

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait mesin pendingin *desiccant* berbasis *silica gel* ini adalah hasil eksperimen menunjukkan bahwa suhu udara meninggalkan penukar kalor sensibel berada pada 33,5 °C, sementara suhu udara yang meninggalkan sistem pendingin evaporatif berada pada 26,1 °C, sedangkan RH berada pada 55,6% [3].

2.2 Prinsip Kerja Sistem Pendingin

2.2.1 Refrigerasi

Pada dasarnya, sistem refrigrasi bekerja berdasarkan prinsip perubahan zat pendingin dari bentuk gas menjadi cair dan sebaliknya, yang dilakukan dalam komponen seperti kompresor, kondensor, ekspansi, dan evaporator. Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke *temperature* tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem. Dalam sistem refrigrasi dikenal dua siklus, yaitu refrigrasi siklus kompresi uap dan refrigrasi absorpsi [4].

Prinsip kerja sistem refrigrasi bekerja berdasarkan prinsip Termodinamika, dimana panas dipindahkan dari suatu area dingin ke area yang lebih panas. Proses ini bekerja dengan adanya zat pendingin (*refrigerant*) yang mengalami perubahan fasa (dari gas cair dan sebaliknya) dalam siklus tertentu.

Sistem refrigrasi sendiri mempunyai dua (2) rumus, yaitu rumus untuk daya pendinginan, dan rumus untuk koefisien kinerja (COP). Rumus daya pendinginan

menggambarkan berapa banyak panas yang diserap oleh refrigerant dalam evaporator, adapun rumusnya adalah:

$$Q = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad 2.1$$

- Q = daya pendingin (kW)
- \dot{m} = laju aliran massa refrigerant (kg/s)
- h_1 = entalpi refrigerant pada titik 1 (kJ/kg)
- h_4 = entalpi refrigerant pada titik 4 (kJ/kg)

Sedangkan untuk rumus koefisien kinerja (COP), adalah:

$$COP = \frac{Q}{W} \quad 2.2$$

Keterangan:

- COP = koefisien kinerja
- Q = daya pendingin (kW)
- W = daya yang di perlukan oleh kompresor (kW)

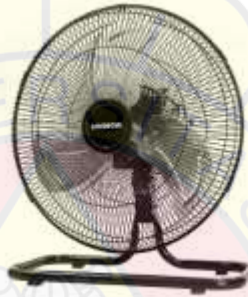
2.2.2 Kipas Angin

Penemu kipas angin bernama Schuyler Skaats Wheeler, yang berasal dari negara Amerika. Dia lahir pada 17 Mei 1860 dan meninggal pada 20 April 1923. Penemuannya menjadi awal dari kecanggihan kipas angin yang digunakan sampai pada saat ini. Kipas angin adalah alat yang digunakan untuk mendinginkan ruangan dengan embusan angin berputar menggunakan baling-baling dalam alat [5]. Pada saat ini sudah banyak berbagai jenis kipas angin, mulai kipas angin meja, kipas angin berdiri (kipas lantai), kipas angin dinding, kipas angin langit-langit, hingga kipas angin mini.

Kipas angin memiliki kelebihan dan juga kekurangan, adapaun kelebihan kipas angin adalah lebih hemay energi, penggunaannya juga mudah, dan biaya yang

terjangkau. Sedangkan untuk kekurangannya adalah tidak dapat menurunkan suhu, selain itu tidak efektif juga untuk ruangan yang terlalu panas, dan mudah rusak.

Jadi, dapat di simpulkan bahwa Kipas angin adalah alat yang efektif untuk meningkatkan kenyamanan di ruang yang panas dengan meningkatkan sirkulasi udara. Meskipun tidak menurunkan suhu secara langsung, kipas angin memberikan rasa sejuk dengan mempercepat penguapan keringat dan meningkatkan sirkulasi udara.



Gambar 2.1 Kipas Angin

[17]

2.2.3 Air Conditioner (AC)

Air conditioner (AC) merupakan suatu rangkaian atau system yang berfungsi untuk menurunkan suhu atau *temperature* ruangan dengan jalan menyerap suhu panas ruangan itu sendiri [6]. AC bekerja dengan cara mendinginkan udara dengan menghilangkan panas dari dalam ruangan dan memindahkannya ke luar ruangan. Selain mendinginkan, beberapa jenis AC juga memiliki kemampuan untuk

mengatur kelembaban dan menyaring udara, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan sehat.



