

## BAB II

### TIJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Vacuum evaporator*

*Vacuum evaporator* ialah alat yang digunakan untuk menurunkan kadar air dari suatu bahan pangan yang berbentuk cair. *Vacuum evaporator* umumnya menggunakan pemanasan langsung pada bahan dengan pengaturan suhu yang disesuaikan sesuai kebutuhan proses. Kondisi vakum yang tercipta di dalam ruang evaporasi menyebabkan tekanan dan suhu di dalamnya menjadi lebih rendah, sehingga kandungan gizi dan sifat fisik bahan makanan tetap terjaga tanpa mengalami kerusakan selama proses berlangsung. Hasil dari evaporator biasanya dapat berbentuk larutan atau padatan berkonsentrat. Beberapa komponen yang sudah menguap adalah hasil dari larutan yang sudah dievaporasi [4].

*Vacuum evaporator* bekerja berdasarkan prinsip bahwa tekanan di bawah tekanan atmosfer (kondisi vakum) dapat menurunkan titik didih pelarut. Proses evaporasi tidak hanya berfungsi untuk menurunkan aktivitas air dalam suatu larutan, tetapi juga meningkatkan konsentrasi dan viskositas larutan. Peningkatan ini menyebabkan volume larutan menyusut, sehingga proses evaporasi memberikan keuntungan tambahan berupa penghematan biaya penyimpanan, transportasi, dan kebutuhan logistik lainnya *Vacuum evaporator* terdiri dari sejumlah komponen utama yang tersusun secara sistematis, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.1[9].



**Gambar 2. 1** Komponen utama *vacuum evaporator*

*Vacuum evaporator* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu wadah atau tangki yang berfungsi untuk menampung larutan atau campuran yang akan

diuapkan, pemanas untuk menyediakan energi panas, serta sistem pengendali tekanan vakum. Proses evaporasi diawali dengan pengurangan tekanan di dalam wadah menggunakan pompa vakum, sehingga tekanan menjadi sangat rendah. Pemanas kemudian memberikan energi panas pada larutan di dalam wadah, menyebabkan pelarut menguap dan berubah menjadi uap. Uap tersebut selanjutnya diarahkan menuju kondensor, di mana ia didinginkan hingga kembali menjadi cairan yang lebih murni. Cairan hasil kondensasi dikumpulkan untuk digunakan lebih lanjut, sementara residu yang tersisa tetap berada di dalam wadah. Proses ini memungkinkan pemisahan yang efektif antara pelarut dan residu, dengan efisiensi tinggi [9].

### **2.1.1 Prinsip Dasar Evaporator**

Evaporator merupakan alat yang berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam suatu bahan dengan memanfaatkan prinsip penguapan (evaporasi) pelarut hingga mencapai tingkat yang diinginkan. Proses evaporasi sendiri adalah metode pengentalan larutan dengan cara memanaskan atau menguapkan pelarutnya, yang bertujuan untuk mengecilkan volume larutan sekaligus menurunkan aktivitas air di dalamnya. Prinsip dasarnya ialah dengan memisahkan pelarut dari larutan sehingga menghasilkan larutan yang lebih padat. Beberapa tujuan dilakukanya evaporasi adalah untuk memekatkan larutan yang mengandung zat yang sulit menguap sebagai bahan pelarut yang mudah menguap dengan cara menguapkan Sebagian dari pelarutnya [5].

Evaporasi pada tekanan atmosfer adalah proses evaporasi paling sederhana di mana cairan di dalam wadah terbuka dipanaskan dan uap air dikeluarkan ke udara. Meskipun ini adalah jenis evaporator yang paling sederhana, prosesnya lambat dan membutuhkan lebih banyak energi [5].

### **2.1.2 Evaporasi**

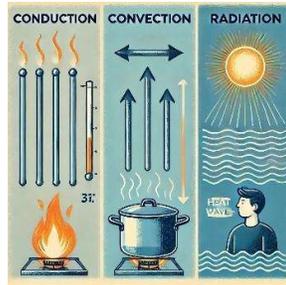
Evaporasi adalah proses yang mengakibatkan perubahan air menjadi uap air dari perairan terbuka, tanah dan batuan lainnya. Proses evaporasi dipengaruhi oleh banyak faktor seperti perbedaan tekanan uap, suhu udara, angin, kualitas air dan permukaan bidang evaporasi [6].

