

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori mendasar yang digunakan sebagai acuan dalam menganalisis penelitian. Pembahasan dimulai dari konsep dasar pengeringan makanan, metode pengeringan yang diterapkan, hingga prinsip tekanan vakum, bagian ini juga membahas rumus-rumus perhitungan *thermal*, penggunaan alat ukur dan komponen pendukung yang digunakan selama pengujian, serta tinjauan terhadap penelitian terdahulu yang relevan dengan pembahasan ini.

2.1.1 Definisi Pengeringan Makanan

Pengeringan merupakan cara atau proses untuk mengeluarkan atau menghilangkan Sebagian air dari suatu bahan, dengan cara menguapkan kandungan air di dalam bahan menggunakan energi *thermal* (panas). Kandungan air yang di dikeringkan atau diuapkan dilakukan sampai batas mikroba tidak dapat tumbuh lagi di dalamnya. Pengeringan juga dapat diartikan sebagai suatu penerapan panas pada kondisi yang terkendali, untuk mengeluarkan sebagian besar air pada bahan pangan biasanya dilakukan dalam dua cara, yaitu evaporasi (penguapan air dari fase cair) dan sublimasi (penguapan air dari fase padat/membeku).

Pengeringan makanan atau yang dikenal dengan *food drying* adalah sebuah metode pengawetan makanan dengan cara menghilangkan kelembapan atau mengurangi kadar air yang terkandung di dalam makanan tersebut. Proses ini dilakukan untuk memperpanjang umur simpan makanan dan menjaga kualitasnya. Dalam *food drying*, kandungan air di dalam makanan dikurangi dan dihilangkan kadar airnya dari suatu bahan dengan cara mengeringkannya, hal ini juga berguna untuk mengurangi proses mikroorganisme dan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan.

Food Drying dimanfaatkan untuk mengawetkan berbagai jenis makanan, termasuk buah-buahan, sayuran, daging, ikan, dan rempah-rempah. Makanan yang telah dikeringkan biasanya memiliki umur simpan yang lebih lama, lebih ringan dan dapat mempertahankan sebagian besar nutrisi alaminya. Pengeringan makanan

memiliki tujuan untuk memudahkan dan menghemat ruang penyimpanan, hal ini dikarenakan proses pengeringan akan mengeluarkan sebagian besar kandungan air dari dalam bahan pangan, sehingga terjadi penyusutan volume dan massa. Hal ini akan mempermudah pengemasan pada proses packaging produk makanan kering.

Hasil dari pengeringan makanan ini sering disebut dengan *dry food*, beberapa contoh bahan makanan yang dikeringkan adalah buah-buahan seperti plum, anggur, tin, dan kurma. Sayuran juga dapat dikeringkan seperti bawang putih, bawang merah, bawang bombai, cabai, dan jamur, selain itu daging dan tanaman herbal juga dapat dikeringkan sesuai kebutuhan yang diperlukan.



Gambar 2.1 Bahan makanan yang dikeringkan (Sumber.sehat alami)

2.1.2 Jahe Sebagai Minuman Serbuk

Minuman jahe telah lama dikenal dalam berbagai tradisi pengobatan, baik sebagai penghangat tubuh maupun sebagai obat alami untuk mengatasi berbagai keluhan ringan seperti, flu dan gangguan pencernaan. Dalam pembuatan minuman jahe, biasanya jahe direbus dalam air mendidih untuk mengeluarkan rasa dan manfaat gizinya. Setelah air rebusan jahe siap, dapat ditambahkan gula atau madu untuk memberikan rasa manis tambahan yang seimbang dengan rasa pedas dari jahe. Beberapa variasi minuman jahe juga mencampurkan bahan lain seperti daun pandan, serai, atau perasan jeruk nipis untuk menambah aroma segar dan rasa yang lebih kaya.

Dalam beberapa tahun terakhir, minat terhadap jamu herbal semakin meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup dan kesadaran akan kesehatan. Banyak orang kini mencari alternatif alami untuk pengobatan konvensional, dan jamu jahe menjadi pilihan yang populer karena dianggap lebih aman dan alami.

Penelitian ilmiah juga mulai mendukung penggunaan jahe dalam jamu, menunjukkan efek positifnya pada kesehatan. Ini mendorong pengembangan produk jamu yang lebih baik, sehingga memberikan jaminan kualitas dan keamanan bagi konsumen.

Pemanfaatan jahe sebagai minuman herbal yang dapat diminum secara langsung atau disebut minuman siap saji (minuman instan) dengan membuat minuman tersebut dapat diseduh dengan air panas langsung tanpa perlu memotong dan memasak jahe terlebih dahulu, merupakan cara agar memudahkan dan dapat menyimpan minuman jahe dengan waktu yang lama. Hasil dari jahe ini akan berbentuk seperti serbuk agar dapat diseduh secara langsung dan memudahkan penyimpanan.

Jahe serbuk memiliki berbagai kegunaan yang luas dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam dunia kuliner, jahe serbuk sering digunakan sebagai bumbu dalam masakan, memberikan aroma dan rasa yang khas. Selain itu, jahe serbuk juga dapat digunakan dalam minuman, seperti teh jahe, atau dicampurkan dengan bahan lain untuk meningkatkan nilai gizi. Kelebihan lain dari jahe serbuk adalah kemudahan dalam penyimpanan dan pengukuran (berat dengan cara menimbang), membuatnya lebih praktis dibandingkan dengan jahe segar yang memerlukan persiapan lanjut untuk dikonsumsi.



Gambar 2.2 Minuman jahe serbuk (Sumber.Pribadi)

2.1.3 Metode Pengeringan Makanan

Banyak sekali metode dan peralatan yang digunakan untuk mengeringkan makanan, hal ini bertujuan agar makanan yang dikeringkan dapat bertahan lebih lama, beberapa metode dan cara sederhana yang digunakan oleh masyarakat untuk

mengeringkan makanan adalah dengan cara dikeringkan dengan memanfaatkan sinar matahari, proses nya adalah makanan yang dikeringkan akan dijemur di bawah sinar matahari, dan biasanya sebelum makanan dijemur, maka bahan makanan tersebut akan di potong(di iris) terlebih dahulu dengan tipis agar membantu proses pengeringan makanan lebih cepat.

Selain menggunakan sinar matahari untuk mengeringkan makanan, pengeringan dengan udara panas juga digunakan untuk mengeringkan makanan, hal ini karena lebih baik untuk mengeringkan makanan tanpa menggunakan sinar matahari. Karena sinar matahari dapat berubah-ubah suhunya, serta cuaca yang tidak mendukung setiap saat, sehingga memerlukan waktu yang lama dan tidak dapat digunakan secara berkelanjutan akan mempengaruhi proses pengeringan. Sehingga hal ini banyak yang menggunakan pengeringan makanan dengan udara panas untuk pengeringan makanan.

Penggunaan udara panas untuk mengeringkan makanan dapat diaplikasikan dan digunakan pada alat pengering makanan (*Food Dehydrator*) karena penggunaan udara panas dapat di hasilkan dari penggunaan kompor api ataupun kompor listrik dan *heater* listrik. Selain mudah dalam penggunaan, sumber yang digunakan juga dapat di temukan dalam kehidupan sehari-hari, serta penggunaan udara panas pada alat *dehydrator* ini dapat memberikan kontrol suhu yang stabil dan dapat di atur.

Salah satu manfaat utama dari *food dehydrator* adalah memperpanjang masa simpan makanan, dengan menghilangkan kadar air dari makanan, *dehydrator* membantu menghentikan pertumbuhan bakteri, jamur, dan mikroorganisme lainnya yang dapat membuat busuk makanan (basi). Proses ini memungkinkan makanan dapat disimpan dalam jangka waktu yang lebih lama tanpa perlu pendinginan atau pengawet kimia. Sehingga *food dehydrator* membantu mengatasi pemborosan makanan dan memungkinkan untuk memiliki persediaan makanan yang tahan lama.

Selain itu, penggunaan alat pengering makanan juga menghasilkan makanan yang ringan dan mudah dibawa, karena dengan mengurangi kadar air, makanan menjadi lebih ringan dan praktis. *Food Dehydrator* juga dikenal dengan kemampuannya dalam mempertahankan nilai nutrisi makanan, proses pengeringan

dengan suhu yang dikontrol memungkinkan makanan untuk tetap mengandung nutrisi penting seperti vitamin, mineral, dan antioksidan. Ini berbeda dengan metode pengeringan lainnya yang dapat menyebabkan hilangnya kandungan nutrisi tertentu.

Banyak jenis dan berbagai macam *food dehydrator* yang digunakan tergantung dengan jenis kegunaan dan keperluannya, biasanya akan berbeda juga nama alat yang digunakan tergantung pada jenis bahan maupun sistem kerja alat tersebut. Beberapa jenis alat *dehydrator* yang digunakan untuk mengeringkan bahan makanan seperti *vacuum dryer*, *cabinet dryer*, *oven dryer*, *drum dryer*, dan *spray dryer*.



Gambar 2.3 *Dryer system oven* untuk makanan dan obat (Sumber.maksindo)



Gambar 2.4 *Vacuum Drying* tipe rak (Sumber.Graha Mesin)

2.1.4 Tekanan Vakum

Tekanan vakum adalah tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer disekitar (tekanan atmosfer normal), tekanan vakum juga disebut sebagai tekanan negatif, karena di bawah dari 1 atm. Jika penurunan tekanan digunakan untuk menurunkan titik didih cairan agar lebih rendah dari titik didih air biasa pada

tekanan normal, yaitu pada 1 atm. Sehingga tanpa memerlukan suhu yang tinggi, penguapan akan tetap berlangsung.

Semakin rendah tekanan didalam ruang (semakin besar tekanan vakum) maka semakin rendah suhu panas (yang dibutuhkan dalam proses), semakin tinggi tingkat kevakuman maka akan memberikan kerapatan jenis fluida dalam ruang menjadi semakin rendah, sehingga pergerakan fluida semakin cepat. Selama penguapan, terjadi perubahan suhu yang disebabkan oleh perubahan tekanan, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tekanan merupakan fungsi dari kenaikan suhu (Rahayoe dkk, 2008).

Tekanan vakum dapat juga dikatakan sebagai tekanan rendah, tekanan yang rendah akan membuat titik uap air akan turun, sehingga air akan menguap pada suhu dibawah 100 °C. Tekanan vakum adalah ukuran gaya yang diberikan pada setiap satuan luas permukaan atau area tekanan, satuan tekanan adalah Newton per meter persegi (N/m²), yang sering disebut pascal (Pa).

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Satuan pascal terlalu kecil untuk menggambarkan tekanan yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari, sehingga biasanya digunakan satuan kilopascal (1.000 Pa) dan megapascal (1 juta pascal). Selain itu, satuan tekanan yang sering digunakan di lapangan adalah bar dan atmosfer standar, beberapa alat untuk cek tekanan juga menggunakan satuan cmHg.