Gambar 2.2 Air Conditioner

Air conditioner (AC) adalah solusi teknologi yang sangat berguna untuk mengatur suhu dan kelembaban dalam ruangan, menciptakan kenyamanan, dan meningkatkan kualitas udara. Berbagai jenis AC tersedia untuk memenuhi kebutuhan ruangan dan anggaran yang berbeda. Meskipun AC memberikan banyak manfaat dalam menciptakan lingkungan yang nyaman, penggunaan dan perawatannya harus diperhatikan agar efisien dan tidak merugikan lingkungan.

2.2.4. Air Cooler

Air cooler adalah suatu alat pendingin udara dimana udara tersebut di hasilkan dari perangkat turbocharge. Yang mana diketahui udara yang di hisap oleh turbocharger berasal dari gas buang yang suhunya panas. *Aircooler* selain berfungsi untuk mendinginkan udara, juga berfungsi memadatkan atau memampatkan udara, makin padat udara maka tekanan yg dihasilkan makin besar sehingga tenaga mesin juga bertambah pada pembakaran yang sempurna [7]. Berbeda dengan air conditioner (AC), *air cooler* tidak menggunakan refrigeran dan tidak mengubah suhu udara secara drastis. Sebaliknya, *air cooler* bekerja dengan prinsip pendinginan evaporatif, yaitu mendinginkan udara dengan cara menguapkan air.

Air cooler adalah solusi pendinginan yang efisien dan ramah lingkungan, terutama di daerah yang kering dan panas. Dengan biaya operasional yang lebih

rendah dan kemudahan penggunaannya, *air cooler* menjadi pilihan yang populer untuk menciptakan kenyamanan di rumah atau kantor. Meskipun tidak seefektif AC dalam menurunkan suhu udara secara drastis, *air cooler* memberikan alternatif yang hemat energi dan efektif, dengan tambahan manfaat meningkatkan kelembapan udara di ruangan.



Gambar 2.3 Air Cooler

[18]

2.2.5 Chiller (Pendingin)

Chiller adalah mesin refrigerasi yang fungsi utamanya mendinginkan air pada sisi evaporator. Air kemudian dialirkan ke AHU (*Air Handling Unit*) untuk didinginkan dan dihembuskan ke dalam ruangan [8]. Fungsi utama dari *chiller* adalah untuk menyerap panas dari lingkungan atau medium tertentu dan mengeluarkannya ke lingkungan lainnya, sehingga suhu dapat dikontrol sesuai kebutuhan. *Chiller* bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas, menggunakan siklus refrigerasi untuk mengubah zat pendingin dari bentuk gas ke cair, yang memungkinkan proses pendinginan terjadi secara efisien. Ada proses ini, refrigeran mengalir melalui kompresor yang meningkatkan tekanan dan suhu, kemudian

melepaskan panas melalui kondensor. Setelah itu, refrigeran mengalir melalui katup ekspansi yang menurunkan tekanannya sebelum akhirnya menyerap panas pada evaporator, mengubahnya menjadi gas dan memulai kembali siklusnya.

Terdapat beberapa jenis *chiller*, yaitu *air-cooled chiller*, yang menggunakan udara sebagai pendingin kondensor, dan *water-cooled chiller*, yang menggunakan air untuk lebih efisien menghilangkan panas dari refrigeran.

Chiller banyak digunakan dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, Air conditioning*) di gedung-gedung komersial, industri pengolahan makanan, serta di pusat data untuk mendinginkan perangkat elektronik yang sensitif terhadap panas [9].

Penerapan *chiller* meluas ke berbagai sektor, termasuk sistem HVAC untuk pendinginan gedung, pengolahan makanan dan minuman, serta industri kimia. Selain itu, *chiller* juga berperan penting dalam menjaga suhu perangkat elektronik dan pusat data untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih. Dengan meningkatnya kesadaran akan efisiensi energi, *chiller* modern dirancang untuk mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon, sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan.

2.3 Sistem Pendingin *Desiccant*

Desiccant adalah bahan penyerap. *Desiccant* tidak hanya dapat menarik dan menahan uap air, tetapi *desiccant* juga dapat menghilangkan pencemaran dari aliran udara sehingga dapat meningkatkan kualitas udara didalam ruangan [10]. Sistem ini sangat efisien dalam pengendalian kelembaban dan sering digunakan pada aplikasi yang membutuhkan pengendalian suhu dan kelembaban yang ketat, seperti

dalam ruang server, ruang penyimpanan obat, dan sistem AC untuk bangunan dengan kelembaban yang sangat tinggi.