Penguapan dapat dipakai untuk tujuan pemisahan pelarut (*solven*) dari larutan yang lebih pekat. Setelah larutan menjadi lebih pekat, biasanya proses selanjutnya adalah kristalisasi. Dalam proses evaporasi, terdapat dua mekanisme utama yang berlangsung, yaitu perpindahan panas dan perpindahan massa. Cairan yang mudah menguap (*volatile*) akan berubah menjadi uap, dan uap tersebut kemudian harus dipisahkan dari larutan untuk melanjutkan proses selanjutnya.

Salah satu cara untuk memisahkan uap tersebut dengan memvakum menggunakan pompa. proses evaporasi (pemekatan) dapat diperoleh suatu konsentrasi larutan tertentu, kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Penguapan sebuah evaporator dapat dihitung dengan mengetahui tekanan absolut yang terjadi di ruang penguapan. Besarnya laju evaporasi merupakan parameter yang menggambarkan jumlah cairan yang berhasil menguap atau bertransformasi menjadi uap dalam suatu satuan waktu tertentu. Tingkat laju evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu larutan dan volume larutan yang tersedia [7].

## **2.2 Perpindahan panas**

Perpindahan panas atau *heat transfer*, adalah fenomena alam yang kaitanya pada kalor yang mengalami perpindahan panas. Perpindahan panas tidak dapat diukur dan dilihat secara langsung, tetapi pengaruhnya dapat diamati dan diukur [8]. Termodinamika menjelaskan bahwa energi yang ditransferkan pada proses perpindahan panas bahwa mendefinisikan sebagai panas atau kalor. Perpindahan panas tidak hanya menjelaskan proses energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi laju perpindahan panas yang akan berlangsung dalam kondisi tertentu [10].

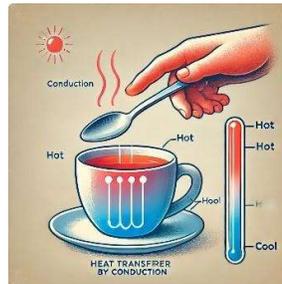


**Gambar 2. 2** Gambaran perpindahan panas

dari gambar diatas, perpindahan energi sebagai panas adalah energi akan berpindah dari suhu yang lebih tinggi menuju suhu yang lebih rendah dan akan berhenti apabila kedua sistem telah mencapai kesetimbangan panas. Didalam pembuatan gula aren perlu yang namanya kestabilan suhu agar menjaga kualitas dari gula aren tersebut. Maka dari itu perlu menghitung laju perpindahan panas pada *heater* yang digunakan. Pada umumnya mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi 3 yaitu, perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi.

#### 1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada suatu benda yang memiliki perbedaan suhu, di mana energi panas mengalir dari area dengan suhu lebih tinggi menuju area dengan suhu lebih rendah [2].



**Gambar 2. 3** perpindahan panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi terutama terjadi pada benda padat atau media yang tidak bergerak, seperti fluida yang diam. Pada benda padat, perpindahan panas terjadi melalui getaran kisi molekul dan perpindahan energi oleh elektron bebas. Sementara itu, pada gas dan cairan, perpindahan panas konduksi terjadi akibat tumbukan antar molekul dan proses difusi. [9].

$$q = k \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta t}{L}$$

Keterangan:

q : Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

k : Koefisien konduksi termal (W/m<sup>2</sup>K)

A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Δt : Perbedaan suhu (K)

t : Waktu (s)

L : Panjang (m)

## 2. Perpindahan panas konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi melalui pergerakan massa fluida. Perpindahan panas ini berlangsung antara permukaan dan fluida yang bergerak, yang memiliki perbedaan suhu. Proses konveksi terjadi ketika suhu permukaan berbeda dengan suhu fluida di sekitarnya [11]. Salah satu contohnya adalah jika Plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat bila di taruh di depan kipas angin dibandingkan dengan bila ditempatkan di udara sekitar [12].

$$q = h \cdot A(T_s - T_\infty)$$

Keterangan

q : Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h : Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>K)

A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> : Temperatur surface (K)

T<sub>∞</sub> : Temperatur infinity (K)

Isolator termal adalah material yang memiliki konduktivitas termal rendah, sehingga dapat menghambat aliran panas. Dalam konteks fisika, isolator termal berfungsi untuk mengurangi transfer energi panas.