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 101,32 \text{ kPa} = 1,013 \text{ bar}$$

$$1 \text{ cmHg} = 1.333,22 \text{ Pa} = 1,3 \text{ kPa} = 0,0133 \text{ bar}$$

Dalam sistem Inggris (*British Unit*) menyatakan satuan tekanan dalam satuan psi, singkatan dari *pounds per square inch* (psi). Rumus Tekanan:

$$p = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2. 1)$$

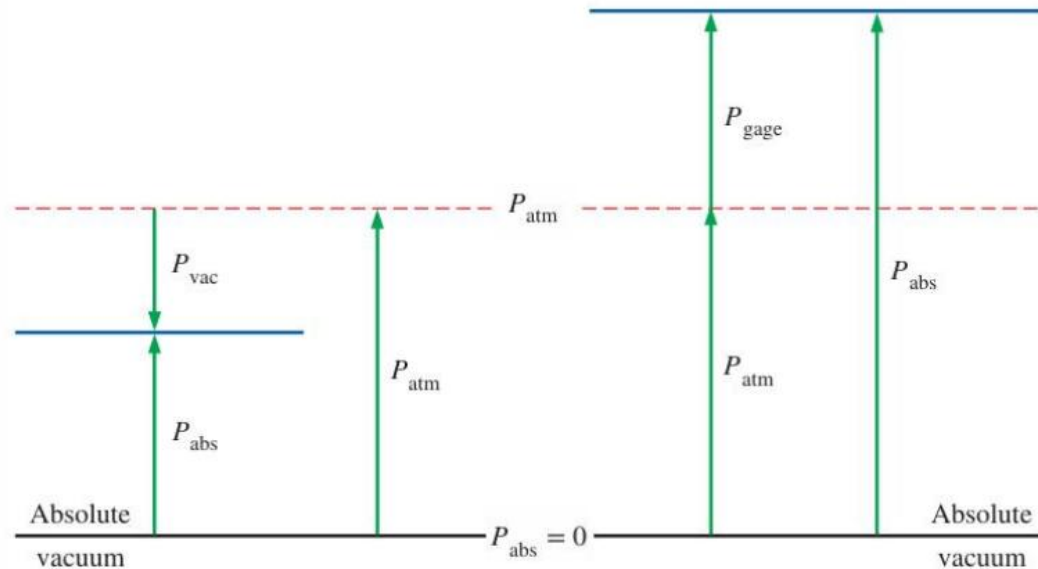
Keterangan:

p = Tekanan (N/m² atau Pa)

F = Gaya tekan (N)

A = Luas permukaan (m^2)

Berikut ini gambar penjelasan tentang P_{atm} , P_{abs} , dan P_{vacuum}



Gambar 2.5 *Reference Level Pressure* (Sumber. *Engineering Thermodynamics*-Yunus A. Cengel)

Untuk memahami mekanisme pengeringan pada kondisi vakum, diperlukan pemahaman mendasar mengenai garis acuan (*reference level*) dalam pengukuran tekanan. Berdasarkan gambar 2.5 hubungan antara tekanan atmosfer (P_{atm}), tekanan absolut (P_{abs}), tekanan terukur (P_{gage}), dan tekanan vakum (P_{vac}) dibagi menjadi dua acuan utama:

1. Pengertian Istilah Tekanan

- A. Vakum mutlak (nol absolut)

Garis hitam paling bawah menandakan kondisi di mana tidak ada molekul gas sama sekali di dalam suatu ruangan (ruang hampa udara mutlak). Ini menjadi titik dasar (0) untuk seluruh perhitungan tekanan absolut.

- B. Tekanan Atmosfer (P_{atm})

Garis putus-putus merah menunjukkan tekanan udara lingkungan di sekitar kita pada kondisi standar (sekitar $1 \text{ atm} \approx 101,3 \text{ kPa}$ atau 76 cmHg).

C. Tekanan Vakum (P_{vacuum})

Menunjukkan penurunan tekanan di bawah tekanan atmosfer (sisi sebelah kiri pada diagram). Nilai P_{vac} adalah besarnya nilai yang dibaca oleh alat ukur *vacuum gauge* saat pompa vakum menyedot udara keluar dari tabung.

D. Tekanan absolut (P_{abs})

Tekanan sebenarnya yang dialami oleh fluida/uap di dalam tabung, dihitung dari titik nol absolut (garis hitam paling bawah) sampai ke level tekanan sistem saat itu.

2. Persamaan Matematis dan hubungannya

Berdasarkan garis panah pada diagram (sisi sebelah kiri untuk kondisi vakum)

Tekanan absolut (P_{abs}) diperoleh dari selisih antara tekanan atmosfer (P_{atm}) dan besarnya tekanan vakum (P_{vac}) yang terukur oleh instrumen:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vac}}$$

atau jika dinyatakan dalam tekanan vakum:

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$

2.1.5 Perpindahan Kalor

Kalor merupakan energi yang berpindah dari suatu benda ke benda yang lain karena adanya perbedaan temperatur. Sedangkan perpindahan panas adalah proses perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah yang lainnya sebagai akibat dari perbedaan suhu antara kedua daerah tersebut.

Perpindahan panas dari sumber panas yaitu *heater* listrik pada tabung pengaduk terjadi karena pemanasan dari *heater* yang menghasilkan energi panas ke bahan cair di dalam tabung pengaduk. Oleh karena itu, perpindahan panas yang terjadi merupakan perpindahan panas konduksi.

Perpindahan panas berlangsung hingga mencapai kesetimbangan *thermal*, yaitu saat suhu antar benda atau wilayah menjadi sama (Wati, 2021). Perpindahan panas sendiri terbagi atas 2 macam, yaitu Konduksi dan Konveksi, namun pada penelitian ini yang digunakan adalah konduksi.

Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari area bersuhu tinggi ke area bersuhu rendah dengan media padat atau antara media yang bersinggungan secara langsung. Ketika suatu benda memiliki gradien suhu, panas dan energi akan bergerak dari bagian yang panas ke bagian yang lebih dingin. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa energi berpindah melalui konduksi.

Nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan, jika nilai konduktivitas termal suatu bahan semakin besar, maka semakin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Karena itu, bahan yang harga k -nya (konduktivitas termal) besar adalah penghantar panas yang baik, sedangkan jika k -nya kecil, maka bahan tersebut kurang menghantar atau merupakan isolator. Diketahui juga untuk konduktivitas termal dari material stainless stees 304 yang akan digunakan yaitu $K=18 \text{ W/m}\cdot\text{C}$ (pada suhu) berdasarkan jurnal dari (Ferry Setiawan, 2022) yang mengambil informasi tersebut dari situs “*The World Material*”

$$q = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{l} \dots\dots\dots (2. 2)$$

Keterangan:

- | | |
|-----------------------|---|
| q | = Energi panas yang ditransfer (Watt) |
| K | = Konduktivitas termal material ($\text{W/m}\cdot\text{C}$) |
| A | = Luas area permukaan tempat panas mengalir (m^2) |
| $T_1, T_2 (\Delta T)$ | = Suhu pada kedua sisi material (Celsius) |
| l | = Ketebalan material (m) |

2.1.6 Perhitungan Validasi Suhu Cairan

Karena adanya keterbatasan dalam memantau suhu cairan yang sedang di keringkan, *thermocouple* tidak dapat diletakkan pada bagian dalam tabung (menyentuh cairan secara langsung) hal ini karena adanya pengaduk yang mengaduk cairan jahe, maka digunakan perhitungan untuk mengetahui suhu

cairan melalui thermometer yang diletakkan di luar plat tabung bagian bawah.
Diketahui:

ΔT konduksi = $T_s - T_i$ (suhu permukaan luar–suhu permukaan di dalam)

A = Luas selimut, luas yang dihitung hanya bagian tabung yang ditutupi atau menempel dengan heater

$A_{\text{selimut}} = \pi \times d \times t$

K = 18 W/m. °C => dengan suhu 200°C

Δx = (meter)

q = (watt)

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\Delta T = \frac{q \cdot \Delta x}{k \cdot A} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.1.7 Perhitungan Titik Didih

Suhu didih dalam penelitian ini sangat penting, baik untuk perancangan alat dan perhitungan untuk analisa yang akan dilakukan. Hal ini dikarenakan penggunaan vakum pada alat pengering cairan ini membantu proses pengeringan menjadi lebih cepat dengan menurunkan titik didih dari cairan yang akan dilakukan proses pengeringan. Sehingga sebelum memulai proses perancangan alat perlu untuk mengetahui terlebih dahulu berapa titik didih dari cairan yang akan dilakukan proses pengeringan, agar penggunaan komponen dan energi yang digunakan tidak salah dan sesuai dengan bahan yang digunakan.

Dalam menentukan berapa titik didih cairan yang akan dilakukan proses pengeringan, kita perlu menggunakan persamaan Antoine yang diturunkan dari hubungan Clausius-Clapeyron, karena persamaan ini dirancang untuk menghitung tekanan uap cairan pada suhu tertentu. Hubungannya dengan persamaan Clausius-Clapeyron adalah bahwa persamaan Antoine merupakan model empiris untuk menghitung tekanan uap jenuh cairan yang dimodelkan berdasarkan modifikasi hubungan Clausius-Clapeyron (Poling dkk., 2001 dalam Han dan In, 2017)

Sehingga kita dapat menggunakan persamaan Antoine untuk mengetahui berapa titik didih cairan yang ada di dalam tabung dengan tekanan vakum.

Persamaan Antoine:

$$\log(10) P = A - \frac{B}{C+T} \dots\dots\dots(2. 5)$$

Keterangan:

Log(10) P = Tekanan uap (mmHg, atau dapat dikonversi ke atm atau Pa).

A,B,C = Konstanta Antoine untuk air

T = Suhu (°C)

Untuk mengubah posisi dan menjadikan persamaan tersebut untuk mencari suhu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{B}{A - \log(10)P} - C \dots\dots\dots(2. 6)$$

2.1.8 Perhitungan Titik Didih Cairan Campuran

Perhitungan ini dibutuhkan jika bahan yang akan dilakukan proses pengeringan memiliki campuran bahan lain sebagai pembantu proses maupun sebagai bahan perasa tambahan, hal ini perlu dilakukan agar mengetahui suhu didih cairan yang bercampur dengan bahan tambahan. Sehingga proses pengeringan dengan pemanas dapat dipantau dengan suhu yang telah diketahui.