Dalam sistem pendingin desikan, ada rumus yang digunakan untuk menghitung kebutuhan energi dan proses penyerapannya yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan kelembaban oleh bahan desikan. Rumus tersebut adalah:

$$Q_{\text{penyerapan}} = m_{\text{desikan}}(X_{\text{masuk}} - X_{\text{keluar}}) \quad 2.3$$

Keterangan:

- $Q_{\text{penyerapan}}$ = kapasitas penyerapan kelembaban (kg udara / kg desikan)
- m_{desikan} = massa desikan (kg)
- X_{masuk} = kelembaban awal udara (kg uap air / kg udara)
- X_{keluar} = kelembaban akhir udara setelah proses desikan (kg uap air / kg udara)

2.4. Psikometrik Chart

Psikometrik adalah bidang yang mempelajari tentang bagaimana menentukan sifat-sifat fisis termodinamika suatu gas yang di dalamnya terdapat gas-uap [11]. Di dalam diagram psikometri, berbagai sifat udara seperti suhu, kelembaban, tekanan uap, dan entalpi diwakili dalam bentuk grafik yang memungkinkan kita untuk menganalisis perubahan kondisi udara dengan mudah. Adapun sifat-sifat udara yang diukur adalah sebagai berikut:

1. Suhu kering (dry Bulb Temperature): suhu udara yang menggambarkan suhu sebenarnya.
2. Suhu basah (wet bulb temperature): suhu diukur menggunakan termometer yang dibungkus kain basah, menggambarkan kelembaban udara.

3. Kelembaban relatif: menunjukkan kadar kelembaban udara dibandingkan dengan jumlah kelembaban maksimum.
4. Titik Embun: titik dimana udara tidak dapat menahan kelembaban lagi.
5. Entalpi: total energi dalam udara yang mencakup energi panas yang dapat digunakan untuk proses pemanasan atau pendinginan.

2.4. Perhitungan Suhu Mesin Pendingin Dessicant

2.4.1. Uji Kemampuan Pendinginan

Untuk menghitung hasil uji kemampuan pendingin pada mesin pendingin dessicant, sangat perlu untuk mengetahui beberapa parameter penting, seperti suhu udara sebelum dan sesudah proses pendinginan, serta laju aliran udara yang melewati sistem.

Dengan menggunakan rumus kapasitas pendinginan [12] :

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad 2.4$$

- Q = laju pendinginan (Watt atau kW)
- \dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s)
- C_p = kalor jenis udara pada tekanan konstan (sekitar 1005 J/kg.K untuk udara kering)
- ΔT = perbedaan suhu udara masuk dan keluar

Selanjutnya adalah menghitung koefisien dengan rumus:

$$COP = \frac{Q}{W} \quad 2.5$$

2.4.2. Uji Perubahan Suhu Terhadap Kelembaban

Untuk menghitung hasil uji perubahan suhu terhadap kelembaban adalah dengan menganalisis bagaimana suhu memengaruhi kelembaban relatif (RH) pada suatu proses pendinginan. Ada dua cara untuk menganalisis suhu dan kelembaban.

Yang pertama adalah rumus untuk rasio kelembaban, yaitu

$$W = 0,622 \times \frac{P_v}{P - P_v} \quad 2.6$$

- W = rasio kelembaban
- P_v = tekanan uap air jenuh pada suhu tertentu
- P = tekanan total

Dan yang kedua adalah rumus untuk kelembaban relatif, adalah [13]

$$RH = \frac{P_{sat}}{P_v} \times 100\% \quad 2.7$$

- RH = kelembaban relatif
- P_v tekanan uap air aktual
- P_{sat} = tekanan uap jenuh

2.5. Putaran RPM Terhadap Suhu

Untuk menghitung pengaruh putaran RPM terhadap hasil suhu pada sistem pendingin, kita perlu memahami bahwa RPM secara langsung memengaruhi laju aliran udara, yang pada akhirnya akan memengaruhi kemampuan pendinginan dan hasil suhu akhir.

Untuk menghitung semua itu, kita dapat mengkombinasikan 3 rumus, yaitu

- a) Laju aliran massa udara

$$\dot{m} = \rho \times Q_v \quad 2.8$$

- \dot{m} = laju massa udara kg/s

- $\rho = \text{densitas udara (sekitar } 1,2 \text{ kg/m}^3\text{)}$
- $Q_v = \text{laju aliran udara m}^3\text{/s, yang dipengaruhi oleh RPM}$

Jika,

$$Q_{v2} = Q_{v1} \times \frac{RPM2}{RPM1} \quad 2.9$$

b) Perubahan suhu akibat pendinginan[14]

$$\Delta T = \frac{Q}{\dot{m} \times C_p} \quad 2.10$$

- $Q = \text{Kapasitas pendinginan tetap (watt)}$
- $C_p = \text{Kapasitas kalor udara (1000 J/kg.}^\circ\text{C)}$
- $\dot{m} = \text{laju massa udara}$