## 3. Perpindahan panas radiasi

Pada jurnal sebelumnya menyatakan bahwa perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas dari gelombang elektromagnetik atau *photon* yang dibawa bisa mencapai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Proses radiasi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan material dan tidak berlangsung di bagian dalamnya. Ketika

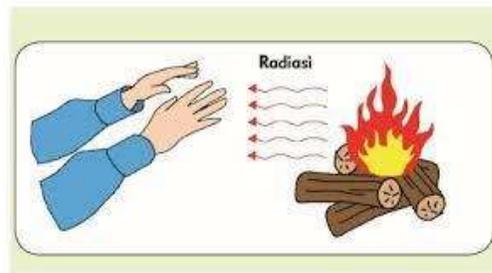
suatu bahan menerima radiasi panas, berbagai interaksi dapat terjadi. Sebagian energi panas yang mengenai permukaan akan dipantulkan, sebagian lagi diserap oleh material, dan sisanya dapat menembus material hingga keluar ke sisi lain. Oleh karena itu, dalam mempelajari perpindahan panas melalui radiasi, sifat fisik permukaan material menjadi faktor penting yang harus diperhatikan [13]. Contohnya adalah perpindahan kalor yang terjadi antara makhluk hidup dengan sekitarnya. Persamaan radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{Q}{t} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Keterangan:

- Q/t : Laju radiasi (J/s)
- e : Emisivitas
- $\sigma$  : Tetapan stefan-Boltzman
- T : Suhu Mutlak (K)

Laju perpindahan panas radiasi suatu benda dipengaruhi oleh beberapa hal. Laju perpindahan energi melalui radiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu permukaan yang memancarkan dan menerima radiasi, emisivitas permukaan yang terpapar radiasi, serta sifat refleksi, absorpsi, dan transmisi material tersebut. Selain itu, faktor pandang (*view factor*) antara permukaan yang memancarkan dan yang menerima radiasi juga memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi perpindahan energi [13]. Gambaran dari perpindahan panas radiasi dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Perpindahan panas Radiasi

## **2.3 Konsep Isolator dalam Efisiensi Energi**

### **2.3.1 Definisi isolator termal.**

Isolator termal adalah bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas antara dua area dengan suhu berbeda. Bahan ini memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga efektif dalam menghambat aliran panas. Penggunaan isolator termal sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti menjaga suhu ruangan, melindungi peralatan industri, dan mengoptimalkan sistem perpipaan, untuk meningkatkan efisiensi energi serta kenyamanan. Pada panci *vacuum evaporator* dapat dipasang isolator termal untuk meminimalisir kehilangan panas. Dengan memilih ketebalan isolator yang tepat adalah salah satu keuntungan utama dalam meminimalisir kerugian energi panas yang hilang [15].

Isolasi termal berfungsi untuk mengurangi kerugian energi akibat perpindahan panas dari sistem ke lingkungan atau sebaliknya, sehingga menghindari kebocoran panas dan memungkinkan pengendalian temperatur yang lebih efektif. Fungsi ini sangat krusial dalam penggunaan energi panas yang harus dikelola secara efisien. Oleh karena itu, diperlukan bahan isolasi termal dengan konduktivitas termal yang rendah untuk mendukung efisiensi energi dan kestabilan suhu dalam berbagai aplikasi industri maupun domestik [14].

### **2.3.2 jenis-jenis bahan isolator**

Berikut adalah beberapa jenis bahan isolator termal yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Setiap jenis bahan memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi efektivitasnya dalam menghambat perpindahan panas:

#### **1. kayu dan olahannya**

Salah satu isolator alami dari kayu dan olahannya adalah serbuk kayu jati. Serbuk kayu jati adalah isolator yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dalam penelitian (Ramadhan) menyatakan bahwa kayu jati dapat menjaga temperatur dari lingkungan sekitar [17]. dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 5** Serbuk kayu jati

selain itu ada seperti papan serat dan gabus merupakan isolator termal alami yang efektif. Bahan ini sering digunakan dalam konstruksi bangunan, terutama untuk insulasi dinding dan atap. Sifatnya yang ringan, mudah dibentuk, serta konduktivitas termal yang rendah menjadikannya pilihan populer untuk menjaga kenyamanan termal dalam ruangan.