Dengan menggunakan perhitungan kenaikan titik didih teoritis (ΔT_b)

Diketahui:

Bahan Utama (jahe) = perhitungan yang digunakan jika kadar air 85%

M_m = Massa molar sukrosa (gram/mol)

K_b = Konstanta Ebulioskopik Air => 0,512°C kg/mol

m = Massa bahan campuran (Gram) => jika cairan jahe 1 kg maka penggunaan gula (sebagai bahan tambah) adalah 800 gram (80% dari bahan utama), komposisi didapatkan dari wawancara langsung dengan pembuat serbuk jahe.

$$\text{mol Gula} \Rightarrow \text{mol} = \frac{\text{massa}}{M_m}$$

$$\text{molalitas larutan (M)} \Rightarrow m = \frac{\text{mol}}{\text{kadar air}}$$

Maka kenaikan titik didih teoritis ΔT_b :

$$\Delta T_b = K_b \cdot M \cdot i \dots\dots\dots(2. 7)$$

Keterangan :

ΔT_b = Kenaikan titik didih campuran

K_b = Konstanta Ebulioskopik Air (Kg/mol)

M = Massa bahan campuran

i = Zat Nonelektrolit (air = 1)

2.1.9 Perhitungan Laju Penguapan & Efisiensi

Proses pengeringan cairan jahe menjadi produk serbuk pada tabung pengering dengan *vacuum dryer extractor* mengacu pada Hukum Kekekalan Massa (*Conservation of Mass*). Berdasarkan hukum termodinamika dasar ini, massa di dalam suatu sistem tertutup atau volume teratur (*control volume*) tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, melainkan hanya mengalami perubahan wujud fasa atau berpindah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam proses pengeringan *steady state*, total massa bahan baku cair yang dimasukkan ke dalam tabung pengering (massa masuk) harus setara dengan akumulasi total massa produk akhir dan massa fluida yang keluar dari sistem (massa keluar).

$$E_{in} - E_{out} + E_g = E_{st} \dots \dots \dots (2. 8)$$

Keterangan:

E_{in} = Energi Masuk

E_{out} = Energi Keluar

E_g = Energi Generated (pembangkitan energi didalam sistem)

E_{st} = Energi Stored (penyimpanan energi sistem)

E_g (energi *generated*) dianggap 0 karena tidak ada reaksi kimia yang menghasilkan energi baru didalam tabung & E_{st} (energi *stored*) dianggap 0 karena analisis dianggap pada kondisi *steady state*, sehingga rumus tersebut menjadi sebagai berikut:

$$E_p - E_{sat} = 0$$

Atau dapat dikatakan Energi masuk – Energi keluar = 0. Sehingga

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = 0 \dots \dots \dots (2. 9)$$

$\dot{m}_{in}$ = massa bahan cairan jahe yang dimasukkan kedalam tabung pengering

$\dot{m}_{out}$ = massa yang keluar ini akan terbagi menjadi 2, yaitu massa hasil serbuk (fisik serbuk padat) dan massa uap yang keluar dari proses pengeringan

berlangsung.

Hal ini dikarenakan sesuai hukum kekekalan energi yaitu massa di dalam suatu sistem tertutup atau volume teratur (*control volume*) tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, melainkan hanya mengalami perubahan wujud fasa atau berpindah dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

Untuk menentukan komponen $\dot{m}_{out}$ yang terbagi menjadi dua wujud fasa (fasa uap gas dan fasa padatan kering serbuk), pendekatan mekanika fluida digunakan untuk menghitung total massa uap yang keluar melalui sistem vakum. Laju aliran massa uap ($\dot{m}_{uap}$) yang keluar dari ruang pengering dirumuskan sebagai perkalian antara massa jenis uap air (ρ_{uap}) pada kondisi operasi dengan debit aliran efektif uap (Q_{uap}) yang dihisap oleh pompa:

$$\dot{m}_{uap} = \rho_{uap} \times Q_{uap} \dots \dots \dots (2. 10)$$

Dengan penjelasan satuan yang digunakan adalah

$$\dot{m}_{uap} = \left(\frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \right) \times \left(\frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}} \right) = \frac{\text{Massa}}{\text{Waktu}} \quad \left(\frac{\text{gram}}{\text{menit}} \right)$$

Untuk memperoleh akumulasi total massa uap air yang berhasil dikeluarkan (m_{uap}) selama rentang waktu pengeringan tertentu (t), laju aliran massa uap ($\dot{m}_{uap}$) dikalikan dengan total durasi waktu operasi pengeringan (t), yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$m_{uap} = \dot{m}_{uap} \times t \dots \dots \dots (2. 11)$$

Atau jika diturunkan secara lengkap:

$$m_{uap} = \rho_{uap} \times Q_{uap} \times t \dots \dots \dots (2. 12)$$

Dengan penjelasan satuan yang digunakan adalah:

$$m_{uap} = \left(\frac{\text{gram}}{\text{liter}} \right) \times \left(\frac{\text{liter}}{\text{menit}} \right) \times (\text{menit}) = \text{gram}$$

Keterangan variabel beserta satuan baku yang digunakan dalam Persamaan (2.10) hingga (2.12) adalah sebagai berikut:

- m_{uap} = Total massa uap air yang keluar (gram)
- $\dot{m}_{uap}$ = Laju aliran massa uap air (gram/menit)
- ρ_{uap} = Massa jenis uap air pada suhu dan tekanan operasi (gram/liter atau kg/m^3)
- Q_{uap} = Debit aliran hisapan uap murni efektif (liter/menit)

- t = Total durasi waktu proses pengeringan (menit)

Besarnya nilai massa jenis uap air (ρ_{uap}) tidak bernilai konstan, melainkan merupakan fungsi dari temperatur kerja (T) dan tekanan operasi (P) sistem. Nilai ini ditentukan secara termodinamika dengan merujuk pada Tabel Sifat Termodinamika Air Jenuh (*Table A-4: Saturated Water - Temperature Table*).

Dalam tabel termodinamika tersebut, besaran fasa uap dinyatakan sebagai Volume Spesifik Uap Jenuh (v_g) dengan satuan m^3/kg . Hubungan antara massa jenis uap (ρ_{uap}) dengan volume spesifik uap jenuh (v_g) didefinisikan secara matematis sebagai nilai kebalikannya (*invers*), seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.13):

$$\rho_{\text{uap}} = \frac{1}{v_g} \dots \dots \dots (2.13)$$

Sebagai gambaran teoritis pada temperatur kerja pemanasan konstan 90°C , nilai volume spesifik uap jenuh yang dibaca dari Table A-4 adalah sebesar $v_g = 2,3593 \text{ m}^3/\text{kg}$. Melalui konversi persamaan kebalikan tersebut, nilai massa jenis uap air (ρ_{uap}) diperoleh sebesar:

$$\rho_{\text{uap}} = \frac{1}{2,3593 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0,4238 \text{ kg/m}^3$$

Untuk mempermudah kalkulasi dengan debit aliran pompa yang menggunakan satuan volume liter per menit (liter/menit), satuan kg/m^3 dikonversikan ke dalam satuan gram/liter dengan faktor kesetaraan $1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ gram/liter}$, sehingga diperoleh:

$$\rho_{\text{uap}} = 0,4238 \text{ gram/liter}$$

Nilai ρ_{uap} yang berasal tabel termodinamika ini selanjutnya menjadi acuan standar dalam melakukan validasi matematis perhitungan perbedaan massa dan debit hisapan efektif pompa vakum pada pembahasan bab selanjutnya.

Untuk mengetahui tingkat laju penguapan air dari bahan, laju penguapan aktual dihitung dengan membagi total massa air yang berhasil diuapkan dengan total waktu proses pengeringan. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan massa dari bentuk fisik, sedangkan rumus sebelumnya adalah untuk mengetahui massa uap yang keluar dari proses pengeringan.

$$\Delta massa = massa \text{ input} - massa \text{ output (gram)}$$

Waktu = menit

$$\text{Laju Penguapan (}\dot{m}\text{)} = \frac{\Delta massa}{waktu} \dots\dots\dots(2. 14)$$

Untuk mengetahui efisiensi proses pengeringan dari bahan, efisiensi rendeman aktual dihitung dengan membagi massa kering dengan massa bahan masuk awalnya lalu di kali 100% untuk mengetahui persentasi efisiensi rendeman proses pengeringan dari tiap variasi.

$$Efisiensi = \frac{m \text{ kering}}{m \text{ masuk}} \times 100\% \dots\dots\dots(2. 15)$$

Perhitungan ini akan digunakan sebagai pembandingan dari proses pengeringan yang dilakukan, karena dengan menggunakan persamaan ini kita dapat mengetahui laju penguapan bahan gram/menit dan efisiensi hasil pengeringan sehingga dapat menjadi acuan yang penting sebagai data hasil pada pembahasan bab 4 selanjutnya.

2.1.10 Validasi Pengaruh Suhu Terhadap Tekanan Vakum

Hubungan sebab akibat antara kenaikan temperatur cairan pada tabung terhadap kondisi tekanan di dalam tabung vakum dapat divalidasi secara teoritis menggunakan pendekatan hukum gas ideal. Berdasarkan hukum Gay-Lussac pada kondisi volume yang tetap (proses isokhorik, $V = \text{konstan}$), tekanan dari massa gas berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya. Secara matematis, hubungan tersebut dinyatakan melalui Persamaan (2.16) berikut:

$$\frac{P1 . V1}{T1} = \frac{P2 . V2}{T2} \Rightarrow \text{karena } V \text{ (volume) tetap maka } \Rightarrow \frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

$$P1 = \frac{P2 . T1}{T2} \dots\dots\dots(2. 16)$$

Keterangan:

- P1 = Tekanan pada keadaan 1 (keadaan awal)
- P2 = Tekanan pada keadaan 2 (keadaan akhir)
- T1 = Suhu awal atau keadaan 1 (°C)
- T2 = Suhu akhir atau keadaan 2(°C)

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa ketika T1 mengalami kenaikan maka nilai P1 akan naik. P1 disini adalah Pabs, dimana Pabs = Patm-Pvakum. Untuk nilai Patm tetap (76cmHg = 1atm) sehingga dengan persamaan matematis tersebut ketika T1 naik, maka Pabs akan mengalami kenaikan juga, lalu

mengakibatkan P_{vakum} akan turun.

Di dalam sistem pengeringan menggunakan vakum, fenomena ini mendasari karakteristik perubahan tekanan absolut (P_{abs}) ruang akibat pengaruh suhu. Ketika temperatur cairan (T) meningkat akibat panas dari *heater*, energi kinetik molekul air di dalam bahan ikut meningkat. Proses perubahan fase dari cair menjadi gas (*vaporization*) ini menghasilkan akumulasi massa uap air baru yang mengisi volume ruang kosong (*headspace*) tabung.

Karena tabung pada volume yang tetap (V) dan tutup tersebut tertutup rapat, bertambahnya jumlah mol gas uap air, maka akan meningkatkan tekanan absolut didalam tabung.

Peningkatan tekanan absolut (P_{abs}) akibat akumulasi uap panas ini memberikan dampak berupa penurunan tingkat kevakuman yang terbaca pada alat ukur (*vacuum gauge*). Validasi teoritis hukum gas ideal ini sangat penting untuk menganalisis sifat termodinamika tabung, di mana laju kenaikan temperatur cairan harus selalu diimbangi dengan laju penarikan atau pembuangan uap yang seimbang oleh pompa vakum yang digunakan.

