant yang berfasa campuran dialirkan ke evaporator. Pada kondisi ini refrigeran memiliki tekanan yang rendah, sehingga temperatur jenuhnya berada di bawah temperatur ruangan, lingkungan atau produk yang didinginkan. Kalor kemudian terserap oleh refrigeran kemudian refrigeran berubah fasanya menjadi gas sementara temperatur ruangan, kabin, atau produk yang diinginkan menjadi lebih dingin. Proses evaporasi pada siklus ideal terjadi secara *isothermal* dan *isobar* [17].

2.7 Perhitungan Karakteristik Sistem Kompresi Uap

Dengan adanya diagram entalpi - tekanan, entalpi (*h*) dalam siklus kompresi dapat diketahui, sehingga dapat diketahui kerja kompresor, energi kalor yang diserap evaporator, energi kalor yang dikeluarkan kompresor, *coefficient of performance* (COP) ideal, efisiensi dari mesin kompresi uap.

1. Kerja Kompresor (W_{in})

Kerja kompresor persatuan massa refrigeran merupakan entalpi, persamaan yang digunakan ialah

$$W_{in} = h_2 - h_1 \quad (\text{Pers. 1})$$

Dimana :

W_{in} = Kerja kompresor (kJ/kg)

h_2 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

h_1 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

2. Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out})

Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor merupakan perubahan entalpi titik 2 ke 3 (berdasarkan gambar 4), persamaan yang digunakan

$$Q_{out} = h_2 - h_3 \quad (\text{Pers. 2})$$

Dimana :

Q_{out} = Energi kalor yang dilepaskan kondensor (kj/kg)

h_2 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kj/kg)

h_3 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kj/kg)

3. Energi kalor yang diserap oleh evaporator (Q_{in})

Energi yang diserap evaporator merupakan entalpi dititik 4 ke 1(berdasarkan gambar 4), persamaan yang digunakan

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \quad (\text{Pers. 3})$$

Dimana :

Q_{in} = Energi kalor yang diserap evaporator (kj/jg)

h_1 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar evaporator atau sama dengan nilai entalpi refrigeran saat masuk pipa kapiler (kj/kg)

h_4 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk evaporator atau sama dengan nilai entalpi saat masuk pipa kapiler. Karena proses pada pipa kapiler berlangsung pada entalpi tetap maka nilai $h_4 = h_3$ (kj/kg)

4. *Coefficient of Performance* aktual (COP_{aktual})

Coefficient of Performance aktual siklus kompresi uap standar dapat dihitung dengan persamaan

$$COP_{aktual} = \frac{(Q_{in})}{(W_{in})} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (\text{Pers. 4})$$

Dimana :

COP_{aktual} = *Coefficient of Performance* aktual pada mesin kompresi uap

5. *Coefficient of Performance* ideal (COP_{ideal})

Coefficient of Performance ideal pada siklus kompresi uap standar dapat dihitung dengan persamaan

$$COP_{ideal} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (\text{Pers. 5})$$

Dimana :

COP_{ideal} = *Coefficient of Performance* ideal pada mesin kompresi uap

T_e = Temperatur evaporator (K)

T_c = Temperatur kondensor (K)

6. Efisiensi mesin siklus kompresi uap

Efisiensi mesin kompresi uap dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\text{Efisiensi} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}} \quad (\text{Pers. 6})$$

7. Laju aliran massa refrigeran

Laju aliran massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\dot{m} = \frac{(V \cdot I) / 1000}{W_{in}} \quad (\text{Pers. 7})$$

Dimana :

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

V = Tegangan listrik dari kompresor (Volt)

I = Arus yang digunakan kompresor (Ampere)

2.8 Efektivitas Atmospheric Water Generator

Efektivitas merupakan ukuran kemampuan suatu alat untuk mencapai hasil maksimal.

1. Laju aliran massa udara masuk ($\dot{m}$)

Laju Aliran Massa udara masuk adalah suatu ukuran besaran massa udara masuk ke dalam alat AWG per satuan waktu. Persamaan laju aliran udara masuk yang digunakan [11] yaitu:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (kg/s) \quad (\text{Pers. 8})$$

Keterangan:

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

ρ = Densitas udara (kg/m³)

A = Luas saluran masuk (m²)

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 [19] yaitu:

$$P_s = P_{jwb} - 0.5 (T_{db} - T_{wb}) \frac{P_{atm}}{755} \quad (\text{Pers. 9})$$

Keterangan:

P_{jwb} = Tekanan uap jenuh bolah 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_{atm} = Tekanan atmosfer (mmHg/kPa)

* diperoleh pada tabel Stocker

$$RH = \frac{P_{jwb}}{P_s} \quad (\text{Pers. 10})$$

Keterangan:

RH = Kelembaban Relatif (%)

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

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

$$\omega = 0.622 \frac{P_s}{P_t - P_s} \quad (\text{Pers. 11})$$

Keterangan:

ω = Rasio kelembaban

P_s = Tekanan uap jenuh (mmHg/kPa)

P_t = Tekanan udara (mmHg/kPa)

3. Efektivitas *atmospheric water generator*

Efektivitas *atmospheric water generator* 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 [20] yaitu:

$$\text{Air teori} = \dot{m} \cdot (\omega_{in} - \omega_{out}) \quad (\text{Pers.13})$$

Keterangan:

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

ω_{in} = Rasio kelembaban udara masuk

ω_{out} = Rasio kelembaban udara keluar

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{air praktik}}{\text{Air teori}} \times 100\% \quad (\text{Pers. 14})$$

Keterangan:

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

Air teori = air yang didapatkan secara perhitungan (mL)

4. *Coefficient of performance (COP)*

$$\text{COP} = \frac{Q}{P} \quad (\text{Pers. 15})$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan kalor (W)

P = Daya (W)

COP = *Coefficient of Performance*