2. Karet Sintetis (*Nitrile Butadiene Rubber* - NBR)

*Nitrile Butadiene Rubber* (NBR) adalah karet sintetis yang dihasilkan dari polimerisasi butadiena dan akrilonitril. Material ini dikenal karena memiliki sifat unggul, seperti ketahanan yang baik terhadap minyak, kemampuan bertahan dalam suhu tinggi dan rendah, ketahanan terhadap keausan, serta daya tahan yang sangat baik terhadap deformasi akibat kompresi. Berkat karakteristik tersebut, NBR digunakan secara luas dalam berbagai sektor industri, termasuk penerbangan, otomotif, dan perminyakan [20].



**Gambar 2. 6** Nitrile-Butadiene Rubber (NBR)

*Nitrile-Butadiene Rubber* (NBR) telah lama digunakan dalam industri, terutama dalam pembuatan seal, karena sifat-sifat unggulnya seperti biaya rendah, ketahanan terhadap minyak, bahan bakar, dan

pelumas, tingkat abrasi rendah, serta kemudahan proses produksi. Namun, daya tahan NBR terhadap penuaan sangat sensitif terhadap faktor lingkungan, seperti suhu tinggi, kelembapan tinggi, cahaya kuat, suhu rendah, dan beban mekanis, karena adanya struktur rantai tak jenuh pada bagian butadiena [19].

### 3. *Glasswool* (Wol Kaca)

Wol kaca adalah serat kaca buatan manusia yang terdiri dari natrium, kalsium dan magnesium silikat, tetapi mungkin mengandung sejumlah kecil unsur lain, termasuk boron. Bahan baku untuk pengenalan boron ke dalam wol kaca terutama ditambang *colemanite* ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), untuk serat tujuan khusus, uleksit ditambang ( $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{18}\cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ), boraks pentahidrat yang diproduksi ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) dan kaca cullet daur ulang, untuk insulasi wol. Boron digunakan karena borat bertindak sebagai pembentuk kaca dan zat fluks dalam peleburan kaca, tetapi senyawa boron relatif mahal dibandingkan dengan komponen batch lainnya dan oleh karena itu, hanya digunakan jika ada yang bagus alasan teknis dan ekonomi [21]. contoh dari isolator *glasswool* sebagai berikut.



**Gambar 2. 7** *glasswool insulation*

#### **2.3.3 Cara kerja isolator dalam mengurangi kehilangan panas**

Isolator termal berfungsi mengurangi kehilangan panas dengan menghambat aliran panas melalui bahan yang memiliki konduktivitas termal rendah. Dengan demikian, perpindahan panas melalui konduksi, konveksi, dan radiasi dapat diminimalkan. Setiap isolator memiliki nilai konduktivitas termal, yang mana material nilai tersebut dapat ditentukan melalui pengukuran tak langsung. Nilai konduktivitas termal dari setiap

material menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan.

Nilai konduktivitas termal adalah sifat fisik bahan yang sangat penting saat memilih bahan untuk aplikasi proses perpindahan kalor. Laju perpindahan energi yang tinggi ditunjukkan oleh bahan dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi, yang dikenal sebagai sementara isolator adalah yang memiliki harga ( $k$ ) yang rendah [16].

#### **2.4 Pengaruh Penggunaan Isolator**

Burlian (2014), “Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor Dan Penurunan Temperatur Pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa” Dalam penelitian ini, triplek digunakan sebagai bahan isolator dengan variasi ketebalan 3 mm, 6 mm, hingga 9 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolator dengan ketebalan 9 mm memiliki kemampuan terbaik dalam meredam panas, menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi, serta mengurangi laju perpindahan panas dari permukaan tungku [22].