2.1.11 Teori Gas Ideal

Perilaku fase uap air yang terbentuk selama proses pengeringan vakum dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan prinsip Kinetik Gas Ideal, pendekatan ini digunakan untuk mengamati perubahan kondisi termodinamika uap air didalam tabung. Seperti hubungan antara tekanan absolut (P), volume spesifik (V), dan temperature (T), persamaan dasar gas ideal dirumuskan sebagai berikut:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \dots\dots\dots(2. 17)$$

P = Tekanan Absolut gas (Pa atau N/m^2)

V = Volume tabung (m^3)

n = Jumlah mol zat gas (mol)

R = Konstanta gas universal (8,314 J/mol . K)

T = Temperatur Mutlak Gas (K atau C)

Dalam sistem pengeringan tertutup, massa uap di dalam tabung pengering pada suatu keadaan dianggap berada pada kondisi mol (n) yang konstan. Karena nilai jumlah mol (n) dan konstanta gas universal (R) bersifat tetap, maka hasil kali keduanya ($n.R$) juga menghasilkan suatu nilai konstan (C). Lalu persamaan dasar gas ideal tersebut diubah dengan memindahkan variabel temperatur (T) ke ruas kiri menjadi:

$$\frac{P.V}{T} = n.R$$

Karena $n.R = \text{konstan}$, maka persamaan diatas menunjukkan bahwasannya nilai rasio $\frac{P.V}{T}$ akan selalu bernilai tetap meskipun system mengalami perubahan termodinamika $\frac{P.V}{T} = \text{Konstan}$. Jika system mengalami perubahan dari keadaan awal (keadaan 1) menuju keadaan akhir (keadaan 2), hubungan antara kedua keadaan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Keadaan awal (keadaan 1)} \quad \frac{P_1.V_1}{T_1} = n.R$$

$$\text{Keadaan akhir (keadaan 2)} \quad \frac{P_2.V_2}{T_2} = n.R$$

Dengan menyamakan kedua persamaan berdasarkan nilai konstan $n.R$, didapatkan persamaan Hukum Gabungan Gas (*Combined Gas Law*):

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2} \dots\dots\dots(2. 18)$$

Persamaan 2.13 tersebut merupakan sintesis dari 3 hukum fisika klasik yaitu:

1. Hukum Boyle (T konstan / Isotermal)

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$

2. Hukum Charles (P konstan/ Isobarik)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

3. Hukum Gay-Lussac (V konstan/ Isokhorik)

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

2.1.12 Beda Potensial Penguapan

Fenomena peningkatan laju penguapan pada kondisi vakum dapat dijelaskan secara teoritis melalui analisis gradien tekanan uap (ΔP). Gradien tekanan uap ini merupakan selisih matematis antara tekanan uap jenuh fluida pada suhu operasi pemanasan (P_{sat}) dengan tekanan absolut di dalam ruang pengering (P_{abs}). Potensial perpindahan massa uap air terjadi ketika tekanan uap jenuh cairan melebihi tekanan absolut lingkungan di sekitarnya.

Berdasarkan Tabel Sifat Termodinamika Air (Saturated Water Table), tekanan uap jenuh (P_{sat}) air pada suhu operasi konstan 90°C adalah sebesar 526 mmHg. Sementara itu, tekanan absolut (P_{abs}) ruang pengering bervariasi bergantung pada daya hisap pompa. Dengan asumsi tekanan atmosfer standar 760 mmHg, maka nilai ΔP untuk masing-masing variasi adalah sebagai berikut:

Secara matematis, persamaan gradien penguapan ditentukan sebagai berikut:

$$\Delta P = P_{sat} - P_{abs} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan variabel dari persamaan di atas adalah:

- ΔP = Gradien penguapan (mmHg)
- P_{sat} = Tekanan uap jenuh cairan pada suhu operasi (mmHg)
- P_{abs} = Tekanan absolut di dalam ruang pengering vakum (mmHg)

2.1.13 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi spesifik (*Specific Energy Consumption*) merupakan parameter utama dalam menghitung efisiensi penggunaan energi pada proses pengeringan. Parameter ini menunjukkan besarnya energi listrik total yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan massa produk kering (1 kg). Total energi listrik (E_{total}) yang dikonsumsi oleh mesin *vacuum dryer extractor* diperoleh dari hasil perkalian antara total daya listrik seluruh komponen aktif (pemanas/heater, motor pengaduk, dan pompa vakum) dengan durasi waktu operasi pengeringan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$E_{total} = P_{total} \times t \dots \dots \dots (2.20)$$

Besarnya energi spesifik per kilogram produk kering (E_{produk}) selanjutnya dihitung dengan membagi total energi listrik terpakai terhadap total massa serbuk jahe murni yang dihasilkan pada akhir proses pengeringan:

$$E_{\text{produk}} = \frac{E_{\text{total}}}{m_{\text{serbuk}}} \dots\dots\dots(2. 21)$$

Keterangan:

- E_{produk} = Energi spesifik per kilogram hasil produk (kWh/kg)
- E_{total} = Total konsumsi energi listrik (kWh)
- P_{total} = Daya listrik total peralatan (kW)
- t = Total waktu operasi pengeringan (jam)
- m_{serbuk} = Massa serbuk kering akhir hasil proses (kg)

2.1.14 Suhu atau Temperatur

Suhu atau temperatur adalah satu besaran pokok pada fisika yang menyatakan panas dinginnya suatu objek, Satuan Internasional (SI) yang digunakan untuk suhu adalah Kelvin (K). simbol yang digunakan untuk melambangkan suhu atau temperatur adalah “T”. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu disebut dengan termometer, secara fisika suhu dianggap sama dengan temperatur, sedangkan secara bahasa keduanya dianggap sedikit berbeda. Menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), suhu adalah ukuran kuantitatif terhadap panas dinginnya sesuatu yang diukur dengan termometer, sedangkan temperatur adalah panas dinginnya badan atau hawa.

Terdapat 4 satuan suhu yang digunakan, namun biasa yang sering digunakan adalah menggunakan suhu jenis Celcius.

1. Celcius (°C)

Celcius adalah satuan yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Titik didih air pada satuan ini adalah 100°C dan titik beku air pada 0°C

2. Fahrenheit (°F)

Titik beku air untuk satuan Fahrenheit berada pada suhu 32°F, dan titik didih air pada suhu 212°F. Satuan suhu Fahrenheit ini banyak digunakan di negara-negara Eropa.

3. Reaumur (°R)

Titik bawah (titik beku air) Reaumur adalah 0°R dan titik didih air sebesar 80°R .

4. Kelvin (K)

Kelvin adalah satuan suhu dalam sistem Satuan Internasional (SI), Kelvin ditetapkan berdasarkan perhitungan suhu minimal, suhu yang dinyatakan dengan kelvin disebut suhu mutlak (*absolute*). Khusus pada skala Kelvin tidak ada nilai suhu negatif. Oleh karena itu, penulisan pengukuran suhu Kelvin tanpa disertai dengan derajat dan cukup ditulis dengan K saja. Titik didih air pada suhu $273,15\text{ K}$ dan titik didih air pada suhu $373,15\text{ K}$.

Rumus Konversi Suhu:

	Celcius	Reamur	Fahrenheit	Kelvin
Celcius		$R = 4/5 \times C$	$F = 9/5 \times C + 32$	$K = C + 273$
Reamur	$C = 5/4 \times R$		$F = 9/4 \times R + 32$	$K = 5/4 \times R + 273$
Fahrenheit	$C = 5/9 \times (F - 32)$	$R = 4/9 \times (F - 32)$		$K = 5/9 (F - 32) + 273$
Kelvin	$C = K - 273$	$R = 4/5 \times (K - 273)$	$F = 9/5 \times (K - 273) + 32$	

Gambar 2.6 Konversi Suhu

2.1.15 Alat Ukur dan Alat yang Digunakan dalam Penelitian

Adapun alat ukur dan alat pendukung lainnya yang digunakan untuk penelitian pada proyek akhir adalah sebagai berikut:

1. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan selama proses percobaan pengambilan data pada proses pengeringan berlangsung. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama bahan pangan yang dikeringkan dapat kering menjadi serbuk.



Gambar 2.7 *Stopwatch* (Sumber.Parto Indonesia)

2. *Timbangan*

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat atau massa suatu benda, jenis-jenis timbangan dapat dibagi menjadi timbangan manual dan timbangan digital atau elektronik. Dalam penelitian ini menggunakan timbangan digital agar dapat membedakan dari pengukuran berat awal dan hasil akhir dari proses pengeringan yang telah dilakukan.



Gambar 2.8 Timbangan Digital (Sumber.pribadi)

3. *Termokopel*

Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor

berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Termokopel merupakan sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan, hal ini disebabkan oleh perbedaan kerapatan yang dimiliki oleh masing-masing logam yang bergantung pada massa jenis logam.

Sama halnya dengan sensor pada umumnya yang dapat digunakan sebagai input pada sebuah sistem kendali, sensor termokopel selain dapat membaca perubahan suhu, juga dapat berperan sebagai input analog pada sebuah sistem kendali seperti *thermocontrol* pada *heater*. Di dalam dunia industri, penggunaan sensor termokopel sering dijumpai pada sistem yang mengharuskan suhu tertentu mengaktifkan output atau dengan kata lain pada saat parameter suhu dijadikan sebagai input analog. (Wendri, Supardi, Suarbawa, & Yuliantini, 2012).

Komponen ini digunakan untuk memantau suhu secara realtime (langsung). Cara kerja termokopel cukup mudah dan sederhana, dua jenis logam konduktor yang berbeda jenis digabung pada ujungnya, satu jenis logam konduktor pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan(tetap) sedangkan satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.



Gambar 2.9 Termokopel (Sumber.pribadi)

Jenis-jenis termokopel yang banyak digunakan sebagai berikut:

a) Termokopel tipe K

Termokopel tipe K direkomendasikan untuk atmosfer oksidasi berkelanjutan atau netral. Digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti pemanasan, pengeringan, kontrol suhu dalam furnace, dan pengukuran suhu pada mesin. Bahan dari termokopel tipe K ini adalah Chromel (nikel-chromium) dan Alumel (nikel-aluminium).

b) Termokopel tipe J

Termokopel tipe J direkomendasikan untuk untuk tekanan vakum, reduksi, atau inert, dan atmosfer oksidasi. Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pengukuran suhu pada rentang suhu yang lebih rendah, cocok untuk aplikasi suhu rendah hingga menengah, seperti pengukuran suhu pada oven dan ruang pengeringan, Tidak cocok untuk penggunaan dalam atmosfer oksidatif atau dalam kondisi yang sangat berkarat karena kawat besi mudah berkarat. Bahan dari termokopel tipe J ini adalah Besi (Iron) dan Constantan (paduan tembaga-nikel).

c) Termokopel tipe T

Termokopel tipe T dapat digunakan dalam atmosfer oksidasi, reduksi, atau inert serta kondisi vakum. Termokopel ini tidak mengalami korosi dalam atmosfer lembap. Digunakan dalam eksperimen di laboratorium yang memerlukan pengukuran suhu pada rentang yang lebih rendah atau pengukuran dengan ketelitian yang tinggi. Bahan dari termokopel tipe T ini adalah Tembaga (Cu) dan Constantan (paduan tembaga-nikel).

d) Termokopel tipe E

Termokopel tipe E digunakan dalam pengukuran suhu rendah atau aplikasi yang membutuhkan sensitivitas tinggi. Bahan dari termokopel tipe E ini adalah Chromel dan Constantan.

e) Termokopel tipe N

Termokopel tipe N ini lebih tahan terhadap oksidasi dan stabilitas jangka panjang yang lebih baik pada suhu tinggi. Cocok untuk aplikasi suhu tinggi dan ekstrim, banyak digunakan dalam industri energi dan metalurgi. Bahan dari termokopel tipe N ini adalah Nicrosil dan Nisil.

f) Termokopel tipe S&R

Termokopel tipe S&R dikenal karena ketepatannya yang sangat tinggi dan stabilitas yang sangat baik pada suhu tinggi

serta sangat tahan terhadap korosi dan oksidasi dan ideal untuk pengukuran suhu presisi tinggi dan dalam kondisi ekstrem. Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan akurasi tinggi dan suhu tinggi, seperti penelitian ilmiah, industri farmasi, dan kalibrasi suhu. Bahan dari termokopel ini adalah Platinum (sebagai logam positif) dan Platinum/Rhodium (sebagai logam negatif).

g) Termokopel tipe B

Termokopel tipe B memiliki ketahanan yang luar biasa pada suhu tinggi, cocok untuk aplikasi suhu sangat tinggi. Digunakan dalam aplikasi pengukuran suhu yang sangat tinggi seperti furnace industri dan penelitian ilmiah dengan suhu ekstrem. Bahan dari termokopel ini adalah Platinum-Rhodium (sebagai logam positif) dan Platinum-Rhodium (sebagai logam negative).