2.6. Daya Listrik Pendingin

Untuk menghitung efisiensi dari mesin pendingin *desiccant* maka perlu menghitung daya listrik total. Adapun perhitungan dan rumusnya sebagai berikut [15].

$$P = V \times I \times \text{Efficiency} \quad 2.11$$

- $P = \text{daya listrik yang digunakan oleh mesin pendingin (watt)}$
- $V = \text{tegangan (volt)}$
- $I = \text{Arus listrik (Ampere)}$
- $\text{Efficiency} = \text{efisiensi sistem (biasanya antara 0,7 hingga 0,95)}$

Jika ingin menghitung daya listrik berdasarkan kapasistas pendinginan, maka rumusnya adalah:

$$P_{elektrik} = \frac{Q}{COP} \quad 2.12$$

- $P_{elektrik} = \text{daya (watt)}$

- Q = kapasitas pendinginan (cooling capacity) dalam watt
- COP = koefisien performa pendinginan, yang mengukur efisiensi sistem pendinginan.

2.7 Silica gel Sebagai Desiccant

Silica gel dikenal sebagai bahan penyerap kelembaban yang berbentuk butiran padat dan menyerupai kaca, dengan struktur yang sangat berpori. Meskipun namanya mengandung kata "gel", material ini sebenarnya berbentuk padat. *Silica gel* dibuat secara sintesis dari natrium silikat (Na_2SiO_3) melalui proses pembentukan sol, yaitu cairan seperti agar-agar yang kemudian mengalami pengeringan hingga menjadi butiran keras yang tidak elastis. Oleh karena kemampuannya menyerap uap air, *silica gel* sering dimanfaatkan sebagai penyerap kelembaban, bahan pengering, serta media penopang katalis. Selain itu, senyawa logam seperti garam kobalt juga dapat diserap oleh material ini [16].



Gambar 2.4 Silica Gel

[16]

Silica gel memiliki beberapa jenis, yaitu *silica gel* biru, dan *silica gel* putih. *Silica gel* biru merupakan jenis *silica* yang saat ini sudah dibatasi penggunaannya

karena bahan pembuatnya yang relatif berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya, yaitu *cobalt chloride*. Produk ini tidak boleh digunakan pada kemasan obat, makanan, ataupun produk yang sering bersentuhan dengan manusia, seperti pakaian, kamera, sepatu, tas, dan berbagai keperluan sehari-hari lainnya. Sedangkan *silica gel* putih adalah jenis *silica gel* yang umum digunakan. Produk ini dibuat dari sodium *silicat* yang memiliki berjuta-juta nanoporous berukuran 24 nanometer. Mineral alami ini memiliki sifat *hydrophilic* yang aktif menyerap molekul air di udara[10]. Selain itu, efektivitas *silica gel* juga perlu diperhatikan sebagai bahan penyerap kelembaban, perlu adanya eksplorasi *silica gel* untuk menghasilkan sistem pendinginan yang lebih efektif lagi. Dimana penulis menggunakan *silica* putih yang biasanya digunakan pada sepatu, tas, tekstil dan logistik.

Selain *silica gel* putih, terdapat juga *silica gel* biru yang hanya digunakan untuk industri listrik dan permesinan, *silica gel* natural yang cocok untuk produk organik dan herbal, dan *silica gel* oranye yang sama seperti *ilica gel* biru, tetapi penggunaannya terbatas untuk industri tertentu karena bersifat bahaya. Itu semua bisa dijadikan bahan eksplorasi untuk bahan penyerap kelembaban. Pada dasarnya *silica gel* merupakan silikon dioksida, sehingga mempunyai unsur kimia adalah SiO_2 .

Silica gel merupakan material yang memiliki peran penting di berbagai sektor industri karena kemampuannya dalam menyerap uap air secara efektif. Struktur porinya yang tinggi memungkinkan material ini menjaga kelembaban tetap rendah, sehingga barang-barang tetap kering dan terhindar dari potensi kerusakan akibat udara lembap.

2.8. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teori dan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- A. Pemanfaatan *silica gel* sebagai bahan penyerap kelembaban (*desiccant*) diyakini mampu menurunkan kadar kelembaban udara secara efektif, sehingga membantu menjaga kelembaban yang lebih stabil pada sistem pendingin.
- B. Kecepatan putaran kipas (RPM) memiliki pengaruh terhadap performa pendinginan yang dihasilkan. RPM yang lebih tinggi dapat mempercepat proses penurunan suhu, namun jika melebihi batas optimal justru dapat mengurangi efisiensi kerja mesin.