Kurniawati (2013), “Pengaruh Jenis Dan Ketebalan Material Terhadap Distribusi Temperatur Dinding Tungku Dengan Pendekatan CFD (Studi Kasus Di Industri Tempe Kecamatan Tenggilis Mejoyo Surabaya)” Sebelum dilakukan penambahan ketebalan 8 cm dan 10 cm, hasil simulasi menunjukkan bahwa material dengan *heat loss* (panas hilang) tertinggi adalah beton dengan ketebalan 2 cm, sedangkan yang terendah adalah *firebrick* dengan ketebalan 5 cm. Setelah penambahan ketebalan pada setiap jenis material, *heat loss* mendekati nol tercapai pada *firebrick* dengan ketebalan 10 cm. Nilai *heat loss* yang semakin rendah maka menghasilkan nilai efisiensi tungku yang semakin tinggi [23].

Ma'arif, M (2016). “Pengaruh Isolator Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Tipe *Downdraft*”. Pada penelitian ini menggunakan 3 bahan isolator yaitu serbuk batu bata, serbuk batu padas, dan pasir. Hasil yang didapatkan bahwa dengan menggunakan isolator dapat menaikkan temperatur pada proses pembakaran. Serbuk batu bata menunjukkan temperatur nyala efektif tertinggi sebesar 563,9°C dengan temperatur isolator terendah 103,6°C. Serbuk padas memiliki temperatur nyala efektif 540,8°C dengan temperatur isolator 135,8°C,

sementara pasir mencatat temperatur nyala efektif terendah 514,62°C dengan temperatur isolator tertinggi 147,7°C [24].

Dari hasil penelitian terdahulu bahwa isolator berpengaruh dalam mengoptimalkan energi dan meminimalisir *heat loss*. Dapat dilihat bahwa temperatur dari setiap pengujian menghasilkan peningkatan temperatur. Maka dari itu isolator berpengaruh terhadap peningkatan performa dari pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

## 2.5 Efisiensi Energi

### 2.4.1 Definisi efisiensi energi.

Efisiensi energi adalah upaya untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan dalam penggunaan peralatan atau sistem energi, tanpa mengorbankan kinerja yang diharapkan. Tujuan utamanya adalah memaksimalkan keluaran energi yang berguna dengan meminimalkan input energi, sehingga mengurangi pemborosan dan meningkatkan efektivitas penggunaan energi. Penelitian ini melakukan perbandingan antara panas yang keluar dan panas yang masuk. Untuk menghitung nilai efisiensi termal, perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta$  : Efisiensi (%)

$Q_{in}$  : Panas yang masuk (Watt)

$Q_{out}$  : Panas yang keluar (Watt)

Untuk memaksimalkan efisiensi pada *vacuum evaporator*, konsep dasarnya adalah membandingkan output panas yang diserap oleh air dengan input panas yang dihasilkan oleh bahan bakar. Efisiensi sistem ini dihitung berdasarkan rasio antara energi panas yang dimanfaatkan untuk proses penguapan air dengan total energi panas yang dipasok ke sistem. Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi ini dapat menggambarkan sejauh mana energi input dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung proses evaporasi [18].

#### 2.4.2 Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi energi.

*Vacuum evaporator* merupakan teknologi yang umum digunakan dalam berbagai industri, termasuk makanan, farmasi, dan pengolahan limbah, untuk memisahkan komponen cair dengan memanfaatkan prinsip pengurangan titik didih akibat tekanan rendah. Efisiensi energi dalam penggunaannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter desain, operasional, dan lingkungan.

1. Dari segi parameter desain Penelitian oleh Zahorulko menunjukkan bahwa memperbesar permukaan pertukaran panas dapat meningkatkan efisiensi termal evaporator. Hal ini dikarenakan transfer panas yang lebih efektif antara medium pemanas dan cairan yang diuapkan [25].
2. Pada kondisi vacuum dengan kondisi tekanan yang optimal mengurangi titik didih cairan sehingga membutuhkan energi lebih sedikit untuk pemanasan Adanya gas non-kondensabel dapat mengurangi efisiensi pemanasan dengan meningkatkan hambatan panas [26].
3. Pada kondisi oprasional Suhu awal cairan dan kehilangan panas ke lingkungan memengaruhi efisiensi sistem. Pengisolasian termal dapat mengurangi kehilangan energi. [27]

Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi energi seperti desain dari *vacuum evaporator*, perlakuan dari produksi serta, kondisi lingkungan sekitar dapat mempengaruhi dari efisiensi itu tersebut Pengoptimalan aspek-aspek ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga mendukung keberlanjutan energi dalam industri.