Thermocouple Type	Temperature Range (°C)				
	Short Term Use	Continuous Use	Class 1 Tolerance	Class 2 Tolerance	Class 3 Tolerance
Type E	-40 to 900	0 to 800	-40 to 800	-40 to 900	-40 to 904
Type J	-180 to 800	0 to 750	-40 to 750	-40 to 750	N/A
Type K	-180 to 1300	0 to 1100	-40 to 1000	-40 to 1200	-180 to 1300
Type N	-270 to 1300	0 to 1100	-40 to 1000	-40 to 1200	-270 to 1304
Type R	-50 to 1700	0 to 1600	0 to 1600	0 to 1600	N/A
Type S	-50 to 1750	0 to 1600	0 to 1600	0 to 1600	N/A
Type T	-250 to 400	-185 to 300	-40 to 350	-40 to 350	-250 to 404
Type B	0 to 1820	200 to 1700	N/A	600 to 1700	4 to 1820

Gambar 2.10 Jenis dan kapasitas suhu kerja Termokopel

(Sumber.SterlingSensors)

Pada penelitian ini menggunakan termokopel dengan tipe K probe 20mm dan jenis pelindungan stainless steel karena termokopel pada tipe dan jenis ini sangat cocok untuk digunakan pada kondisi ruangan vakum dan aman untuk makanan (*food grade*) sehingga untuk aplikasi ruangan vakum dengan suhu kerja sekitar 0-150 °C, termokopel tipe K adalah pilihan yang tepat karena rentang suhu yang luas dan biaya yang terjangkau.

4. *Pressure Vacuum Gauge*

Pressure vacuum gauge adalah alat pengukur tekanan yang digunakan untuk mengukur tekanan dalam ruang hampa atau tekanan negatif (*vacuum*). Dalam pengukuran ini, tekanan yang diukur berada di bawah tekanan atmosfer normal (tekanan lebih rendah daripada atmosfer), dan alat ini sering digunakan untuk mengukur tekanan pada sistem vakum, seperti dalam proses industri, penelitian ilmiah, atau dalam sistem pemompaan vakum. Pada penelitian ini menggunakan *vacuum pressure gauge* dengan skala tekanan sampai -76 cmHg (-1 atm), hal ini dikarenakan tekanan vakum maksimal dari pompa vakum yang digunakan adalah 5Pa. Sehingga dengan *pressure vacuum gauge* dengan kapasitas seperti itu sudah cukup untuk digunakan.



Gambar 2.11 *Pressure Vacuum Gauge* (Sumber.pribadi)

5. *Pompa Vacuum*

Pompa Vacuum adalah alat yang digunakan untuk menghilangkan udara atau gas dari suatu ruang tertutup maupun sistem, sehingga menciptakan kondisi vakum (tekanan lebih rendah dari atmosfer). Vakum ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari industri hingga laboratorium ilmiah. Fungsi utama dari pompa vakum adalah untuk menarik atau menghisap udara atau gas dari ruang tersebut, yang seringkali dibutuhkan untuk proses seperti proses pengeringan untuk makanan, pakaian, maupun industri kesehatan, pengujian sistem, dan aplikasi lainnya.

Cara kerja pompa vakum adalah menciptakan perbedaan tekanan sehingga udara atau gas mengalir dari area bertekanan tinggi ke area

bertekanan rendah. Cara kerja pompa vakum ini adalah dengan berputar (*Rotary Vane*) atau dapat disebut sebagai *sliding vane* yang memaksa fluida tertentu dengan memberikan tekanan sehingga fluida atau udara tersebut akan terdorong keluar dari sistem yang akan dijadikan ruangan vakum. Dengan cara ini, pompa vakum dapat mengurangi tekanan udara di dalam ruangan atau sistem tertentu hingga mencapai tingkat tekanan yang sangat rendah. Prinsip dasar kerja pompa vakum adalah dengan mengurangi tekanan udara di dalam ruang tertutup tersebut, sehingga udara atau gas di dalamnya akan dihisap keluar.

Cara kerja tekanan vakum adalah dengan mengeluarkan udara dari volume tertutup akan menghasilkan perbedaan tekanan antara volume dan atmosfer di sekitarnya . Keunggulan utama dari penggunaan *vacuum pump* adalah kemampuannya menciptakan ruang dengan tekanan lebih rendah, yang membuka berbagai kemungkinan di berbagai bidang teknologi dan penelitian. Pada penelitian ini menggunakan pompa vaccum dengan spesifikasi hisap max atau dapat membuat tekanan vakum maksimal sebesar 5Pa yaitu pompa vakum JB-L tipe LT-6.0B (1/2 HP).



Gambar 2.12 *Vacuum Pump* (Sumber.Pribadi)

6. *Moisture Meter*

Moisture meter adalah instrumen pengukuran yang berfungsi untuk menganalisis tingkat kelembaban atau kadar air pada suatu material. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor atau *probe* khusus yang bekerja berdasarkan metode resistansi, kapasitif, maupun elektromagnetik tergantung pada spesifikasi alat. Hasil deteksi sensor

dikonversi secara otomatis dan ditampilkan dalam bentuk persentase digital pada layar instrumen. Alat ini digunakan dalam proses pengujian material untuk memastikan kadar air bahan berada dalam rentang spesifikasi yang dipersyaratkan. Pada instrumen tingkat lanjut, *moisture meter* sering kali dilengkapi dengan fitur kompensasi suhu otomatis untuk meningkatkan akurasi pembacaan pada berbagai kondisi lingkungan.



Gambar 2.13 *Moisture Meter* (Sumber.Pribadi)

7. *Band Heater*

Band heater adalah alat pemanas yang digunakan untuk memanaskan permukaan silinder, seperti tabung. Heater ini dirancang untuk memberikan distribusi panas yang merata di sekitar permukaan yang berbentuk silindris seperti tabung, band heater biasanya terbuat dari bahan yang dapat menahan suhu tinggi dan memiliki elemen pemanas, band heater dapat bekerja pada suhu antara suhu ruang 30°C hingga 500°C, tergantung pada material dan penggunaannya. Band heater sangat penting dalam berbagai aplikasi

industri, terutama dalam proses yang membutuhkan kontrol suhu yang tepat dan tetap selama proses pemanasan.



Gambar 2.14 *Band Heater* (Sumber.Pribadi)

Komponen utama pada band heater

1. Elemen Pemanas (*Heating Element*) yang digunakan pada *band heater* biasanya terbuat dari bahan konduktif seperti kawat nikel-krom atau bahan lainnya yang memiliki konduktivitas termal yang baik. Elemen ini menghasilkan panas ketika arus listrik mengalir melaluinya.
2. Kabel Pemanas (*Heating Cable*) kabel ini menghubungkan elemen pemanas ke sumber daya dan komponen pengatur suhu. Kabel pemanas harus tahan panas dan tahan lama.
3. *Thermistor* atau Termokopel, komponen ini digunakan untuk memantau suhu pada *band heater*. Sensor ini mengirimkan data suhu ke pengontrol suhu untuk menyesuaikan arus listrik yang diterima oleh elemen pemanas, menjaga suhu tetap dalam rentang yang diinginkan
4. Isolasi Termal, bagian dari *band heater* sering dilengkapi dengan bahan isolasi termal untuk mencegah kehilangan panas yang berlebihan dan untuk melindungi bagian lain dari mesin dari panas berlebih. Isolasi ini juga membantu meningkatkan efisiensi pemanasan.

Cara Kerja *Band Heater*

1. Pemanasan elemen pemanas ketika arus listrik mengalir melalui elemen pemanas (seperti kawat nikel-krom), resistansi elemen menghasilkan panas. Pemanasan ini kemudian ditransfer ke *band* dan blok pemanas yang terpasang di sekitarnya.
2. Kontrol suhu *thermistor* atau sensor suhu yang terpasang pada *band* memantau suhu yang ada dan memberikan sinyal ke pengontrol suhu. Pengontrol ini mengatur aliran listrik ke elemen pemanas untuk menyesuaikan suhu agar tetap pada level yang diinginkan.
3. Stabilisasi suhu setelah suhu mencapai nilai yang diinginkan, pengontrol suhu akan mengurangi aliran listrik ke elemen pemanas, mencegah suhu menjadi terlalu tinggi. Sebaliknya, jika suhu turun, pengontrol akan meningkatkan aliran listrik untuk mempertahankan suhu.

Keuntungan penggunaan *Band Heater*

1. Pada *band heater* memungkinkan pemanasan cepat pada *band*, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diperlukan.
2. Beberapa jenis *band heater* dilengkapi fitur control suhu yang efisien, yang mengurangi konsumsi daya dan menghindari pemborosan energi.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian Aslamiyah dkk. (2022) yang berjudul “Metode-Metode Pembuatan Minuman Serbuk Instan”. Metode-metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Metode Kristalisasi, metode ini merupakan metode yang konvensional karena proses dan alat yang digunakan juga cukup sederhana. Proses ini menggunakan sukrosa sebagai pembantu kristalisasi dan melibatkan pemanasan larutan untuk membentuk kristal padat, faktor lain yang berperan dalam metode kristalisasi ini adalah suhu, suhu yang digunakan saat pemanasan yaitu sekitar suhu 95°C-110°C. Apabila suhu pada proses pemanasan melebihi titik lebur 160°C maka larutan sukrosa tersebut akan berbentuk karamel dan tidak akan menjadi kristal.
2. Metode *Foam Mat Drying*, metode ini dilakukan dengan cara pembuatan busa dari bahan cair yang ditambah dengan *foam stabilizer* dengan suhu 70°C-75°C, yang dituangkan diatas loyang dan dikeringkan dengan *oven blower (tunnel dryer)* hingga larutan kering dan selanjutnya dilakukan penepungan agar lembaran-lembaran kering hancur. Metode ini melibatkan pembuatan busa dari bahan cair yang ditambahkan dengan *foam stabilizer*, kemudian dikeringkan di oven. Proses pengeringan dengan metode *foam mat drying* juga dilakukan pada suhu relatif rendah.
3. Metode *Spray Drying*, proses ini mengubah bahan cair menjadi bubuk melalui penguapan, dengan menggunakan bahan penyalut seperti maltodekstrin. Cairan yang telah berbentuk kabut kemudian akan terkena dengan udara panas sehingga akan menyebabkan cairan tersebut mengering dan berubah menjadi bubuk.
4. Metode *Freeze Drying*, proses pengeringan beku ini digunakan untuk pembuatan obat-obatan dan proses biologi yang bersifat tidak stabil dalam larutan air untuk penyimpanan lama, namun stabil pada kondisi kering. Metode ini menghilangkan kandungan air dari bahan yang sudah dibekukan melalui proses sublimasi, metode *freeze drying*

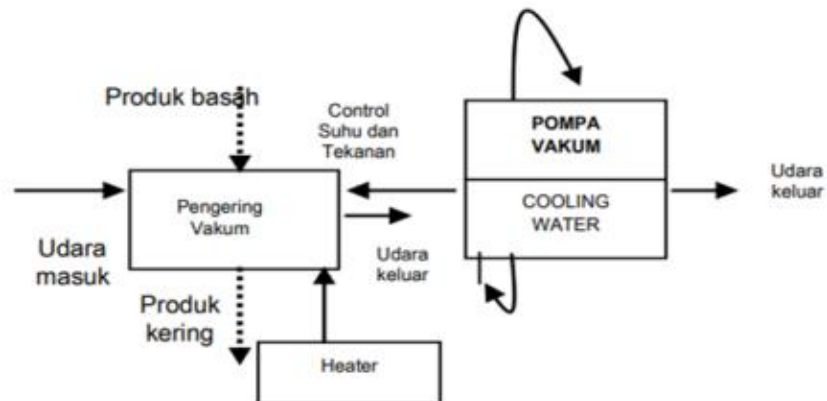
mempunyai prinsip dasar kerjanya dengan cara menghilangkan kandungan air dalam suatu bahan (produk) yang sudah beku tanpa melalui fase cair dahulu, sedangkan metode pemanasan langsung menggunakan cara memanaskan langsung dari sumbernya. Pada pengujian kelarutan, kadar air, kadar vitamin C dan aktivitas antioksidan serta uji *organoleptic* menunjukkan hasil dari metode pemanasan langsung lebih baik dibandingkan hasil dari metode *freeze drying*.

Dengan proses dan metode yang dilakukan pada penelitian tersebut mendapatkan hasil penelitian yaitu, serbuk instan dapat dikatakan baik apabila memenuhi beberapa persyaratan seperti kadar air 10gr/s, dan sudut diam 20-40°. Berdasarkan hasil penelitian dari beberapa metode, metode yang menghasilkan serbuk dengan rata-rata kadar air yang baik adalah dengan metode kristalisasi, *spray drying*, dan *freeze drying*. Metode yang menghasilkan serbuk dengan sifat alir yang baik ditandai dengan waktu alir <10 detik, atau dengan laju alir >10gr/s, dan sudut diam 20-40° adalah metode kristalisasi, *foam mat drying*, dan *spray drying*. Adapun tujuan penelitiannya adalah mengembangkan metode pembuatan, meningkatkan nilai konsumsi dengan cara memproduksi minuman serbuk instan yang lebih praktis dan efisien dibandingkan dengan cara tradisional, dan mencapai suatu kualitas produk.

Penelitian Elfariyanti dkk. (2022) yang berjudul “Sosialisasi dan Pelatihan Pembuatan Minuman Herbal dari Rempah Bumbu Dapur di Desa Naga Uambang Aceh Besar”. Metode yang digunakan pada penelitian mereka adalah dengan metode kualitatif, metode ini digunakan untuk mengeksplorasi pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam pembuatan minuman herbal.

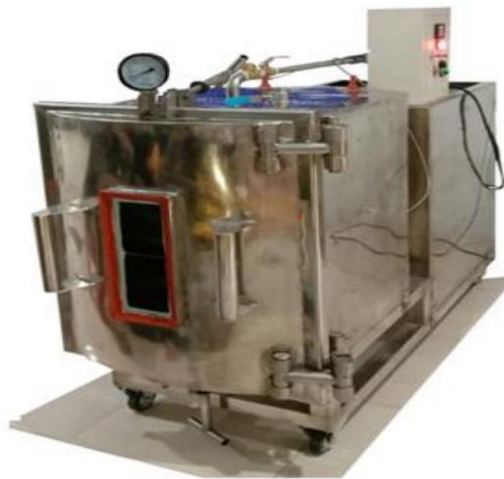
Adapun tujuan penelitiannya adalah memberikan pelatihan kepada masyarakat tentang cara pembuatan minuman herbal dari rempah bumbu dapur, dengan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan masyarakat Desa Naga Uambang tentang minuman herbal masih rendah. Hasil analisis menunjukkan bahwa persentase tertinggi pengetahuan masyarakat adalah 60% terkait dengan bumbu dapur sebagai herbal dan khasiat minuman herbal.

Penelitian Elfiana dkk. (2021) yang berjudul “*Desiminasi Oven Drying Vacuum* (ODV) untuk Pengeringan Rempah Bandrek Siap Saji di Desa Kumbang Kecamatan Syamtalira Aron Kabupaten Aceh Utara”. Metode yang digunakan pada penelitian mereka adalah dengan melakukan observasi dan identifikasi masalah terlebih dahulu agar dapat menyimpulkan terkait masalah apa yang dihadapi dan memikirkan bagaimana solusi yang tepat.



Gambar 2.15 Skematis diagram alir mesin *Oven Drying Vacuum* (Elfiana dkk.2021)

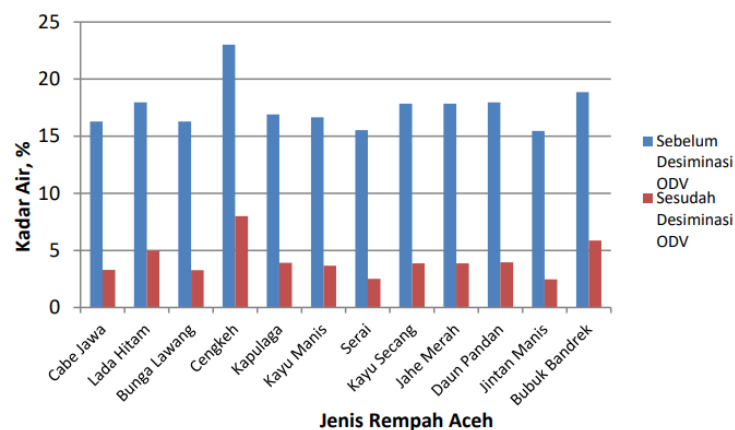
Kemudian mereka melakukan desain dan pembuatan mesin, pada proses ini melibatkan proses rekayasa untuk memastikan mesin dapat berfungsi dengan baik dalam pengeringan rempah, sesuai dengan masalah dan kebutuhan yang diperlukan, selanjutnya dilakukan evaluasi untuk menilai hasil dari penggunaan mesin ODV, termasuk kualitas produk akhir, waktu pengeringan, dan efektivitas proses secara keseluruhan. Dengan penjelasan seperti pada gambar 2.15 yaitu skematis diagram alir dari proses mesin *Oven Drying Vacuum*, yang nantinya akan didesain alat sesuai kebutuhan dan dilakukan proses produksi, berdasarkan diagram alir pada gambar 2.15 tersebut dapat dilihat bahwa mesin *Oven Drying Vacuum* (ODV) ini sangat cocok untuk pengeringan bahan yang tidak tahan pada temperatur tinggi, karena dengan penggunaan *vacuum* dapat mengurangi temperatur pada saat proses pengeringan, sehingga dapat menghemat energi karena menggunakan sumber daya yang tidak terlalu besar juga.



Gambar 2.16 Mesin *Oven Drying Vacuum* (Elfiana dkk.2021)

Adapun tujuan penelitiannya adalah memberikan solusi terhadap permasalahan ketergantungan cuaca pada proses pengeringan rempah dengan alat pengering menggunakan *vacuum*, dan meningkatkan kualitas rempah kering bubuk bandrek siap saji dengan menerapkan/menjelaskan teknologi pengeringan vakum mesin *Oven Drying Vacuum* (ODV). Sehingga mereka mendapatkan hasil penelitian dengan meningkatnya kualitas produk.

Penggunaan mesin *Oven Drying Vacuum* (ODV) berhasil meningkatkan kualitas bubuk rempah bandrek siap saji, hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air bubuk rempah mencapai 5,86% dan kadar abu 7,77%, yang memenuhi standar SNI 01-3709-1995. Selain itu juga mendapatkan hasil efisiensi waktu produksi, proses pengeringan menggunakan ODV dapat dilakukan dalam waktu 2-4 jam, yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional yang bergantung pada panas matahari.



Gambar 2.17 Perbandingan kadar air penggunaan ODV (Elfiana dkk.2021)

Hasil pengeringan menggunakan mesin *Oven Drying Vacuum* lebih efektif digunakan karena terlihat dari grafik pada gambar 2.17 yang dijelaskan rata-rata hasil pengeringan menggunakan mesin *Oven Drying Vacuum* sudah memenuhi SNI 01-3709-1995 yaitu kadar air maksimum <11%.\

Penelitian Hasan Marzuki Harahap (2023) yang berjudul “Penerapan Metode Pengeringan Vakum pada Teh Herbal dari Daun Gaharu (*Aquilaria malaccensis*)”. Metode yang digunakan oleh mereka pada penelitiannya menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor, faktor 1 adalah suhu dan tekanan vakum yang terdiri dari 4 bagian, yaitu 50°C:30 kPa, 50°C:40 kPa, 60°C:30 kPa, dan 60°C:40 kPa, lalu faktor ke 2 menggunakan lama waktu pengeringan, yang juga terdiri dari empat bagian yaitu, 3 jam, 4 jam, 5 jam, dan 6 jam. Beberapa hasil data yang didapatkan pada penelitian mereka adalah membahas tentang hasil kadar air, tingkat rendemen, antioksidan, dan warna pada bahan uji dari penggunaan 2 faktor yang dilakukan pengujian.

Suhu dan Tekanan Vakum (°C : kPa)	Kadar Air (%)	Randemen (%)	Antioksidan (ppm)	Organoleptik		
				Warna	Aroma	Rasa
S1 = 50 : 30	8,80	50,72	63,64	2,96	3,14	2,88
S2 = 50 : 40	8,30	46,00	59,11	3,14	3,35	3,03
S3 = 60 : 30	7,85	42,20	84,04	2,38	2,38	2,14
S4 = 60 : 40	7,09	38,71	81,17	2,55	2,55	2,41

Gambar 2.18 Hasil kombinasi suhu dan tekanan vakum (Hasan Marzuki Harahap.2023)

Dari gambar 2.18 di atas dapat dilihat bahwa kombinasi suhu dan tekanan mendapatkan hasil yang berbeda-beda pada setiap parameter tersebut. Semakin tinggi kombinasi suhu dan tekanan vakum maka kadar air dan rendemen akan semakin menurun, sedangkan semakin rendah suhu dan semakin tinggi tekanan vakum maka antioksidan akan semakin menurun, namun pada warna dan rasa akan semakin meningkat.

Lama waktu pengeringan (jam)	Kadar Air (%)	Randemen (%)	Antioksidan (ppm)	Organoleptik		
				Warna	Aroma	Rasa
W1 = 3 jam	10,00	47,14	42,94	3,56	3,45	3,24
W2 = 4 jam	8,31	44,58	57,47	2,95	2,83	2,96
W3 = 5 jam	7,22	43,47	81,04	2,53	2,63	2,28
W4 = 6 jam	6,52	42,48	106,49	1,99	2,25	1,94

Gambar 2.19 Hasil pengeringan dengan parameter yang diamati (Hasan Marzuki Harahap.2023)

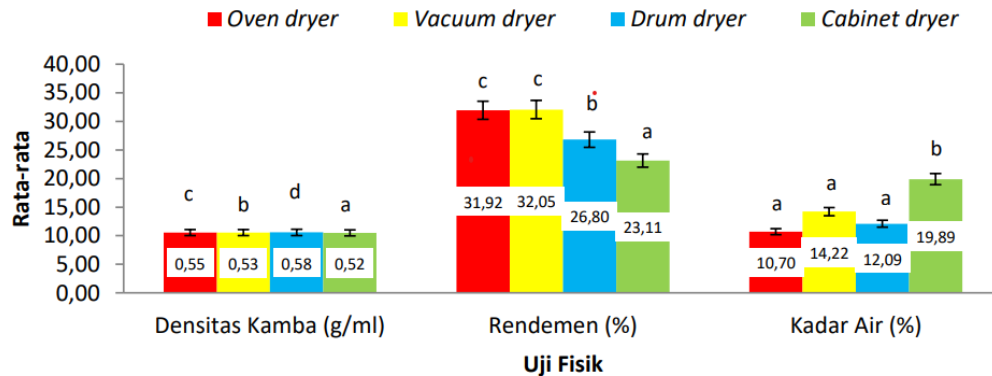
Dari gambar 2.19 di atas dapat dilihat bahwa lama pengeringan memiliki hasil yang berbeda-beda pada setiap parameter yang dilakukan, lama waktu pengeringan yang semakin Panjang maka akan menghasilkan kadar air, rendemen, warna, aroma, dan rasa semakin menurun, sedangkan pada antioksidan semakin meningkat.

Pengujian dan pembahasan masing-masing parameter yang diamati selanjutnya dibahas satu persatu. Dari hasil keseluruhan didapatkan hasil terbaik yaitu terdapat pada proses dengan menggunakan suhu 50°C dan tekanan vakum 40 kpa dengan lama waktu pengeringan selama 4 jam. Hal ini dikarenakan bahan tersebut memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat dengan kadar air yg sesuai dengan SNI.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode pengeringan vakum pada teh herbal yang dihasilkan dari daun gaharu (*Aquilaria malaccensis*), serta mengevaluasi pengaruh kombinasi suhu dan tekanan vakum terhadap rendemen, kadar air, serta kualitas produk teh herbal yang dihasilkan.

Penelitian Rif'an dkk. (2017) yang berjudul "Pengaruh Jenis Alat Pengering Terhadap Karakteristik Fisik, Kimia dan Organoleptik Sup Labu Kuning Instan". metode yang digunakan pada penelitian mereka menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan beberapa alat pengering seperti cabinet dryer, vacuum dryer, oven dryer, dan drum dryer. Lalu dilakukan metode analisa untuk membandingkan data yang dihasilkan. Adapun tujuan dari penelitian mereka adalah mengetahui pengaruh jenis alat pengering (seperti *vacuum dryer*, *cabinet dryer*, *oven dryer*, dan *drum dryer*) terhadap karakteristik fisik, kimia, dan organoleptik sup labu kuning

instan. Pada penelitian mereka menghasilkan data dan beberapa analisa yang dapat digunakan untuk perbandingan metode pengeringan dari penggunaan alat *vacuum dryer*, *cabinet dryer*, *oven dryer*, dan *drum dryer*.



Gambar 2.20 Grafik pengaruh jenis pengeringan terhadap sifat fisik sup labu instan (Rif'an dkk. 2017)

Jenis alat pengering berpengaruh terhadap karakteristik fisik seperti rendemen, densitas Kamba (kerapatan massa atau perbandingan antara berat suatu bahan curah seperti serbuk dengan total volume ruang yang ditempatinya), dan kadar air sup labu kuning instan.

Pengeringan dengan *drum dryer* menghasilkan karakteristik fisik yang lebih baik dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya. Hal ini dikarenakan pengeringan dengan *drum dryer* menggunakan dua silinder, bahan yang masuk akan terhimpit sangat kuat oleh dua silinder dengan suhu mencapai 1300°C dan membentuk serpihan yang sangat padat dan rapuh sehingga melalui proses inilah partikel bubuk yang didapat lebih padat dari jenis pengering lainnya.

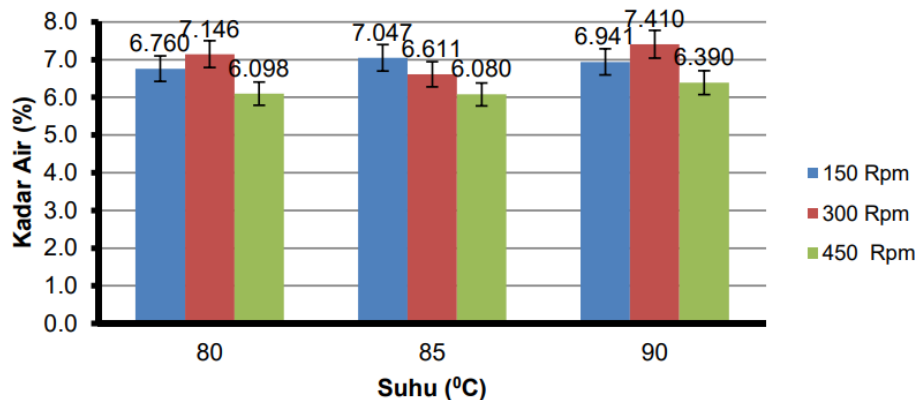
Selain itu hasil dari penelitian mereka juga mendapatkan data pengeringan sup labu kuning instan menggunakan *drum dryer* mempunyai densitas kamba tertinggi yaitu sebesar 0,58 g/ml, diikuti pengering *oven dryer* 0,55 g/ml, *vacuum dryer* 0,53 g/ml, dan *cabinet dryer* 0,52 g/ml. Sehingga didapatkan hasil penelitian berdasarkan analisis fisik, kimia dan organoleptik pengeringan sup labu kuning instan terbaik diperoleh dari jenis alat pengering *drum dryer*.

Penelitian Nisa dkk. (2015) yang berjudul “Pengaruh Pengendalian Suhu Berbasis Logika Fuzzy Dan Kecepatan Pengadukan Pada Evaporator Vakum Double Jacket Terhadap Karakteristik Fisik Permen Susu”. Metode penelitian yang digunakan oleh mereka adalah analisis pengaruh pengendalian suhu berbasis logika

fuzzy dan kecepatan pengadukan pada evaporator vakum *double jacket* terhadap karakteristik fisik permen susu.

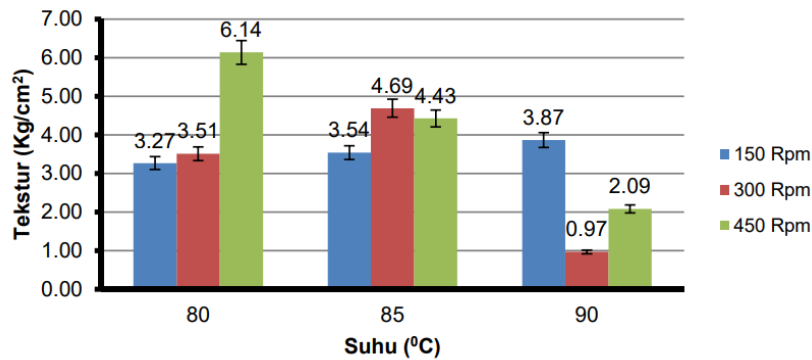
Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial dengan dua faktor, faktor 1 menggunakan temperatur fluida transmisi atau melakukan control suhu pada minyak, yang terdiri dari tiga level (80°C, 85°C, dan 90 °C). Dan factor ke 2 adalah kecepatan pengadukan, yang juga terdiri dari tiga level (150RPM, 300RPM, dan 450 RPM). Dari kombinasi faktor-faktor tersebut, diperoleh sembilan perlakuan dengan dua kali pengulangan.

Beberapa hasil yang didapatkan pada penelitian mereka yaitu kadar air: 6,61%, tekstur 3,53% dan pH 7.0



Gambar 2.21 Grafik hubungan kadar air (%) dengan suhu dan kecepatan pengadukan (Nisa dkk. 2015)

Presentase terbaik kadar air didapatkan pada perlakuan suhu 85°C dan kecepatan pengadukan 450 RPM dengan kadar air 6.080% dan terburuk pada perlakuan suhu 90°C dan kecepatan pengadukan 300 RPM dimana kadar airnya adalah 7.410%. Semakin cepat putaran pengaduk maka semakin besar perpindahan panas yang terjadi. Laju pengeringan, laju penguapan dan kadar air teruapkan berbanding lurus dengan suhu.



Gambar 2.22 Grafik hubungan pH dengan suhu dan kecepatan pengadukan (Nisa dkk. 2015)

Pada suhu tinggi, air dapat berlaku sebagai asam akibat terurainya H_2O menjadi ion H^+ dan OH^- , ketika suhu perlakuan dinaikkan, air yang terionisasi akan semakin banyak dan bersifat semakin asam. Kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenisasi bahan dan meningkatkan laju pindah panas, sehingga tidak berpengaruh secara langsung terhadap nilai pH permen susu. Hal ini dapat disebabkan karena adanya proses ionisasi yang tidak berjalan sempurna, sehingga ion H^+ tidak terurai dengan baik.

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pengendalian suhu berbasis logika fuzzy dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik fisik permen susu, dan meningkatkan kualitas produk permen susu dengan menghindarkan permen dari kekosongan serta meningkatkan nilai gizi dari produk tersebut.

Penelitian Setyadi dkk. (2021) yang berjudul “Perhitungan Efisiensi energi mesin pengering vakum pada berbagai temperature (0, -5)° C dengan kevakuman 0,03 ATM”. Metode penelitian yang digunakan oleh mereka adalah metode eksperimen (percobaan), dengan melakukan beberapa perbandingan yaitu variasi suhu dan tekanan, dengan menggunakan dua suhu berbeda (0°C dan -5°C) dengan kondisi vakum pada tekanan 0,03 atm.

Kemudian selain dengan variasi suhu dan tekanan, mereka juga melakukan penelitian dengan melakukan pengukuran energi, seperti pengukuran daya energi listrik untuk pompa vacuum dan komponen lainnya. Serta melakukan perhitungan efisiensi energi, penelitian ini juga menghitung efisiensi energi dari mesin pengering vakum berdasarkan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk

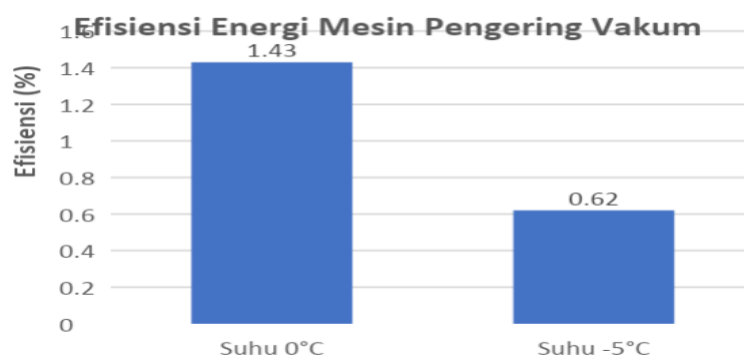
menguapkan air dan energi yang digunakan untuk mengoperasikan mesin.

Beberapa hasil yang didapatkan mereka adalah efisiensi energi dan waktu pengeringan, seperti pada gambar berikut:

No	Suhu Pengeringan (°C)	Waktu (Menit)	Laju Pengeringan (gram/menit)
1	0	969	0,0074
2	-5	1217	0,0058

Gambar 2.23 Hasil kecepatan pengeringan dengan perubahan suhu (Setyadi dkk. 2021)

Nilai laju pengeringan menggambarkan banyaknya jumlah air yang diuapkan tiap satuan waktu oleh alat pengering vaccum, nilai laju pengeringan dipengaruhi oleh lama waktu yang dibutuhkan pada proses pengeringan. Nilai laju pengeringan terbesar didapat pada percobaan pengeringan dengan suhu 0°C yaitu sebesar 0,0074 gram per menit. Artinya, setiap satu menit alat pengering vakum dapat menguapkan kandungan air pada bahan sebanyak 0,0074 gram. Sedangkan nilai laju pengeringan terendah didapatkan pada percobaan menggunakan alat pengering vakum dengan kevakuman ruang pengering sama, yaitu 0,03 atm, pada suhu -5°C dengan nilai laju pengeringan sebesar 0,0058 gram per menit. Atau dengan kata lain, setiap satu menit alat pengering vakum dapat menurunkan kandungan air bahan sebanyak 0,0058 gram.



Gambar 2.24 Diagram nilai efisiensi energi mesin pengering vakum (Setyadi dkk. 2021)

Berdasarkan diagram diatas, hasil perhitungan efisiensi energi mesin pengering vakum, nilai efisiensi energi lebih baik di dapatkan didapatkan pada percobaan proses pengeringan pada suhu 0°C yaitu sebesar 1,43 %. Sedangkan nilai

efisiensi energi pada percobaan pengeringan dengan suhu -5°C hanya sebesar 0,62 %.

Adapun tujuan dari penelitian mereka adalah untuk menguji pengaruh variasi suhu (0 dan -5 derajat Celsius) terhadap proses pengeringan, serta mengamati parameter-parameter seperti suhu, tekanan, kelembaban ruang pengering, lamanya waktu proses pengeringan, laju pengeringan, dan total energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air pada bahan uji.

Penelitian Yuniarti dkk. (2013) yang berjudul “Pengaruh suhu pengeringan vakum terhadap kualitas serbuk Albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*)”. Metode penelitian yang digunakan oleh mereka adalah metode eksperimen (percobaan), dengan melakukan beberapa perbandingan Proses pengeringan, yang dilakukan dengan menggunakan pengering vakum pada berbagai suhu (35 °C, 41 °C, 45 °C, 49 °C, dan 53 °C) untuk menentukan pengaruh suhu terhadap kualitas serbuk albumin yang dihasilkan.

Kemudian dilakukan analisa untuk mengukur kadar albumin, kadar protein, kadar lemak, kadar air, dan kadar abu. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas serbuk albumin yang dihasilkan pada setiap suhu pengeringan yang diuji. Beberapa hasil yang didapatkan mereka adalah suhu yang optimal dalam proses pengeringan dan juga memberikan hasil kualitas kadar Albumin yang terbaik. Untuk pengeringan pada serbuk Albumin menggunakan pengeringan vakum dengan suhu 49 °C, menghasilkan kualitas serbuk albumin yang terbaik, dengan kadar albumin yang optimal. Hal ini menjelaskan bahwa suhu ini dapat mempertahankan kualitas protein selama proses pengeringan efisiensi energi dan waktu pengeringan. Selain itu juga didapati hasil dari perlakuan suhu pengeringan vakum yang berbeda, yaitu (37°C, 41°C, 45°C, 49°C, 53°C) dapat memberikan pengaruh terhadap kualitas serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*). Dan mendapatkan hasil dengan kualitas serbuk albumin ikan gabus terbaik diperoleh pada suhu pengering vakum 49°C dengan kadar albumin sebesar 4,71%; kadar protein sebesar 15,92%; rendemen 37,21%; kadar air 4,23%.

Adapun tujuan dari penelitian nya adalah untuk menentukan pengaruh suhu pengeringan vakum terhadap kualitas serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*). Dan untuk menemukan suhu pengeringan yang optimal yang dapat

menghasilkan serbuk albumin dengan kualitas terbaik, serta untuk mengevaluasi parameter-parameter seperti kadar albumin dan kadar air.

Penelitian Widyasanti dkk. (2018) yang berjudul “Pengaruh suhu terhadap karakteristik Fisikokimia dan *optic* brokoli selama proses pengeringan vakum dengan tekanan 15 cmHg”. Metode penelitian yang digunakan oleh mereka adalah analisis deskriptif, yaitu dengan cara mengumpulkan data-data sesuai dengan yang sebenarnya kemudian data-data tersebut disusun, diolah dan dianalisis untuk dapat memberikan gambaran mengenai masalah yang ada. Pada metode yang digunakan mereka juga sama seperti menggunakan metode eksperimen, yaitu melakukan percobaan untuk mendapatkan data. Mereka melakukan percobaan dengan perbedaan suhu pengeringan 50°C dan 60°C dengan tekanan vakum sebesar 15 cmHg yang dilakukan sebanyak 3 pengulangan.

Beberapa hasil yang didapatkan mereka adalah kadar air akhir dari proses pengeringan sebesar 5,64%, dan rendemen total 4,168%. Dan terdapat beberapa hasil yang mereka dapatkan seperti rehidrasi dari brokoli dan penyusutan. Hasil lainnya yang didapati oleh mereka adalah bahwa semakin tinggi suhu pengeringan, maka nilai rendemen pengeringan, rendemen total, kadar air akhir, menjadi semakin rendah.

Suhu (°C)	Perlakuan	Rata-rata Kadar Air Akhir (%bk)
	Tekanan Vakum (cmHg)	
50	15	6,05
60	15	5,64

Gambar 2.25 Rata-rata kadar air akhir (Widyasanti dkk. 2018)

Suhu (°C)	Perlakuan	Rata-rata RR (%)
	Tekanan Vakum (cmHg)	
50	15	386,25
60	15	518,27

Gambar 2.26 Pengaruh suhu pengeringan vakum terhadap rasio rehidrasi (RR)
(Widyasanti dkk. 2018)

Suhu (°C)	Perlakuan	Rata-rata RP (%)
	Tekanan Vakum (cmHg)	
50	15	33,33
60	15	16,67

Gambar 2.27 Pengaruh suhu pengeringan vakum terhadap rasio pengerutan (RP)
(Widyasanti dkk. 2018)

Kualitas produk kering salah satunya dapat ditentukan dengan sifat rehidrasi, sifat rehidrasi merupakan kemampuan produk kering dalam menyerap air sehingga mendekati kondisi segarnya.

Pengerutan adalah salah satu parameter yang sangat diperhitungkan dalam proses pengeringan karena merupakan salah satu indikator kualitas mutu produk kering. Pengerutan bahan akan memberikan dampak negatif pada kualitas bahan kering. Pengerutan juga menyebabkan kemampuan rehidrasi dari produk kering menurun.

Rendemen total yang dihasilkan pada suhu 60 °C dengan tekanan vakum 15 cmHg, yaitu 4,168% lebih rendah dibandingkan dengan suhu 50°C dengan tekanan vakum 15 cmHg, yaitu 4,184 %. Perbedaan nilai rendemen total yang dihasilkan ini disebabkan oleh perbedaan laju pengeringan dari brokoli yang dikeringkan. penurunan rendemen disebabkan karena semakin tinggi suhu dan laju pengeringan maka kandungan air yang mengalami penguapan akan lebih banyak sehingga mengakibatkan rendemen yang dihasilkan menurun.

Adapun tujuan dari penelitian mereka adalah untuk menganalisa pengaruh suhu pengeringan vakum terhadap karakteristik fisik, kimia, dan optik brokoli. Dan bertujuan untuk menentukan suhu pengeringan yang optimal agar dapat mempertahankan kualitas brokoli, termasuk kadar air, rasio pengerutan, kandungan protein, dan vitamin C, serta untuk mengevaluasi rendemen total dari proses pengeringan vakum brokoli.

Penelitian Muhammad Rizky Fadila (2024) yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Lama Pengeringan pada Pembuatan Minuman Herbal Instan dari Batang Bajakah Tampala (*Spatholobus littoralis* Hassk) Menggunakan Metode Vakum”. Metode penelitian yang mereka gunakan adalah metode eksperimen (percobaan), dengan melakukan beberapa perbandingan Proses pengeringan, yang dilakukan dengan menggunakan pengering vakum pada berbagai suhu menggunakan 2 jenis perbandingan, suhu dan lama pengeringan. Suhu yang digunakan yaitu 50°C, 55°C, 60°C dan 65°C. Dan lama proses pengeringan yang dilakukan yaitu 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Parameter yang diamati antara lain: kadar air, total rendemen, aktivitas antioksidan, uji organoleptik warna, rasa.

Beberapa hasil yang didapatkan mereka adalah pengaruh temperatur dan pengaruh lama waktu pengeringan terhadap kadar air, rendaman dan beberapa lainnya. Suhu pengeringan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap beberapa parameter, termasuk kadar air, uji rendemen, aktivitas antioksidan, serta uji organoleptik terhadap rasa, aroma, dan warna. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan antara perlakuan suhu yang berbeda sangat nyata. Kemudian pengaruh lama pengeringan juga berpengaruh sangat signifikan terhadap kadar air, uji rendemen, aktivitas antioksidan, dan uji organoleptik. Semakin lama waktu pengeringan, kadar air dalam bahan semakin kecil, yang juga mempengaruhi kandungan senyawa fitokimia.

Sehingga pada penelitian mereka dapat diambil kesimpulan dari analisa yang mereka lakukan, pada proses pengeringan dengan suhu 50°C menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 54,163%. Dan pada proses pengeringan dengan suhu 65°C menghasilkan rendemen terendah sebesar 51,075%. Dengan perbandingan lama pengeringan yaitu lama pengeringan dengan 2 jam menghasilkan rendemen tertinggi. Dan lama pengeringan dengan 5 jam menghasilkan rendemen terendah.

Pengeringan dengan suhu 50°C menghasilkan kadar air tertinggi, yaitu sebesar 10,050%. Dan kadar air terendah didapatkan dengan menggunakan suhu 65°C yaitu sebesar 8,250%. Jika berdasarkan lamanya pengeringan, pengeringan dengan 2 jam menghasilkan kadar air tertinggi, sebesar 10,6%. Dan lamanya pengeringan dengan 5 jam menghasilkan kadar air terendah yaitu 7,850%.

Adapun tujuan dari penelitian mereka adalah untuk menentukan pengaruh temperatur dan lama pengeringan terhadap pembuatan minuman herbal instan dari batang bajakah tampala (*Spatholobus littoralis* Hassk) menggunakan metode vakum. Dan untuk mengetahui interaksi antara temperatur dan lama pengeringan dalam proses pembuatan minuman herbal tersebut, serta untuk mengamati parameter-parameter seperti kadar air, uji rendemen, aktivitas antioksidan, dan uji organoleptik terhadap rasa, aroma, dan warna.

Kesimpulan: dari beberapa sumber dan literasi yang penulis lihat dan baca, metode yang digunakan dan analisa dari penelitian terdahulu, banyak yang meneliti tentang pemanfaatan alat pengering bahan makanan, baik dari makanan yang berbentuk cairan, maupun makanan yang masih dalam bentuk padat. Dengan

menggunakan alat pengering dengan metode vakum, untuk membantu proses pengeringan yang di inginkan dan menghasilkan proses pengeringan dengan *temperature* yang tidak terlalu tinggi sehingga hasil dari proses pengeringan tidak merusak sifat fisik maupun sifat nutrisi dari bahan yang di olah. Maka dari itu penulis mengambil penelitian pengaruh tingkat kevakuman, terhadap proses pengeringan bahan cair menjadi serbuk.